

فرهنگی، زهره، ۱۳۵۰ -

بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنعت شیر/ تدوین و تالیف زهره فرهنگی؛  
ویراستار علیرضا محمدیه. - تهران : سازمان بهره‌وری انرژی ایران: پارسین سبز، ۱۳۸۳.  
[ ۱۲ ]، ۹۴ ص. : مصور، جدول، نمودار.

**ISBN 964-6553-16-8**

فهرست‌نویسی بر اساس اطلاعات فیپا.

کتابنامه: ص. ۹۴.

۱. شیر - - صنعت و تجارت - - ایران - - مصرف انرژی. ۲. انرژی - استفاده بهینه. الف.

محمدیه، علیرضا، ۱۳۴۶ - ، ویراستار . ب. سازمان بهره‌وری انرژی ایران. ج. عنوان.

۳۳۸/۱۷۷۱۰۹۵۵ HD ۹۲۸۲/الف

۳۳۵۴۶-۸۳ م

کتابخانه ملی ایران

حق چاپ برای ناشر محفوظ است .

### بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنعت شیر

ناشر : وزارت نیرو - سازمان بهره‌وری انرژی ایران  
تدوین و تألیف : زهره فرهنگی  
ویراستار : علیرضا محمدیه  
تایپ و صفحه‌آرایی : لیلا سهرابی  
خدمات فنی : نشر پارسیان سبز  
لیتوگرافی، چاپ و صحافی : طیف نگار  
نوبت چاپ : اول - زمستان ۱۳۸۳  
تیراژ : ۵۰۰۰ جلد  
شابک : ۹۶۴-۶۵۵۳-۱۶-۸ / ISBN 964-6553-16-8/

وزارت نیرو  
سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)

# بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنعت شیر

تدوین و تألیف:

زهره فرهنگی

ویراستار:

---

علیرضا محمدیه

## « فهرست مطالب »

عنوان	صفحه
پیشگفتار.....	۱
مقدمه.....	۵
۱- معرفی صنعت شیر.....	۷
۱-۱- تاریخچه صنعت شیر در ایران.....	۷
۱-۲- معرفی صنعت شیر و فرآورده‌های آن.....	۱۰
۱-۲-۱- فرآیند تولید شیر پاستوریزه.....	۱۱
۲-۲-۱- فرآیند تولید ماست.....	۱۳
۳-۲-۱- فرآیند تولید خامه.....	۱۵
۴-۲-۱- فرآیند تولید کره.....	۱۶
۵-۲-۱- فرآیند تولید پنیر.....	۱۷
۶-۲-۱- فرآیند تولید شیر خشک.....	۱۹
۳-۱- بررسی چگونگی مصرف انرژی فسیلی در صنعت شیر (دستگاه‌های تولید کننده و مصرف کننده انرژی حرارتی در صنعت شیر).....	۲۱
۴-۱- بررسی چگونگی مصرف انرژی الکتریکی در صنعت شیر (دستگاه‌های تولید کننده و مصرف کننده انرژی الکتریکی در صنعت شیر).....	۲۱
۲- بررسی مصارف ویژه انرژی در صنعت شیر.....	۲۳

## عنوان

## صفحه

- ۳- راهکارهای کاهش مصرف انرژی فسیلی در صنعت شیر ..... ۲۷
- ۱-۳- تنظیم نسبت هوا به سوخت در بویلر ( تنظیم درصد هوای اضافی در بویلر)..... ۲۷
- ۲-۳- پیشگرم کردن هوای اولیه احتراق در بویلر ..... ۳۰
- ۳-۳- افزایش دمای آب تغذیه بویلر با استفاده از بازیافت حرارت از آب زیرکش بویلر (Blow Down) ..... ۳۳
- ۴-۳- جلوگیری از نشستی بخار در سیستم انتقال بخار و ترمیم تله‌های بخار و عایقکاری مناسب سیستم ..... ۳۵
- ۵-۳- جلوگیری از تلفات بخار در فرآیند تولید ..... ۳۵
- ۶-۳- جلوگیری از نشستی آب گرم تغذیه بویلر ..... ۳۶
- ۷-۳- جلوگیری از اتلاف آب کندانس و بازگشت آن به سیستم بویلر ..... ۳۶
- ۸-۳- بهبود عملکرد پاستوریزاتورها و کاهش مصرف ویژه انرژی حرارتی ..... ۳۷
- ۹-۳- بازیافت هوای گرم خروجی از After Cooler کمپرسورها، جهت پیشگرم نمودن هوای احتراق بویلرها ..... ۳۷
- ۱۰-۳- صرفه‌جویی در مصرف بخار کارخانجات شیر خشک ..... ۳۹
- ۱۱-۳- بازیافت حرارت از خروجی دودکش هوای گرم خشک کن پاششی در کارخانجات تولید شیر خشک ..... ۴۰
- ۱۲-۳- بازیافت حرارت از شیر گرم توسط پمپ حرارتی ..... ۴۰
- ۴- راهکارهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی در صنعت شیر ..... ۴۳
- ۱-۴- بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش روشنایی ..... ۴۳
- ۲-۴- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در ترانسفورماتورها ..... ۴۴

- ۳-۴- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در بویلرها ..... ۴۸
- ۴-۴- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در کمپرسورها ..... ۵۰

## صفحه

## عنوان

- ۵-۴- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در سیستم آبرسانی ..... ۵۲
- ۶-۴- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در پمپهای انتقال شیر در فرآیند تولید ..... ۵۳
- ۷-۴- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در پمپهای آب سرد ..... ۵۳
- ۸-۴- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در پمپهای چاه عمیق و پمپهای بخش فاضلاب و تصفیه فاضلاب ..... ۵۴
- ۹-۴- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در کندانسورها ..... ۵۴
- ۱۰-۴- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در همزن ها ..... ۵۵
- ۱۱-۴- کاهش مصرف انرژی الکتریکی در اثر بهبود وضعیت مصرف آب و جلوگیری از هدر رفتن آب ( مصرف بهینه آب ) ..... ۵۵
- ۱۲-۴- کاهش مصرف انرژی الکتریکی با جایگزین نمودن چیلر جذبی به جای چیلر تراکمی ..... ۵۶
- ۱۳-۴- نصب سیستم کنترلی بر روی سیستم تبرید ..... ۶۱

۶۳..... پرسشنامه صنعت شیر

۸۵..... جداول تبدیل ضرایب انرژی

منابع

« فهرست جداول »

صفحه

عنوان

- جدول (۱) - کارخانه بخش خصوصی شیر پاستوریزه در تهران ..... ۹
- جدول (۲) - کارخانه شیر پاستوریزه وابسته به صنایع شیر ایران ..... ۱۰
- جدول (۳) - تغییرات مصرف برق کمپرسور به ازاء تغییر دمای ورودی به آن ..... ۳۸



**« فهرست نمودارها »****صفحه****عنوان**

- نمودار (۱) - درصد کاهش تلفات گازهای خروجی به ازاء کاهش هوای اضافی ..... ۲۸
- نمودار (۲) - درصد صرفه‌جوئی در مصرف سوخت به ازاء کاهش هوای اضافی ..... ۲۹
- نمودار (۳) - میزان صرفه‌جوئی سوخت به ازاء پیش‌گرمایش هوای اولیه احتراق .... ۳۱
- نمودار (۴) - افزایش راندمان بویلر به ازاء پیش‌گرمایش هوای اولیه احتراق ..... ۳۱
- نمودار (۵) - درصد افزایش راندمان بویلر به ازاء افزایش دمای آب تغذیه ورودی آن ..... ۳۴
- نمودار (۶) - تغییرات بازده ترانسفورماتور نسبت به ضریب قدرت ..... ۴۵

## « فهرست شکل‌ها »

صفحه	عنوان
۱۲	شکل (۱) - فرآیند تولید شیر پاستوریزه
۱۴	شکل (۲) - فرآیند تولید ماست
۱۵	شکل (۳) - فرآیند تولید خامه
۱۶	شکل (۴) - فرآیند تولید کره
۱۸	شکل (۵) - فرآیند تولید پنیر
۲۰	شکل (۶) - فرآیند تولید شیر خشک
۳۲	شکل (۷) - طرح شماتیک نصب پیشگرمکن هوا
۳۴	شکل (۸) - طرح شماتیک بازیافت حرارت آب زیر کش مولد بخار (Blow down)
۴۱	شکل (۹) - نحوه بازیافت حرارت توسط پمپ حرارتی
۵۷	شکل (۱۰) - طرز کار چیلر رفت و برگشتی (تراکمی)
۵۹	شکل (۱۱) - طرز کار چیلرهای جذبی

## پیشگفتار

مهمترین عامل رشد و توسعه اقتصادی در چند دهه گذشته، ترقی علمی و تکنولوژیکی در کشورهای جهان و ارتقاء بهره‌وری در عرصه‌ها و زمینه‌های مختلف بوده است. در طی دهه‌های آینده، هزینه حامل‌های انرژی در قیمت تمام شده کالا بی‌تردید برای مصارف مختلفی نظیر گرمایش و سرمایش، روشنایی، موتورهای الکتریکی و نیروهای محرکه در فرآیند تولیدات صنعتی، رشد چشمگیری پیدا خواهد نمود.

امروز هر فرآیند تولیدی در صنعت، به عوامل تولید سرمایه، نیروی کار، انرژی و مواد اولیه بکار رفته در آن صنعت بستگی دارد. در عرصه رقابت جهانی در راستای تولید هر چه بیشتر، کشورها، جوامع و صنایعی موفق‌تر خواهند بود که در این رقابت با تحقیقات، مطالعات و انجام پروژه‌های مدیریت مصرف انرژی موفق به یافتن راهکارهایی جهت جلوگیری از اتلاف در مصرف انرژی شوند که در نتیجه آن هزینه‌های تولید کاهش خواهد یافت.

سازمان بهره‌وری انرژی ایران در راستای اهداف دولت جمهوری اسلامی ایران در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی فعالیت می‌کند و تاکنون شاخه‌های مختلفی از صنایع کشور را مورد بررسی قرار داده و به انجام ممیزی انرژی در آنها پرداخته است. روند اجرای پروژه‌های مدیریت مصرف انرژی در کارخانجات، بطور مختصر در بندهای زیر آورده شده است.

۱. تشکیل جلسه مقدماتی و تشریح اهداف و نحوه انجام کار و انتظارات گروه ممیزی از مدیریت و کارشناسان کارخانه در جهت همکاری و بهبود انجام پروژه.
۲. بازدید از کلیه قسمت‌های کارخانه و پروسه تولید و همچنین مطالعه فرآیند تولید.
۳. جمع‌آوری اطلاعات تجهیزات انرژی بر کارخانه، مصارف انرژی و میزان تولید، در قالب یک پرسشنامه.
۴. اندازه‌گیری‌های متعدد در فرآیند تولید و پست‌های برق و تجهیزات انرژی بر خط تولید در چند نوبت.

۵. بررسی اطلاعات مصرف ویژه انرژی قبل از انجام ممیزی انرژی ( بر اساس مصارف انرژی و میزان تولید) و سپس محاسبه این مقادیر از روی نتایج اندازه‌گیری و بررسی مغایرتها.

۶. شناسایی تلفات انرژی و تعیین پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی.

۷. ارائه راهکارهای کاهش مصرف انرژی در قالب راهکارهای بدون هزینه، کم هزینه و پر هزینه، به همراه محاسبات فنی و اقتصادی و تعیین میزان سرمایه‌گذاری و زمان بازگشت سرمایه.

سازمان بهره‌وری انرژی ایران، در قالب چندین پروژه مدیریت مصرف انرژی، صنعت شیر و فرآورده‌های لبنی را مورد بررسی قرار داده است. در این پروژه‌ها، پروسه تولید بطور دقیق مورد مطالعه قرار گرفته و اندازه‌گیری‌های لازم بر روی دستگاههای انرژی بر کارخانه انجام شده است.

با تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از اندازه‌گیری، موارد تلفات انرژی و نقاط بازیافت انرژی شناسائی شده‌اند. بر این اساس، راهکارهایی جهت کاهش مصرف انرژی فسیلی و الکتریکی در بخشهای ۵ و ۶ این کتاب ارائه گردیده که همگی قابل اجرا و دستیابی می‌باشند. در مورد هر راهکار پیشنهادی، نمونه‌ای واقعی از آن راهکار که در یکی از کارخانجات بررسی شده، آورده شده است.

در کلیه راهکارهای پیشنهادی، با اندازه‌گیری‌های انجام گرفته، میزان انرژی قابل صرفه‌جویی برآورد شده و با توجه به قیمت روز انرژی و همچنین قیمت روز تجهیزات مورد نیاز جهت اجرای طرح، زمان بازگشت سرمایه اعلام شده است. کلیه این راهکارها از نظر عملی قابل اجرا بوده و در کلیه طرحهای پیشنهادی، در صورت نیاز به سرمایه‌گذاری، سرمایه مورد نظر در زمانی کمتر از ۳ سال قابل برگشت به کارخانه می‌باشد. در نتیجه نتایج مثبت اقتصادی حاصل از آن مستقیماً به خود کارخانه باز می‌گردد و از سوی دیگر با کاهش مصرف انرژی در سطح کلان، باعث حفظ ذخایر انرژیهای تجدیدناپذیر در کشور و کاهش آلودگی محیط زیست می‌شود.

جهت بازتاب بیشتر موضوع، می‌توان به نتایج کلی و برآورد میزان پتانسیل کاهش مصرف انرژی، در ۶ کارخانه تولید شیر و فرآورده‌های لبنی اشاره نمود. میزان انرژی

الکتریکی قابل صرفه‌جوئی در این کارخانجات در حدود ۸۳۰۴ مگاوات ساعت در سال و پتانسیل انرژی فسیلی قابل صرفه‌جوئی در آنها، در حدود ۲۲۰۱۹۶۹ گیگاژول در سال می‌باشد. این نتایج، بسیار قابل توجه و تأمل است.

امید است با کمک گرفتن از راهکارهای پیشنهادی در این کتاب و با توجه به بررسی شرایط هر کارخانه، با اجرای این راهکارها و احیاناً سایر طرحهایی که در اینجا بدان اشاره نشده است، شاهد صرفه‌جوئی در مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های تولید و همچنین بهبود شاخص‌های مصارف ویژه انرژی در جهت رسیدن به استانداردهای جهانی، در صنعت شیر کشورمان باشیم.

4018

---

## مقدمه

شیر محصولی است دامی که در تغذیه انسان نقش ارزنده‌ای را ایفا می‌کند و به تدریج که مواد تشکیل دهنده آن شناخته شده و ارزشهای غذایی آن در اشکال مختلف مصرف پدیدار گشته، اهمیت ویژه‌ای در برنامه غذایی روزانه پیدا کرده بصورتی که کشورها برای تولید، صنعت، تجارت و مصرف بهتر آن سرمایه‌گذاری‌های هنگفتی می‌کنند.

به منظور استفاده بهینه از این مایع مفید و ارزشمند، صنایع و کارخانجات متعددی در خدمت و کنار دامداری‌های صنعتی ایجاد شده و موجب تنوع در تولید مواد لبنی و بهداشتی نمودن آنها و کمک به امر نگهداری بیشتر و صحیح تر، بطرق مختلف نموده است. امروزه شیر و مصرف آن، گذشته از این که در سلامت جامعه نقش اساسی و ارزنده‌ای دارد، عامل مهمی نیز در توسعه یافتگی ملتها و کشورها محسوب می‌گردد و نقش حیاتی و برجسته آن خصوصاً در تغذیه اطفال و سالخوردگان جوامع، بسیار حائز اهمیت است.

گسترش و پیشرفت صنعت شیر توسط دامداری‌های صنعتی و کارخانجات صنایع شیر موجب تغذیه بهتر و سلامت بیشتر شده و یکی از عوامل مهم ارزآوری در کشورهای پیشرفته گردیده است. بطوریکه صادرات و تجارت شیر خشک به شکل‌های مختلف،

شیر‌کندانسه و سایر لبنیات استحصال از شیر، در توسعه یافتگی آنها نقش مهمی ایفا می‌کند.

شیر همچون سایر کالاهای اساسی و استراتژیک در بازارهای داخلی و جهانی دارای جایگاه و مرتبه تجاری مهمی بوده و هرگونه تغییری در هر یک از ارقام قیمت، تقاضا و عرضه، تأثیر مستقیمی بر یکدیگر می‌گذارند. قابل ذکر است که هزینه جاری و ثابت تولید شیر، در قیمت تمام شده آن، نقش بسیار مهمی را در مصرف و سلامت جوامع نیمه مرفه ایفا می‌کند. از این میان هزینه انرژی مصرف شده برای تولید یک واحد شیر یکی از عوامل بسیار مهم در قیمت تمام شده آن بوده و کاهش آن اثر مستقیم در کاهش قیمت شیر داشته و موجب تولید بیشتر شیر خواهد شد.

در این راستا، سازمان بهره‌وری انرژی ایران، صنعت شیر را در قالب چندین پروژه مدیریت مصرف انرژی در کارخانجات متعددی از این صنعت، مورد بررسی قرار داده است. این کتاب، حاوی مجموعه راهکارهای پیشنهادی در رابطه با صرفه‌جویی انرژی در کارخانجات شیر و فرآورده‌های آن، در ایران می‌باشد. این اطلاعات بر اساس بررسی‌های بعمل آمده در پروژه‌های ممیزی انرژی کارخانجات شیر گردآوری شده است و شامل مجموعه راهکارهای عملی و قابل اجرا جهت کاهش مصرف انرژی در آنها می‌باشد.



## ۱- معرفی صنعت شیر

### ۱-۱- تاریخچه صنعت شیر در ایران

صنعت شیر در ایران در سال ۱۳۲۶ همگام با توجه و تمایل روزافزون مردم تهران به مصرف شیر و فرآورده‌های لبنی و با فکر ایجاد واحد تولید و توزیع شیر به شکلی نسبتاً بهداشتی‌تر، با تأسیس کارگاه لبنیات سازی آسترا در خیابان فردوسی تهران، پایه‌گذاری شد. در این کارگاه شیر را پس از جدا کردن خامه از آن، در دیگ‌های نسبتاً بزرگی جوشانده و سپس در بطری‌هایی که دارای درب چوب پنبه‌ای بود عرضه می‌کردند. در این کارگاه علاوه بر شیر، فرآورده‌هایی نظیر ماست، کره و پنیر ایرانی نیز تهیه می‌شد. در همان سال کارگاه دیگری (بنام ب ب) در خیابان ایرانشهر تأسیس شد که به همان روش کارگاه لبنی آسترا کار می‌کرد. اگر چه این کارگاه پس از یکی دو سال تعطیل شد ولی توانست نخستین قدم‌ها را در راه مدرنیزه کردن صنعت شیر در ایران بردارد. در اواخر سال ۱۳۲۷ یا اوائل سال ۱۳۲۸ کارخانه نسبتاً مدرنی در جوادیه تهران احداث شد که در واقع نخستین مؤسسه‌ای بود که صنعت مدرن شیر را در ایران پایه‌گذاری کرد. این کارخانه که "آلفا" نامیده می‌شد کار خود را با دریافت روزانه ۵ تن شیر خام و تبدیل آن به انواع محصولات لبنی آغاز کرد. این کارخانه دارای دستگاه‌های خامه‌گیری، پاستوریزاسیون و بطری پرکنی بوده و موفقیت زیادی در عرضه شیر بهداشتی بدست آورد. کارخانه آلفا یک دستگاه ساده و نیمه خودکار برای بطری شویی داشت که امکان شستن بطری‌ها را به کمک دست کارگر و ماشین فراهم می‌ساخت. این کارخانه با

ده سال کارکرد، ظرفیت خود را تا تولید روزانه ۱۵ تن بالا برد ولی در سال ۱۳۲۸ بعلت ورشکستگی عملیات آن متوقف گردید.

از جمله دیگر واحدهائی که بعداً اقدام به تهیه و توزیع شیر و ماست بسته‌بندی شده، نمودند، میکی ماست و لارک را باید نام برد، که هر یک به نوبه خود خدماتی را در بهداشت و عرضه فرآورده‌های شیر انجام دادند.

در سال ۱۳۳۳ طرح تأسیس کارخانه شیر پاستوریزه تهران با اقدامات وزارت بهداشتی، سازمان برنامه و یونیسیف (سازمان ملل) آماده گردید. بر اساس این طرح مقرر شد که ساختمان و سرمایه لازم توسط سازمان برنامه و از محل اعتبارات کشور تأمین گردد و ماشین آلات مورد نیاز نیز بوسیله یونیسیف به ایران اهداء شود. در مقابل، دولت ایران متعهد شد که معادل یک و نیم برابر ارزش ماشین آلات، قسمتی از شیر تولیدی کارخانه شیر پاستوریزه تهران را به مدت هفت سال جهت تغذیه کودکان نیازمند اختصاص دهد تا بدین ترتیب بهبود چشمگیری در تغذیه این طبقه از جمعیت ایران، حاصل گردد. پس از امضاء قرارداد، کارهای ساختمانی و نصب ماشین آلات آغاز شد و در آبان ماه سال ۱۳۳۶ کارخانه شیر پاستوریزه تهران با ظرفیت اولیه روزانه ۴۵ تن گشایش یافت.

در شهریور ماه سال ۱۳۳۹ دومین کارخانه شیر پاستوریزه در تهران بنام شرکت لبنیات پاستوریزه پاک با ظرفیت ۳ تن در ساعت، در تهران تأسیس گردید. تا پایان سال ۱۳۴۱ واحدهای دیگری در شهرهای تبریز، رشت و آبادان نیز تأسیس شد. در طول سالهای ۱۳۴۲ الی ۱۳۴۶، شش واحد دیگر در شهرهای اصفهان، شیراز، مشهد، ساری، کرمانشاه و اهواز احداث گردید.

در حال حاضر سالانه حدود ۱/۵ میلیون تن شیر در کارخانجات لبنی ایران تحت فرآوری صنعتی قرار می‌گیرند که حدود ۵۴ درصد از این میزان در مجموعه کارخانجات شرکت سهامی صنایع شیر ایران فرآوری می‌شود.

جدول شماره (۱) کارخانه‌های موجود شیر پاستوریزه خصوصی و جدول شماره (۲) کارخانه‌های وابسته به صنایع شیر ایران را به همراه ظرفیت تولید آنها نشان می‌دهد.

جدول ( ۱ ) - کارخانه‌های بخش خصوصی شیر پاستوریزه در ایران

ظرفیت اسمی (تن در روز)	نام کارخانه	ردیف
۲۰۰	لبنیات پاستوریزه پاک	۱
۱۰۰	لبنیات مادی ( می ماس )	۲
۱۵۰	شیر پاستوریزه و استریلیزه اراک	۳
۵۰	شیر پاستوریزه باختران	۴
۵۰	شیر پاستوریزه ارومیه	۵
۳۰	شیر پاستوریزه اهواز	۶
۱۰	پنیر سراب	۷
۱۵	شیر پاستوریزه مازندران	۸
۲۰۰	لبنیات کشت و صنعت مغان	۹
۸۰۵	جمع	

جدول (۲) - کارخانه‌های شیر پاستوریزه وابسته به صنایع شیر ایران

ردیف	نام کارخانه	ظرفیت اسمی (تن در روز)
۱	تهران	۷۵۰
۲	شیراز	۱۵۰
۳	مشهد	۱۵۰
۴	اصفهان	۱۵۰
۵	تبریز	۱۵۰
۶	کرمان	۷۵
۷	پنیر گلپایگان	۲۰
۸	لبنیات مشهد	۳۰
۹	زنجان	۷۵
۱۰	گرگان	۱۵۰
۱۱	همدان	۱۰۰
۱۲	رشت	۵۰
۱۳	خوزستان	۱۵۰
	جمع کل	۲۰۰۰

### ۱-۲- معرفی صنعت شیر و فرآورده‌های آن

از آنجایی که شیر، این ماده غذایی با ارزش، محیط بسیار مناسبی جهت رشد و تکثیر میکروبهاست، لذا مهمترین مسأله‌ای که در فرآیند تولید شیر وجود دارد، نگهداری و سالم سازی آن می‌باشد. شیر در اثر عوامل مختلفی از جمله هنگام دوشیدن، جمع‌آوری و حمل و نقل به کارخانه و... آلوده به میکروب می‌گردد.

برای جلوگیری از رشد و نمو میکروبها در شیر، از عوامل متوقف کننده رشد و بخصوص سرما استفاده می‌شود. ولی با توجه به اینکه سرما عامل ضد عفونی و کشنده میکروبها نبوده و فقط موجب کند شدن فعالیت آنها می‌گردد و زمان فساد و تحول میکروبی ماده غذایی را به تأخیر می‌اندازد، پاستوریزه کردن و استریلیزه نمودن شیر و فرآورده‌های آن و همچنین بسته‌بندی مناسب آنها از اهمیت بسزایی برخوردار است. فرآورده‌های شیر در کارخانجات مختلف، متفاوت می‌باشد. فرآورده‌های عمومی شیر عبارتند از: شیر پاستوریزه و استریلیزه با درصد چربی‌های متفاوت، شیر کاکائو، انواع ماست، دوغ، خامه، کره، انواع پنیر، انواع بستنی و شیر خشک.

#### ۱-۲-۱- فرآیند تولید شیر پاستوریزه

ابتدا از شیر خام حمل شده از دامداری‌ها، قبل از وارد شدن به هر مرحله‌ای، نمونه‌برداری شده و آزمایش میکروبی و کنترل کیفیت بر روی آن انجام می‌گیرد و همچنین درصد چربی آن نیز اندازه‌گیری می‌گردد. پس از حصول اطمینان از درجه سلامت نمونه شیر دریافتی، تمامی شیر خام موجود توسط پمپهای مربوطه تخلیه می‌شود. در حین تخلیه جهت جداسازی ذرات معلق، شیر را از فیلترهای مناسب عبور می‌دهند و سپس از کنتور برای اندازه‌گیری شیر خام دریافتی استفاده می‌شود. شیر خام به دستگاه سانتریفوژ هدایت شده و پس از عبور از صفحات سرد کننده، به مخازن نگهداری شیر خام و نهایتاً به مخازن بالانس، توسط پمپهای الکتریکی انتقال می‌یابد. این شیر با دمای حدود ۷-۴ درجه سانتی‌گراد وارد قسمت تبادل حرارت شده و در اثر مجاورت با شیر پاستوریزه گرم، در حدود ۴۵-۴۰ درجه سانتی‌گراد گرم می‌شود. سپس این شیر به سپراتور (جداساز یا خامه گیر) انتقال می‌یابد. پس از جداسازی چربی شیر، چربی مازاد شیر برای تولید خامه به مخزن نگهداری خامه هدایت می‌شود. شیر باقیمانده با درصد چربی مناسب برای پاستوریزه شدن به قسمت مربوطه هدایت شده و بخشی نیز برای تولید شیر خشک به مخازن بالانس شیر خشک انتقال می‌یابد.

برای پاستوریزه کردن، شیر را حداقل ۷۲ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۵ ثانیه در فشار ۱۶ اتمسفر حرارت می‌دهند. در این حالت چربی شیر بصورت مولکول‌های بزرگ

می‌باشد که جهت شکستن این مولکول‌ها، شیر را در دمای بالا به قسمت هموژنیزاسیون ( همگن کننده ) و ماریچ هدایت نموده و مولکولهای چربی شیر شکسته شده و قابل مصرف می‌گردد. سپس این شیر پاستوریزه شده، به قسمت تبادل حرارت اولیه، جهت گرم نمودن شیر خامی که تازه وارد این بخش شده، برگشت داده می‌شود. شیر پاستوریزه را بعد از این مرحله توسط صفحه‌های سردکن، خنک نموده و به دمای ۴-۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسانند و در مخازن نگهداری شیر پاستوریزه ذخیره کرده و برای بسته بندی به دستگاههای مربوطه ارسال می‌دارند. شکل شماره (۱)، فرآیند تولید شیر پاستوریزه را نشان می‌دهد.



### تولید شیر استریلیزه

به منظور استریلیزه کردن، شیر با چربی مناسب و با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد را به مدت ۳ ثانیه وارد تانک خلاء نموده و با تزریق بخار آب با فشار ۳/۶ اتمسفر، دما را به ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسانند و بدین ترتیب شیر استریل می‌شود. شیر استریلیزه باید در پاکت استریلیزه شده نیز بسته‌بندی شود. به همین منظور، کاغذ مخصوص پاکت شیر که بصورت رول است در حمام آب اکسیژنه در درجه حرارت ۲۴۰-۱۸۰ درجه سانتی‌گراد استریلیزه می‌گردد. سپس همزمان پاکت بریده شده فرم می‌گیرد و شیر در پاکت تزریق شده و سرپاکت بسته می‌شود. از پاکتهای پر شده نمونه‌برداری نموده و محصول بسته‌بندی شده سه روز در قرنطینه نگهداری می‌شود (در حرارت ۳۷ درجه سانتی‌گراد) و در صورت مثبت بودن نتیجه و فاسد نشدن، شیر اجازه توزیع می‌یابد.

#### ۱-۲-۲- فرآیند تولید ماست

جهت تهیه ماست، دو باکتری اختصاصی که به مایه ماست معروفند را به شیر گرم در حرارت حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد اضافه کرده و آن را مدت ۲ الی ۳ ساعت در همین حرارت نگه می‌دارند و سپس سرد می‌کنند. این باکتریها در شیر رشد و نمو کرده و لاکتوز یا قند شیر را به اسید لاکتیک ( ترشی شیر) تبدیل می‌کنند و بدین ترتیب شیر به ماست تبدیل می‌شود.

در کارخانه‌های ماست سازی، ماست به دو روش تهیه می‌شود. در روش اول، شیر با چربی استاندارد را در دمای ۹۰ تا ۹۵ درجه پاستوریزه نموده و سپس تا حدود ۴۰ درجه سرد می‌کنند و مایه ماست را به آن می‌افزایند. سپس شیری که به آن مایه افزوده شده، وارد دستگاه بسته‌بندی می‌شود و در ظروف بسته‌بندی پر شده و متعاقباً در داخل سیستم گرمخانه قرار می‌گیرد. سپس یا به سردخانه انتقال می‌یابد و یا در بعضی دستگاهها، سیستم گرمخانه با تغییر وضعیت، به حالت سردخانه درآمده و ماست را در محل، خنک می‌نماید.



---

در روش دوم، شیر پس از تخمیر و تبدیل شدن به ماست خنک می‌گردد و سپس بسته‌بندی می‌شود. در این روش، ماست حالت همزده دارد. شکل شماره (۲)، فرآیند تولید ماست را نشان می‌دهد.

### ۱-۲-۳- فرآیند تولید خامه

در این فرآیند، چربی شیر با عبور شیر خام از دستگاهی به نام سپراتور که اساس کار آن استفاده از نیروی گریز از مرکز می‌باشد، جدا شده و بصورت خامه به مخازن نگهداری خامه انتقال داده می‌شود. در هر کارخانه انواع خامه با درصدهای چربی متفاوت تولید می‌شود که هر یک مصارف مختلفی دارند، مانند: خامه صبحانه (با ۳۰٪ چربی) خامه قنادی (با ۳۵٪ چربی) و یا خامه جهت تهیه کره (با ۳۸ الی ۴۲ درصد چربی). برای دسترسی به درصد مطلوب چربی، سرعت سپراتور و مواد ورودی به آن را تنظیم می‌کنند. پس از این عمل، خامه بدست آمده به قسمت پاستوریزاسیون و هموژنیزاسیون فرستاده شده و بعد از انجام اعمال فوق به قسمت بسته‌بندی و نهایتاً به سردخانه انتقال می‌یابد. شکل شماره (۳)، فرآیند تولید خامه را نشان می‌دهد.

**۱-۲-۴ - فرآیند تولید کره**

برای تولید کره، از خامه با میزان چربی ۳۸ تا ۴۲ درصد، کشت میکروبی بعمل می‌آید تا از سلامت آن اطمینان حاصل شود و سپس جهت تولید کره وارد دستگاهی موسوم به Churn می‌گردد. خروجی این دستگاه، کره به میزان ۴۰ درصد و پساب به میزان ۶۰ درصد وزنی می‌باشد. سپس کره بسته‌بندی شده و به سمت سردخانه هدایت می‌شود. شکل شماره (۴)، فرآیند تولید کره را نشان می‌دهد.

### ۱-۲-۵- فرآیند تولید پنیر

در فرآیند تولید پنیر ابتدا شیر با درصد چربی مورد نظر را پاستوریزه و بعد هموژنیزه نموده و سپس تا دمای ۲۰ درجه آنرا خنک می‌کنند. در این قسمت مقداری مایع پنیر به شیر افزوده و ماده حاصله وارد تانک انعقاد می‌گردد تا در آنجا ببندد. سپس وارد دستگاه سپراتور شده و پنیر از پساب جدا می‌شود. به پنیر بدست آمده به میزان ۲ درصد نمک اضافه کرده و وارد تانک Mix نموده و سپس بسته‌بندی می‌کنند. شکل شماره (۵)، فرآیند تولید پنیر را نشان می‌دهد.



### ۱-۲-۶- فرآیند تولید شیر خشک

در این فرآیند شیر خام بدون چربی با دمای ۵ الی ۱۰ درجه سانتی‌گراد وارد واحد شیر خشک می‌شود. در طی چند مرحله تبادل حرارت در پیشگرمکن‌ها، دمای شیر به ۸۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و سپس وارد اواپراتورها شده و ۵۰ درصد از آب خود را از دست داده و تغلیظ می‌گردد. بعد از این مرحله ماده بدست آمده وارد اتومایزر شده و توسط آن به داخل برج خشک کن پاشیده می‌شود و در اثر برخورد با هوای گرم، به پودر شیر خشک تبدیل می‌گردد. بدین ترتیب بدون اینکه از ارزش غذایی شیر کاسته شود، این ماده خشک بدون چربی و در حقیقت قسمت پروتئینی شیر، پس از بسته‌بندی مناسب، قابل نگهداری در زمانهای طولانی‌تر می‌باشد. شکل شماره (۶)، فرآیند تولید شیر خشک را نشان می‌دهد.



### ۳-۱- بررسی چگونگی مصرف انرژی فسیلی در صنعت شیر ( دستگاههای تولید کننده و مصرف کننده انرژی حرارتی در صنعت شیر )

در کارخانجات تولید شیر و فرآورده‌های آن، عمده انرژی حرارتی مصرفی در فرآیند تولید، بصورت بخار می‌باشد. بنابراین مصرف سوخت فسیلی در کارخانجات شیر، عمدتاً در دیگهای بخار بوده و مقدار کمی نیز جهت سوخت نیروگاههای اضطراری برق در این کارخانجات، استفاده می‌شود. بخار تولید شده در این کارخانجات عموماً بصورت‌های زیر مصرف می‌گردد :

الف - در مبدلهای حرارتی پاستوریزاتورها، دستگاههای استریلیزاسیون و هموژنیزاسیون  
ب - در مبدلهای حرارتی گرمخانه‌های تولید ماست و پنیر

ج - در مبدلهای حرارتی جهت گرم کردن آب مورد نیاز و همچنین گرم کردن شوینده‌های بازی و اسیدی که برای شستشوی مسیرها، تانکها، پاستوریزاتورها، سبدها و بطری‌ها بکار می‌رود.

د - در پیشگرمکن‌ها و اوپراتورهای تولید شیر خشک

ه - در رادیاتور تولید هوای داغ یا بخار خشک مورد نیاز در خشک کن پاششی (Spray dryer) در واحد تولید شیر خشک

لازم به ذکر است که در واحد تولید شیر خشک بعضی از کارخانجات شیر، جهت گرم کردن هوای داغ مورد نیاز در خشک کن پاششی، از گرمکن یا هیتر غیر مستقیم استفاده می‌گردد و در آنجا سوخت فسیلی بصورت مستقیم در مشعل گرمکن مصرف می‌شود.

### ۴-۱- بررسی چگونگی مصرف انرژی الکتریکی در صنعت شیر (دستگاههای مصرف کننده انرژی الکتریکی در صنعت شیر )

انرژی الکتریکی در صنعت شیر و فرآورده‌های آن، توسط دستگاهها و تجهیزات مختلف مصرف می‌گردد که مهمترین این مصرف کننده‌ها عبارتند از :



- 
- الف - سیستم‌های تبرید و سردخانه‌ها که مصرف کننده عمده انرژی الکتریکی در آنها کمپرسورها، فن‌های اواپراتورها و پمپهای آب کندانسورها می‌باشند.
- ب - پمپهای انتقال مواد لبنی، پمپهای آبسرد، پمپهای چاه آب، پمپهای انتقال فاضلاب، پمپهای انتقال مواد مختلف مانند شوینده‌ها، اسیدها، بازها و...
- ج - همزنها، دستگاههای سانتریفوژ در سپراتورهای شیر و چربی، پاستوریزاتورها، دستگاههای هموژناسیون، کلاریفایرها، اسپری درایر
- د - دستگاههای بسته‌بندی و نوار نقاله‌های انتقال مواد
- ه - فن‌ها و پمپهای بویلرها
- ی - هواکش‌های سالنها و فنهای مختلف بکار رفته در پروسه ( بعنوان مثال فنهای سیستم سردخانه و گرمخانه )
- و - روشنایی سالنها



## ۲- بررسی مصارف ویژه انرژی در صنعت شیر

مصرف انرژی ویژه فسیلی ( $SEC_f$ ) (Fossil Specific Energy Consumption) و مصرف انرژی ویژه الکتریکی ( $SEC_e$ ) (Electric Specific Energy Consumption) در صنعت شیر و فرآورده‌های آن را می‌توان برای کل کارخانه و یا برای تک تک فرآورده‌ها، تعریف نمود.

مصرف ویژه انرژی فسیلی در کشورهای پیشرفته جهان که بیشترین میزان تولید فرآورده‌های لبنی را دارند، نظیر استرالیا و کانادا، در حدود ۰/۶ گیگا ژول به ازاء یک تن شیر ورودی به کارخانه می‌باشد. از آنجائیکه اکثر انرژی فسیلی مصرفی در این کارخانجات بصورت بخار مصرف می‌شود، در صورت کارکرد مناسب و بهینه سیستم تولید و توزیع بخار، می‌توان این شاخص را بر اساس میزان مصرف بخار نیز بیان نمود. مقدار این شاخص در کشورهای پیشرفته در حدود ۰/۴۲ تن بخار به ازاء یک تن شیرورودی به کارخانه می‌باشد.

با بررسی کارخانجات مختلف صنعت شیر در ایران، ملاحظه می‌شود که شاخص مصرف ویژه انرژی فسیلی بسیار بیشتر از شاخص جهانی بوده و در اکثر موارد بیشتر از ۲ برابر می‌باشد و فقط در بعضی کارخانجات مدرن و جدید این شاخص نزدیک شاخص‌های جهانی است. مصرف ویژه انرژی فسیلی در ۵ کارخانه تولید شیر در ایران، بعنوان مثال،

۰/۶ GJ/ton.milk ، ۱/۶۹ GJ/ton.milk ، ۱/۳۳ GJ/ton.milk ، ۱/۶۹ GJ/ton.milk و ۱/۶۳ GJ/ton.milk می‌باشد. در بعضی موارد با برآورد و اندازه‌گیری میزان بخار مصرفی در پروسه، ملاحظه شده است که شاخص بخار مصرفی پروسه نسبت به شیر ورودی، نزدیک و در حد شاخص استاندارد می‌باشد، ولی شاخص مصرف انرژی فسیلی کارخانه ( سوخت ورودی) نسبت به شیر ورودی، ۲ برابر استاندارد است.

این بدان معنی است که پروسه تولید شیر و فرآورده‌های آن در نقطه بهینه و عملکرد مناسب خود کار می‌کند ولی سیستم تولید بخار و انرژی حرارتی کارخانه دارای راندمان بسیار پائینی است و انرژی فسیلی در آن هدر می‌رود.

شاخص مصرف ویژه انرژی الکتریکی در کشورهای پیشرفته جهان، در حدود ۵۲ کیلووات ساعت به ازاء یک تن شیر ورودی می‌باشد. در ایران این شاخص در اکثر کارخانجات شیری که مورد بررسی قرار گرفته‌اند ، در حد ۲ برابر و یا بیش از ۲ برابر مقدار فوق است. با توجه به اینکه بیشترین درصد مصرف انرژی الکتریکی در کارخانجات شیر را سیستم‌های تبرید و پمپها مصرف می‌کنند، در یک دید کلی، بالا بودن شاخص مصرف انرژی الکتریکی در صنعت شیر ایران را می‌توان ناشی از عملکرد نامناسب و راندمان پائین سیستم تبرید و پمپها دانست. در بخش ۶ به نقاط و دلایل تلفات انرژی الکتریکی در فرآیند تولید شیر و همچنین راهکارهای بهینه‌سازی آن، اشاره شده است. با اندازه‌گیریهای الکتریکی بر روی واحدهای اصلی تولید شیر و فرآورده‌های آن و همچنین واحدهای جانبی مختلف از جمله واحد تولید بخار، هوای فشرده، آب سرد، سردخانه‌ها و سیستمهای تبرید و با در نظر گرفتن درصد میزان مصرف برودت، بخار، هوای فشرده، آب و... در هر واحد اصلی، می‌توان میزان مصرف انرژی الکتریکی هر بخش از تولید را بدست آورد. از تقسیم مقدار مصرف انرژی الکتریکی هر واحد بر میزان تولید آن واحد لبنی، مصرف ویژه انرژی الکتریکی هر محصول لبنی محاسبه می‌گردد.

درمورد میزان مصرف ویژه انرژی فسیلی هر محصول نیز می‌توان مانند مورد بالا اقدام کرد. یعنی با توجه به میزان مصرف سوخت جهت تولید بخار و همچنین با برآورد میزان بخار مصرفی در هر واحد تولید، میزان مصرف انرژی فسیلی برای هر محصول بدست می‌آید که با تقسیم این میزان بر میزان تولید آن واحد، میزان مصرف ویژه انرژی فسیلی

هر محصول لبنی محاسبه می‌گردد. این مقادیر می‌تواند هم بر اساس واحد انرژی تقسیم بر تناژ محصول لبنی مانند ماست، خامه، کره و... باشد و همچنین می‌تواند بر اساس واحد انرژی تقسیم بر تناژ معادل شیر ورودی هر محصول باشد. ضرایب تبدیل میزان شیر ورودی به محصولات لبنی مختلف، در اکثر کارخانجات با فرآیند مشابه، تقریباً در یک حد و نزدیک هم می‌باشد. این مقادیر عبارتند از:

۱ تن ماست معادل ۱ تن شیر ( یعنی برای تولید یک تن ماست، یک تن شیر مصرف می‌شود)

۱ تن خامه معادل ۱۰ تن شیر

۱ تن کره معادل ۳۲ تن شیر

۱ تن پنیر در سیستم (U.F) معادل ۵/۵ تن شیر

۱ تن دوغ معادل ۰/۵ تن شیر

۱ تن شیر خشک معادل ۱۰/۵ الی ۱۱ تن شیر



### ۳- راهکارهای کاهش مصرف انرژی فسیلی در صنعت شیر

راهکارهای بررسی شده و ارائه شده در صنعت شیر، با توجه به اینکه مصرف اصلی سوخت فسیلی جهت تأمین بخار مصرفی پروسه تولید، توسط بویلرها انجام می‌گیرد، عموماً در جهت افزایش راندمان بویلرها و راهکارهای کاهش مصرف سوخت در آنها می‌باشد. همچنین راهکارهایی جهت جلوگیری از اتلاف حرارت در مسیر انتقال بخار و مراکز استفاده از بخار در پروسه ارائه شده است. بررسی‌هایی نیز در زمینه استفاده از حرارت‌های هدر رفته و بازیافت آنها صورت گرفته که در نهایت باعث کاهش مصرف سوخت در کارخانه می‌شود.

#### ۳-۱- تنظیم نسبت هوا به سوخت در بویلر (تنظیم درصد هوای اضافی در بویلر)

در فرآیند احتراق، برای انجام عمل سوختن مقداری هوا نیز مورد نیاز است که این میزان برای سوختن یک متر مکعب گاز طبیعی،  $10 \text{ m}^3$  هوا و برای سوختن یک لیتر گازوئیل،  $9/5 \text{ m}^3$  هوا می‌باشد. علاوه بر حداقل هوای مورد نیاز جهت سوختن، برای احتراق بهینه، مقداری هوای اضافی نیز به همراه هوای اولیه استفاده می‌شود که این میزان برای گاز طبیعی در حدود ۱۰ الی ۳۰ درصد و برای گازوئیل در حدود ۲۰ الی ۳۰

درصد می‌باشد. به صورت عملی، برآورد میزان واقعی هوای اضافی استفاده شده در بویلرها، از تجزیه گازهای حاصل از احتراق و با اندازه‌گیری از دودکش بویلر و با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌گردد. (این فرمول در مواقعی که مقدار ازت سوخت زیاد باشد، صادق نخواهد بود.)

$$m = \frac{21}{21 - 79(O_2 / N_2)}$$

که در این رابطه:

$m$  = مقدار هوای اضافی

درصد  $O_2$  در خروجی دودکش بویلر =  $O_2$  درصد  $N_2$  در خروجی دودکش

بویلر =  $N_2$

افزایش میزان هوای اضافی از حد مجاز، باعث ازدیاد و اتلاف گازهای گرم خروجی از دودکش شده و در نهایت سبب پائین آمدن راندمان بویلر می‌شود. نمودار (۱)، درصد کاهش تلفات گازهای آلاینده خروجی را به ازاء کاهش درصد هوای اضافی و نمودار (۲) درصد کاهش مصرف سوخت را به ازاء کاهش درصد هوای اضافی نشان می‌دهد.



نمودار (۱) - درصد کاهش تلفات گازهای خروجی به ازاء کاهش هوای اضافی

نمودار (۲) - درصد صرفه‌جوئی در مصرف سوخت به ازاء کاهش هوای اضافی

به عنوان نمونه، در یکی از پروژه‌های ممیزی انرژی انجام شده در یک کارخانه بزرگ تولید شیر، تعداد ۵ دستگاه بویلر با ظرفیتهای متفاوت بطور همزمان مشغول تولید بخار بودند. طبق اندازه‌گیری‌های انجام گرفته بر روی این بویلرهای گاز سوز، درصد هوای اضافی در آنها به ترتیب ۷۱٪، ۴۹٪، ۱۳٪، ۲۸۹٪ و ۲۸۹٪ برآورد شد. با تنظیم این مقادیر تا میزان ۳۰ درصد، به ترتیب به میزان ۱/۸٪، ۱/۵٪، ۰٪، ۴/۵٪ و ۴/۵٪ در مصرف سوخت هر کدام صرفه‌جوئی حاصل می‌شود. با توجه به مصرف عملی سوخت بویلرها که به ترتیب  $217 \text{ m}^3/\text{hr}$ ،  $474 \text{ m}^3/\text{hr}$ ،  $500 \text{ m}^3/\text{hr}$ ،  $200 \text{ m}^3/\text{hr}$  و  $111 \text{ m}^3/\text{hr}$  می‌باشد و با احتساب ۲۴ ساعت کارکرد در شبانه‌روز و ۳۶۰ روز کاری در سال، در صورت تنظیم درصد هوای اضافی در آنها، میزان صرفه‌جوئی سالانه گاز طبیعی در این ۵ بویلر، در حدود  $216000 \text{ m}^3$  خواهد بود.

$$\begin{aligned} \text{میزان صرفه‌جوئی بویلر (۱)} &= 0/018 \times 217 \text{ m}^3/\text{hr} \times 24 \text{ hr/day} \times 360 \text{ day/year} \\ &= 33747 \text{ m}^3/\text{year} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{میزان صرفه‌جوئی بویلر (۲)} &= 0/015 \times 474 \text{ m}^3/\text{hr} \times 24 \text{ hr/day} \times 360 \text{ day/year} \\ &= 61430 \text{ m}^3/\text{year} \end{aligned}$$

میزان درصد هوای اضافی در این بویلر مناسب است = میزان صرفه‌جوئی بویلر (۳)

$$\begin{aligned} \text{میزان صرفه‌جوئی بویلر (۴)} &= 0/045 \times 200 \text{ m}^3/\text{hr} \times 24 \text{ hr/day} \times 360 \text{ day/year} \\ &= 77760 \text{ m}^3/\text{year} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{میزان صرفه‌جوئی بویلر (۵)} &= 0/045 \times 111 \text{ m}^3/\text{hr} \times 24 \text{ hr/day} \times 360 \text{ day/year} \\ &= 43156 \text{ m}^3/\text{year} \end{aligned}$$

تنظیم درصد هوای اضافی بویلر، سبب کاهش تلفات گازهای خروجی از بویلر می‌گردد که علاوه بر بالا بردن راندمان بویلر و کاهش مصرف سوخت، مطابق نمودار (۱) باعث کاهش گازهای آلاینده در محیط نیز می‌شود.

### ۳-۲- پیشگرم کردن هوای اولیه احتراق در بویلر

برای انجام عمل احتراق، باید مقداری هوا به عنوان هوای اولیه در مشعل بویلر با سوخت ترکیب شود. در اکثر کارخانجات مورد بررسی، هوای اولیه ورودی به بویلر، هوای محیط می‌باشد. در صورتی که پیشگرم نمودن این هوا، باعث افزایش راندمان بویلر و صرفه‌جویی در مصرف سوخت می‌گردد.

امروزه در کارخانجات پیشرفته، با نصب یک مبدل حرارتی به نام رکوپراتور، در محل دودکش بویلر، از دمای نسبتاً زیاد گازهای آلاینده خروجی، جهت پیشگرمایش هوای اولیه بویلر استفاده می‌شود. نمودار (۳)، نشان دهنده میزان صرفه‌جویی در مصرف سوخت بویلر به ازاء پیشگرمایش هوای اولیه، در شرایط معمولی احتراق بویلر (در شرایط ۲۰ درصد هوای اضافه و احتراق صحیح) می‌باشد. همچنین نمودار (۴) افزایش راندمان بویلر را به ازاء افزایش هوای اولیه و یا پیشگرمایش هوای اولیه احتراق نشان می‌دهد.

نمودار (۳) - میزان صرفه‌جویی سوخت به ازاء پیشگرمایش هوای اولیه احتراق

نمودار (۴) - افزایش راندمان بویلر به ازاء پیشگرمایش هوای اولیه احتراق  
شکل (۷)، طرح شماتیکی از نصب پیشگرمکن هوا ( **Recuperator** ) را نمایش  
می‌دهد. با استفاده از این طرح، دمای گازهای آلاینده خروجی از حدود  $200^{\circ}\text{C}$  تا  $120^{\circ}\text{C}$

---

الی  $13^{\circ}\text{C}$  کاهش یافته و باعث افزایش دمای هوای ورودی به بویلر از  $20^{\circ}\text{C}$  ( دمای محیط ) به حدود  $100^{\circ}\text{C}$  خواهد شد.

شکل (۷) - طرح شماتیک نصب پیشگرمکن هوا

بعنوان نمونه، در یکی از کارخانجات ممیزی شده، در صورت نصب پیشگرمکن هوای اولیه بر روی ۵ عدد بویلر فعال در این کارخانه، دمای هوای احتراق تا حدود  $100^{\circ}\text{C}$  افزایش یافته و در حدود ۸ الی ۹ درصد در مصرف سوخت صرفه‌جویی حاصل خواهد شد. با احتساب مصرف سوخت مجموعه این بویلرها و با توجه به شرایط کار آنها، میزان صرفه‌جویی سالانه سوخت،  $1008331$  متر مکعب گاز طبیعی خواهد بود.

$1370 \text{ m}^3/\text{hr} \times 24 \text{ hr/day} \times 8/5\% =$  میزان صرفه‌جویی سالانه سوخت در اثر بازیافت

حرارت و پیشگرم کردن هوای احتراق

$$\times 360 \text{ day/year} = 1008331 \text{ m}^3/\text{year}$$

### ۳-۳- افزایش دمای آب تغذیه بویلر با استفاده از بازیافت حرارت از آب زیرکش بویلر (Blow Down)

این طرح برای کارخانجاتی پیشنهاد می‌گردد که آب زیرکش بویلر در آنها قابل ملاحظه می‌باشد. به عنوان نمونه، در یکی از کارخانجات بررسی شده، بدلیل کیفیت نامطلوب آب ورودی به مولد بخار، میزان آب گرم زیرکش بویلر قابل توجه بود. از آنجائیکه دمای آب زیرکش زیاد می‌باشد، می‌توان آنرا در منبعی ذخیره نمود و با عبور دادن آب تغذیه بویلر از مجاورت آن، دمای آب ورودی به مولد بخار را افزایش داد. بدین ترتیب در مصرف سوخت بویلر صرفه‌جویی به عمل می‌آید. شکل (۸) طرح شماتیکی از سیستم بازیافت حرارت از آب زیرکش بویلر را نشان می‌دهد.

شکل (۸) - طرح شماتیک بازیافت حرارت آب زیرکش مولد بخار (Blow Down) همچنین نمودار (۵)، افزایش راندمان بویلر را به ازاء افزایش دمای آب تغذیه بویلر نشان می‌دهد.

نمودار (۵) - درصد افزایش راندمان بویلر به ازاء افزایش دمای آب تغذیه ورودی آن



### ۳-۴- جلوگیری از نشتی بخار در سیستم انتقال بخار و ترمیم تله‌های بخار و عایقکاری مناسب سیستم

در اکثر کارخانجات مورد مطالعه، در مسیرهای مختلف انتقال بخار، به ویژه در محل اتصالات، نشتی بخار مشاهده می‌شود که این مسأله باعث به هدر رفتن درصدی از بخار تولیدی و در نتیجه اتلاف سوخت مصرفی در بویلر می‌گردد. بعنوان نمونه، در یک کارخانه بررسی شده با اندازه‌گیریها و ارزیابی‌های انجام گرفته، میزان نشتی بخار آن محاسبه شد و ملاحظه گردید در حدود ۱۳٪ از کل بخار تولیدی کارخانه، در نشتی‌ها و تلفات لوله‌های انتقال بخار، به هدر می‌رود. با توجه به میزان تولید بخار در این سیستم، میزان تلفات بخار و در نتیجه انرژی تلف شده محاسبه گردیده است.

انرژی تلف شده = ۱۱/۱ GJ/hr

بنابراین یکی از امکانات عملی و کم هزینه برای صرفه‌جویی انرژی، بازدید کلیه لوله‌های بخار کارخانه و شناسایی مکانهای نشتی بخار و انجام عایق‌بندی مناسب سیستم می‌باشد. همچنین بازدید تله‌های بخار (Steam Trap) سیستم و ترمیم نشتی‌ها و خرابی‌های آنها ضروری است. با انجام این اقدام در کارخانه مورد بحث، می‌توان سالانه به میزان  $475200 \text{ m}^3$  از هدر رفتن گاز طبیعی بویلرها جلوگیری کرد.

$120 \text{ m}^3/\text{hr}$  = میزان صرفه‌جویی حاصله در سوخت بویلرها

$475200 \text{ m}^3$  = میزان صرفه‌جویی سالانه در مصرف سوخت کارخانه

### ۳-۵- جلوگیری از اتلاف بخار در پروسه تولید

در بعضی از کارخانجات شیر مورد مطالعه، بعضاً به مواردی از مصرف بخار در پروسه برخورد می‌شود که لزومی به مصرف مستقیم بخار نمی‌باشد. بعنوان مثال استریل نمودن ظروف پلاستیکی و... که با دمش مستقیم بخار صورت می‌گیرد. در حالیکه در این گونه موارد می‌توان از روشهای دیگر شستشو مانند استفاده از آبگرم، استفاده نمود. یا بعضاً در پروسه، جهت بالا بردن دما بطور مستقیم از تزریق بخار استفاده می‌شود که در این موارد می‌توان با تعبیه یک مبدل حرارتی، بطور غیر مستقیم از حرارت بخار استفاده کرد.

همچنین با قرار دادن یک درپوش ساده بر روی سرلوله‌های بخار، در زمانهایی که به بخار نیاز نمی‌باشد، می‌توان از خروج بخار و اتلاف آن جلوگیری نمود.

### ۳-۶- جلوگیری از نشتی آب گرم تغذیه بویلر

در یکی از کارخانجات مورد بررسی، مشاهده شد که آب مورد نیاز جهت ورود به بویلر، ابتدا به مخزنی وارد شده و در آنجا در اثر مجاورت با بخار تولیدی از بویلر تا دمای حدود  $80^{\circ}\text{C}$  پیشگرم می‌شود. در این مورد باید توجه داشت که برای پیشگرم کردن آب، بازیافت حرارت صورت نگرفته و تبادل حرارت با بخار تولیدی باعث مصرف سوخت بیشتر در بویلر می‌گردد. در سیستم فوق، به علت وجود نشتی در مسیر انتقال آب ورودی، درصدی از آن تلف می‌شود که علاوه بر اتلاف آب تصفیه شده بویلر، باعث اتلاف سوخت بویلر نیز می‌گردد.

با اندازه‌گیریهای انجام گرفته، میزان تلفات آب در این سیستم  $36 \text{ Lit/hr}$  بوده که جهت گرم نمودن آن  $5 \text{ m}^3/\text{hr}$  گاز طبیعی مصرف شده است. در نتیجه سالانه به میزان  $39000 \text{ m}^3$  گاز طبیعی به هدر می‌رود که در صورت رفع پوسیدگی لوله و تعویض آن، در مصرف این مقدار سوخت صرفه‌جویی حاصل می‌شود.

### ۳-۷- جلوگیری از اتلاف آب کندانس و بازگشت آن به سیستم بویلر

در کارخانجات شیر، بخار مصرف شده در مبدلهای حرارتی فرآیند، مانند پاستوریزاتورها، استریلیزاتورها، واحد اسید شویی و... در اثر تبادل حرارت، به آبگرم تبدیل می‌شود که به آن آب کندانس خروجی می‌گویند. این آبگرم در حدود  $80$  الی  $90$  درجه سانتی‌گراد حرارت دارد که از حرارت آن می‌توان در قسمتهای مختلف استفاده نمود و نهایتاً آنرا به بویلر بازگرداند. در اکثر کارخانجات بررسی شده، این آب کندانس، هدر رفته و به فاضلاب کارخانه وارد می‌شود. با لوله‌کشی مناسب می‌توان از این مقدار آب با ارزش در آب تغذیه بویلر استفاده نمود که در این صورت علاوه بر حذف مصرف آب بویلر، راندمان بویلر افزایش یافته و سبب کاهش مصرف سوخت آن نیز می‌گردد. بعنوان نمونه در یک کارخانه، دبی آب کندانس خروجی که به فاضلاب وارد می‌شود،

می‌باشد و دمای آن حدود  $80^{\circ}\text{C}$  است. با برگشت دادن این آب به بویلر، می‌توان سالانه به میزان  $87600\text{m}^3$  از مصرف سوخت بویلر کاست و همچنین باعث صرفه‌جویی در آب مصرفی بویلر به میزان  $10\text{m}^3/\text{hr}$  گردید.

### ۳-۸- بهبود عملکرد پاستوریزاتورها و کاهش مصرف ویژه انرژی حرارتی

در تعدادی از کارخانجات بررسی شده، واحدهای تولیدی جدید و مدرن در کنار واحدهای قدیمی و مستعمل احداث گردیده و مشغول فعالیت می‌باشند. طبق بررسی‌های بعمل آمده در این کارخانجات، مشاهده شد که شاخص مصرف بخار در پاستوریزاتورهای جدید و پیشرفته در حدود نصف شاخص مصرف بخار در پاستوریزاتورهای قدیمی است. در کارخانجات قدیمی، بخار بیشتری جهت پاستوریزه کردن و همچنین آب خنک بیشتری جهت خنک کردن شیر مصرف می‌گردد که در نهایت سبب مصرف بیشتر انرژی الکتریکی پمپ‌های آب و مصرف بیشتر سوخت فسیلی جهت تهیه بخار می‌شود.

بعنوان نمونه، در یکی از بررسی‌های انجام گرفته، در اثر بهبود عملکرد پاستوریزاتورها به میزان ۵۰ درصد، می‌توان سالانه به میزان  $49500\text{m}^3$  در مصرف گاز

طبیعی صرفه‌جویی نمود و شاخص مصرف بخار را به میزان  $\frac{m^3\text{ steam}}{m^3\text{ milk}} \times 0.1$  کاهش داد.

### ۳-۹- بازیافت هوای گرم خروجی از After Cooler کمپرسورها، جهت پیشگرم

#### نمودن هوای احتراق بویلرها

دمای هوای فشرده خروجی از کمپرسورها، به علت کمپرس شدن، بالا می‌باشد. این دما در حدود  $200^{\circ}\text{C}$  است. این هوای فشرده، جهت استفاده در فرآیند تولید توسط After Cooler تا دمای حدود  $25^{\circ}\text{C}$  خنک و سپس وارد لوله‌های انتقال هوا می‌گردد. در این قسمت، هوای خروجی از فن After Cooler دارای گرمای نسبتاً با ارزشی است که این حرارت به محیط فرستاده می‌شود. این موضوع دو اشکال را در پی دارد. اول اینکه می‌توان این حجم هوای گرم را بازیافت نموده و در نقاط مختلف استفاده کرد و دوم اینکه این حجم هوای گرم، وارد محیط استقرار کمپرسور شده و از آنجائیکه منبع هوای

ورودی به کمپرسور، هوای محیط می‌باشد، لذا گرمای هوای ورودی به کمپرسور باعث افزایش مصرف برق و اتلاف انرژی الکتریکی در آن می‌شود. جدول شماره (۳)، تغییرات انرژی الکتریکی مصرفی کمپرسور را به ازاء تغییر دمای هوای استفاده شده در آن، نشان می‌دهد.

جدول (۳) - تغییرات مصرف برق کمپرسور به ازاء تغییر دمای ورودی به آن

درصد صرفه‌جوئی به کیلووات یا درصد افزایش متناسب با $21^{\circ}\text{C}$ ( $70^{\circ}\text{F}$ ) ورودی	حجم ورودی مورد نیاز به متر مکعب برای تأمین ۱۰۰۰ متر مکعب هوای آزاد در $21^{\circ}\text{C}$ ( $70^{\circ}\text{F}$ )	درجه حرارت هوای ورودی	
		$^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{C}$
صرفه‌جوئی ۷/۵	۹۲۵	۳۰	-۱
صرفه‌جوئی ۵/۷	۹۴۳	۴۰	۵
صرفه‌جوئی ۳/۸	۹۶۲	۵۰	۱۰
صرفه‌جوئی ۱/۹	۹۸۱	۶۰	۱۶
۰	۱۰۰۰	۷۰	۲۱
افزایش ۱/۹	۱۰۲۰	۸۰	۲۷
افزایش ۳/۸	۱۰۴۰	۹۰	۳۲
افزایش ۵/۷	۱۰۶۰	۱۰۰	۳۷
افزایش ۷/۶	۱۰۸۰	۱۱۰	۴۳
افزایش ۹/۵	۱۱۰۰	۱۲۰	۴۹

منبع : Smith, C. B., ed, Efficient Electricity Use, Pergamon Press, 1978

در صورتیکه واحد کمپرسورخانه نزدیک واحد تولید بخار باشد، می‌توان با نصب یک کانال از خروجی هر کمپرسور، از هوای گرم خروجی **After Cooler**، برای پیشگرمایش هوای اولیه بویلر استفاده نمود. بدین ترتیب هم دمای هوای محیط کمپرسور کاهش می‌یابد و هم با افزایش دمای هوای بویلر، راندمان بویلر افزایش یافته و در نهایت باعث صرفه‌جویی در مصرف سوخت بویلر می‌گردد.

در یکی از کارخانجات شیر، این امکان بازیافت بررسی شده و محاسبات فنی و اقتصادی آن انجام گرفته است. طبق این بررسی، دمای هوای خروجی از **After Cooler**،  $100^{\circ}\text{C}$  می‌باشد و جهت بازیافت دارای دبی و دمای مناسبی است. از طریق کانال کشی می‌توان این هوا را به بویلرهای بخار کارخانه هدایت نموده و باعث بالا رفتن دمای هوای احتراق بویلرها تا  $80^{\circ}\text{C}$  شد. طبق نمودارهای شماره (۳) و (۴) و اندازه‌گیریها و محاسبات انجام گرفته بر روی یکی از بویلرهای این مجموعه، راندمان بویلر در حدود ۴٪ افزایش پیدا می‌کند که باعث ۵٪ کاهش در مصرف سوخت می‌شود.

$$\begin{aligned} \text{مصرف سالانه سوخت بویلر} &= 250 \text{ m}^3/\text{hr} \times 24 \text{ hr/day} \times 360 \text{ day/year} \\ &= 2160000 \text{ m}^3/\text{year} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{میزان صرفه‌جویی سالانه ناشی از پیشگرم نمودن هوای احتراق} &= 5\% \times 1920000 \\ &= 108000 \text{ m}^3/\text{year} \end{aligned}$$

### ۳-۱۰- صرفه‌جویی در مصرف بخار کارخانجات شیر خشک

با بررسی‌های انجام گرفته بر روی مصرف بخار در یک کارخانه تولید شیر خشک و مقایسه آن با پارامترها و شاخص‌های جهانی، ملاحظه شد که در شرایط و ویژگی‌های یکسان، در این کارخانه برای تولید شیر خشک به میزان  $1/7 \text{ ton/hr}$  بخار اضافی استفاده می‌گردد. در صورت عملکرد بهینه دستگاههای این واحد، می‌توان از اتلاف و مصرف بی‌رویه آن جلوگیری کرد و در نهایت باعث صرفه‌جویی در مصرف سوخت گردید.

با توجه به راندمان دیگهای بخار این کارخانه ( در حدود ۷۰ درصد ) پیش بینی می‌شود با کاهش بخار ورودی بتوان در حدود  $90 \text{ m}^3/\text{hr}$  و یا به عبارتی سالانه به میزان  $400000 \text{ m}^3$  در مصرف سوخت صرفه‌جوئی نمود.

### ۳-۱۱- بازیافت حرارت از خروجی دودکش هوای گرم خشک کن پاششی در کارخانجات تولید شیر خشک

برای تولید شیر خشک، هوای داغ به کنسانتره شیر که توسط اتومایزر پاشیده می‌شود، برخورد کرده و آب موجود در کنسانتره را گرفته و آنرا تبدیل به شیر خشک می‌کند. این هوا با دمای حدود  $100^\circ\text{C}$  از دودکش خارج می‌شود. در صورتی که این هوا بازیافت شود و از آن جهت پیشگرم کردن هوای ورودی به رادیاتور تولید هوای داغ و یا جهت گرفتن آب موجود در شیر در مرحله چهارم پیشگرمکن، استفاده گردد، باعث کاهش میزان بخار مصرفی کارخانه می‌شود.

با اندازه‌گیری‌های بعمل آمده در یک کارخانه تولید شیر خشک، پارامترهای لازم جهت طراحی این سیستم بازیافت بدست آمد و بر طبق این اندازه‌گیریها، می‌توان هوای خروجی از کانال دودکش را با دمای  $92^\circ\text{C}$  و سرعت  $30 \text{ m/s}$ ، با یک کانال کشی ساده، جهت گرم نمودن هوای محیط رادیاتور بکار برد. در اثر این بازیافت، به میزان  $0.8 \text{ ton/hr}$ ، بخار صرفه‌جوئی می‌گردد که با احتساب راندمان بویلر، حدوداً  $45 \text{ m}^3/\text{hr}$  از مصرف سوخت بویلر کاسته می‌شود.

$324000 \text{ m}^3/\text{year} =$  صرفه‌جوئی در مصرف سوخت سالانه

### ۳-۱۲- بازیافت حرارت از شیر گرم توسط پمپ حرارتی (Heat pump)

شیر گرم حاصل از فرآیند پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون، توسط صفحات خنک کن، سرد می‌گردد و به مراحل بعدی هدایت می‌شود. از طرفی جهت گرم کردن آب مصرفی برای شستشو و مصارف دیگر، از بخار استفاده می‌گردد. در یک نگاه کلی، به نظر می‌رسد با تبادل حرارت بین دو فرآیند فوق، امکان کاهش بار سرمایشی در سیکل تبرید و کاهش بار گرمایشی در سیستم بخار و در نهایت کاهش مصرف انرژی الکتریکی و

فسیلی وجود دارد. یکی از تجهیزات و دستگاههای بازیافت حرارت که در این مورد می‌توان بکار گرفت، پمپ حرارتی (Heat Pump) می‌باشد. شکل شماره (۹) نحوه دستیابی به پتانسیل صرفه‌جوئی انرژی را در این دستگاه، نشان می‌دهد. این طرح در بسیاری از کشورهای توسعه یافته انجام گرفته و توسط آن شیر را تا دمای  $4^{\circ}\text{C}$  سرد و آب را تا دمای  $55^{\circ}\text{C}$  گرم می‌نمایند. مقدار سرمایه‌گذاری لازم برای خرید و نصب پمپ حرارتی، در مدت زمان کمی از محل کاهش هزینه‌های انرژی مصرفی، قابل بازگشت می‌باشد.

شکل (۹) - نحوه بازیافت حرارت توسط پمپ حرارتی





## ۴- راهکارهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی در صنعت شیر

با توجه به کاربرد وسیع انرژی الکتریکی در تجهیزات مختلف کارخانجات شیر که در بخش ۳ به آنها اشاره شده، بررسی‌هایی در راستای کاهش مصرف انرژی در آنها صورت گرفته است. این بخش، به ارائه نتایج حاصل از اندازه‌گیریها و تجزیه و تحلیل‌های انجام گرفته بر روی تجهیزات برقی و راهکارهای پیشنهادی جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در آنها، می‌پردازد.

### ۴-۱- بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش روشنایی

مصرف انرژی الکتریکی بخش روشنایی در کارخانجات، میزان قابل ملاحظه‌ای است. در صنعت شیر نیز این میزان با توجه به اندازه‌گیریهای انجام شده در کارخانجات مختلف، از ۶ الی ۹ درصد مصرف کل برق کارخانه، بسته به چگونگی استفاده از سیستم روشنایی، متغیر بوده است. از طرفی با بررسی سیستم روشنایی در این کارخانجات، مشاهده شد که در این بخش پتانسیل قابل توجهی جهت صرفه‌جویی انرژی الکتریکی وجود دارد. اقدامات قابل اجرا در این زمینه را می‌توان در دو بخش عنوان نمود.

بخش اول، کاملاً بدون هزینه بوده و توسط خاموش نمودن لامپهای بلا استفاده و اضافی در روز و در مکانهایی که کاملاً نورگیر و روشن می‌باشند، انجام می‌گیرد. در یک بازدید اولیه از سیستم روشنایی، به راحتی می‌توان موارد عدم نیاز و استفاده از روشنایی مصنوعی را در صورت وجود نور کافی و طبیعی و یا امکان ایجاد نورگیر در سالن و استفاده از نور طبیعی را مشخص نمود. همچنین در مواردی مکانهایی وجود دارد که به ندرت از آنها استفاده می‌شود (مانند اتاقهای تابلوها، چیلرها، بویلرها و...) ولی لامپهای آنها دائماً روشن است و می‌توان با روشن نمودن آنها در مواقع نیاز، از اتلاف انرژی جلوگیری کرد. با محاسبه میزان انرژی و هزینه قابل صرفه‌جویی در اثر خاموش کردن لامپهای غیر ضروری، می‌توان انگیزه‌ای قوی در پرسنل و مسئولین بخش‌ها، جهت اقدام به این کار ایجاد نمود.

بخش دوم اقدامات بهینه‌سازی در سیستم روشنایی، تعویض سیستمهای روشنایی موجود با سیستمهای روشنایی جدید و با راندمان بالا می‌باشد. در صورت جایگزینی لامپهای فلورسنت معمولی با لامپهای فلورسنت راندمان بالا، می‌توان به میزان ۴۲ درصد از میزان توان الکتریکی و مصرف انرژی کاست و همچنین به علت طولانی بودن عمر این لامپها (در حدود ۲/۵ برابر طول عمر لامپهای قبلی) می‌توان در هزینه تعویض لامپ نیز صرفه‌جویی نمود. در مورد روشنایی محوطه، تعویض لامپهای جیوه‌ای با لامپهای سدیم پر فشار، در حدود ۷۵ درصد از مصارف برق کارخانه را کاهش می‌دهد. در نتیجه تعویض سیستم روشنایی، علاوه بر کاهش مصرف انرژی الکتریکی، دیماند مصرفی کارخانه نیز کاهش می‌یابد.

با محاسبات اقتصادی انجام گرفته، این روش در کارخانجات فعلی مقرون به صرفه نبوده و توصیه نمی‌شود. اما با لحاظ کردن آن در کارخانجات در حال ساخت و همچنین در طرحهای توسعه کارخانجات، کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان مصرف انرژی الکتریکی و همچنین دیماند خریداری شده آنها، مشاهده می‌گردد.

#### ۴-۲- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در ترانسفورماتورها

حداکثر راندمان یک ترانسفورماتور زمانی رخ می‌دهد که تلفات بی‌باری یا تلفات هسته آن با تلفات مسی یا تلفات بار داری برابر باشد. اگر ضریب بار ترانس را بصورت نسبت توان واقعی به توان نامی ترانس ( $X = \frac{P}{P_n}$ ) در نظر بگیریم، بیشترین راندمان ترانس‌های صنعتی در ضریب بار بین ۰/۵ تا ۰/۷ می‌باشد. در واقع مناسب‌ترین نقطه کار در آنها، بین ۰/۵ تا ۰/۷ ظرفیت اسمی آنها است.

از طرفی، راندمان ترانسفورماتورها با تغییرات ضریب توان تغییر می‌کند. نمودار شماره (۶)، تغییرات راندمان در ترانس‌ها را بر حسب ضریب قدرت نشان می‌دهد. حداکثر راندمان ترانس زمانی رخ می‌دهد که ضریب قدرت برابر ۱ باشد و هر چه ضریب قدرت کاهش یابد، راندمان نیز کمتر خواهد شد.

پس نتیجه می‌گیریم، در صورت بارگذاری نامناسب ترانسها (خارج از محدوده ذکر شده) و یا کاهش ضریب توان در آنها، راندمان ترانسها کاهش یافته و تلفات انرژی الکتریکی در آنها افزایش می‌یابد.

نمودار (۶) - تغییرات بازده ترانسفورماتور نسبت به ضریب قدرت از آنجائی که ترانسها در تمام مدت شبانه‌روز و در تمام مدت سال زیر بار می‌باشند، لذا کاهش تلفات در آنها، ضروری به نظر می‌رسد.

در اینجا یک نمونه از بررسی بارگذاری ترانسها را در یکی از کارخانجات شیر، جهت برآورد میزان تلفات و پیشنهاد راهکار مناسب جهت کاهش آن بیان می‌کنیم.

در این کارخانه ۲ پست KV ۲۰/۰/۴ وجود دارد که در پست شماره ۱، ۴ ترانس ۸۰۰ کیلوولت آمپر و در پست شماره ۲، یک ترانس ۱۶۰۰ کیلوولت آمپر، نصب شده است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری در پست شماره ۱، مطابق جدول زیر می‌باشد.

شماره ترانس	ظرفیت اسمی (KVA)	ماکزیمم توان اندازه‌گیری شده	متوسط توان اندازه‌گیری شده (KW)	متوسط ضریب توان	ضریب بار متوسط	راندمان
۱	۸۰۰	۲۱۳	۱۴۵/۵	۰/۹۵	۰/۱۹	۰/۹۶۹
۲	۸۰۰	۲۶۰/۴	۱۷۵/۹	۰/۹۵	۰/۲۳	۰/۹۷۳
۳	۸۰۰	۲۰۰/۶	۱۳۴	۰/۹۵	۰/۱۸	۰/۹۶۷

۴	۸۰۰	۱۷۷/۲	۱۲۱/۶	۰/۹۵	۰/۱۶	۰/۹۶۴
---	-----	-------	-------	------	------	-------

با توجه به راندمان ترانس‌ها در این حالت، میزان تلفات در هر ترانس محاسبه شده است.

$$P_{W.T1} = P_{avT1} \times (1 - \eta_{T1}) = 4.5 \text{ KW}$$

$$P_{W.T1} + P_{W.T2} + P_{W.T3} + P_{W.T4} = 18 \text{ KW}$$

در صورتیکه بانک خازنی این پست قطع شود، ضریب توان به اندازه ۰/۷ افت می‌کند. در این حالت بیشترین میزان بارگذاری بر روی ترانسها اتفاق می‌افتد. با فرض اینکه بانک خازنی دچار مشکل شده و قطع گردد، توان ظاهری را در این حالت محاسبه می‌کنیم.

$$S = (213 + 260/4 + 200/2 + 177/2) / (0.7) = 881/14 \text{ KVA}$$

این بدان معنی است که حتی در بدترین شرایط کارکرد، ۲ دستگاه ترانسفورماتور کفایت می‌کند. بنابراین با حذف ۲ ترانس، میزان بارگذاری بر روی دو ترانس باقیمانده بالا رفته و افزایش ضریب بار باعث می‌شود، راندمان ترانسها افزایش یابد. در این حالت وضعیت ترانس‌ها بصورت زیر خواهد بود.

شماره ترانس	ظرفیت اسمی (KVA)	ماکزیمم توان اندازه‌گیری شده	متوسط توان اندازه‌گیری شده (KW)	متوسط ضریب توان	ضریب بار متوسط	راندمان
T <sub>1</sub>	۸۰۰	۴۷۵	۲۸۰	۰/۹۵	۰/۳۷	۰/۹۸
T <sub>2</sub>	۸۰۰	۴۷۵	۲۸۰	۰/۹۵	۰/۳۷	۰/۹۸

مجموع توان تلف شده در این حالت عبارت است از :

$$P_{W.T1} + P_{W.T2} = 11 \text{ KW}$$

اختلاف توان تلف شده در حالت دوم نسبت به حالت اول که هر ۴ ترانس در مدار بودند، توان صرفه‌جوئی شده می‌باشد.

$$P_{\text{save}} = 11 - 18 = 57 \text{ KW}$$

$$\begin{aligned} \text{میزان انرژی صرفه‌جوئی شده سالانه} &= 7 \text{ KW} \times 24 \text{ hr/day} \times 365 \text{ day/year} \\ &= 61320 \text{ KWh/year} \end{aligned}$$

همچنین در پست شماره ۲ این کارخانه، یک ترانس با ظرفیت ۱۶۰۰ کیلوولت آمپر وجود دارد که نتایج حاصل از اندازه‌گیری آن بصورت زیر می‌باشد.

ظرفیت ترانس	ماکزیمم توان مصرفی	متوسط توان مصرفی	ضریب توان	ضریب بار	راندمان
۱۶۰۰	۲۷۶/۶	۲۰۶/۶	۰/۸	۰/۱۶	۰/۹۶۶

میزان بارگذاری در این پست کاملاً نامطلوب است و میزان تلفات در آن بالا می‌باشد.

$$P_{\text{Waste}} = 206/6 \times (1 - 0/966) = 7/02 \text{ KW}$$

در صورت تعویض این ترانس با یک ترانس ۶۵۰ KVA، میزان بارگذاری در این پست ( ضریب بار ) تا ۰/۳۹ افزایش یافته و این باعث افزایش راندمان ترانس به میزان ۰/۹۸ می‌گردد. در این صورت میزان تلفات در این پست، به میزان ۲/۸۹ KW نسبت به حالت قبل کاهش خواهد یافت.

$$P_{\text{waste}} = 206/6 \times (1 - 0/98) = 4/13 \text{ KW}$$

$$P_{\text{save}} = 7/02 - 4/13 = 2/89 \text{ KW}$$

$$\text{میزان انرژی صرفه‌جوئی شده سالانه} = 2/89 \text{ KW} \times 24 \times 365 = 25316 \text{ KWh/year}$$

همچنین ضریب بار در این پست پائین است که این مسأله نیز خود باعث افزایش تلفات می‌شود ( مطابق نمودار (۶)). در صورت نصب خازن به میزان ۱۲۰ KVAR در این پست و اصلاح ضریب توان از ۰/۸ به ۰/۹، به میزان ۰/۲۵ KW از توان تلفاتی ترانس کاسته خواهد شد.

#### ۴-۳- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در بویلرها

عمده‌ترین مصرف کننده انرژی الکتریکی در بویلرها، فن‌های آنها می‌باشد. این فن‌ها تأمین هوای مورد نیاز بویلر را به عهده دارند. معمولاً ظرفیت هوادهی و توان مصرفی این فن‌ها در هنگام طراحی و نصب، بالاتر از میزان مورد نیاز در نظر گرفته می‌شود و با نصب یک دمپر در مسیر، میزان دبی هوای مورد نیاز کنترل می‌گردد. تنظیم هوادهی توسط دمپر اولاً باعث اتلاف انرژی الکتریکی می‌شود. زیرا فن‌های مذکور زیربار ثابتی کار می‌کنند و استفاده از دمپر باعث می‌شود فقط بخشی از بار خروجی فن به سمت بویلر هدایت شود، در حالیکه موتور فن مورد نظر، انرژی الکتریکی مورد نیاز جهت تولید کل بار خروجی از فن را مصرف می‌کند. عیب دیگر استفاده از دمپر، هوادهی غیر دقیق آن می‌باشد. بطوریکه با آنالیز گازهای خروجی اکثر بویلرهای مورد بررسی، ملاحظه گردید که در اغلب موارد، میزان هوای اضافی بویلر بیشتر از میزان مورد نظر و استاندارد می‌باشد. این مسأله باعث افت راندمان بویلر و در نهایت اتلاف انرژی فسیلی می‌شود.

در صورت نصب کنترل کننده دور موتور (VSD) مناسب بر روی فن و حذف دمپر، علاوه بر کنترل دقیق و مناسب بر روی میزان هوای مورد نیاز بویلر، می‌توان کاهش قابل توجه مصرف انرژی الکتریکی را موجب شد. در واقع دبی هوا یا فلوی سیال، متناسب با دور فن تغییر می‌کند ( $\Delta \text{Flow} \propto \Delta \text{RPM}$ ). یعنی اگر هوای مورد نیاز بویلر، ۵۰ درصد میزان هوای خروجی فن دربار کامل باشد، با کاهش دور موتور به میزان ۵۰ درصد، دبی هوا نیز نصف خواهد شد. از طرفی توان مصرفی موتور فن، متناسب با توان سوم سرعت موتور کم می‌شود ( $\Delta P \propto (1 - L.F^3)V^3$ ). یعنی اگر دور موتور نصف شود، مصرف توان ۱۲/۵ درصد توان اولیه موتور خواهد شد. در واقع مصرف انرژی الکتریکی به میزان ۸۷/۵ درصد کاهش خواهد یافت.

بعنوان نمونه، در یکی از کارخانجات بررسی شده، ۳ دستگاه بویلر جهت تأمین بخار مورد نیاز مجموعه مورد استفاده قرار می‌گیرد که ۲ دستگاه از این بویلرها به مدت ۱۴ ساعت در شبانه‌روز کار می‌کند و بویلر سوم اغلب بصورت رزرو بوده و ساعات کارکرد آن ۴ ساعت در روز می‌باشد. با اندازه‌گیریهای انجام گرفته بر روی فن این بویلرها، توان مصرفی دو بویلر اول ۱۵ KW و بویلر سوم ۱۸ KW بدست آمده است.



از طرفی دمپر فن این بویلرها، در زمان کارکرد، بر روی نصف قرار داشت. یعنی هوای مورد نیاز بویلر ۵۰ درصد هوای تولیدی می‌باشد. با نصب یک کنترل کننده دور متغیر بر روی این فن‌ها، می‌توان حداقل به میزان ۸۵ درصد از مصرف انرژی الکتریکی آنها کاست. با فرض ۳۶۰ روز کاری در سال برای این بویلرها، میزان صرفه‌جویی سالانه مصرف انرژی الکتریکی در آنها بصورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$14 \times 360 \times 0.85 \times 0.15 \times 2 = \text{میزان صرفه‌جویی سالانه در دو بویلر اول}$$

$$= 128520 \text{ KWh/year}$$

$$4 \times 360 \times 0.85 \times 18 = \text{میزان صرفه‌جویی سالانه در بویلر سوم}$$

$$= 22032 \text{ KWh/year}$$

$$150552 \text{ KWh/year} = \text{میزان صرفه‌جویی سالانه در بویلرها}$$

برای انجام این راهکار، نیاز به تهیه ۲ عدد درایو VSD با قدرت ۱۸ کیلووات می‌باشد که می‌توانند ۳ بویلر فوق را کنترل کنند. با محاسبه هزینه خرید و نصب این ۲ عدد درایو، زمان برگشت ساده سرمایه در این طرح، کمتر از ۲ سال خواهد بود.

#### ۴-۴- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در کمپرسورها

یکی از گرانترین انرژیهای موجود، انرژی هوای فشرده تولید شده توسط کمپرسورها می‌باشد که تقریباً حدود ۱۰ برابر بهای برق ارزش دارد و باید در قسمت تولید، توزیع و مصرف آن نهایت دقت صورت پذیرد. با اندازه‌گیریهای متعددی که بر روی انواع کمپرسورهای موجود در کارخانجات مختلف شیر انجام گرفته، مشاهده شده است که کمپرسورها در بیش از ۵۰ درصد زمان کارکرد، در بی باری کامل کار می‌کنند و در کمتر از ۵۰ درصد زمان، زیر بار می‌باشند. در صورت نصب کنترل کننده دور موتور (VSD) بر روی کمپرسور و کاهش دور آن، به نحوی که کمپرسور پیوسته زیر بار باشد، مصرف کمپرسور کاهش یافته و در یک توان ثابت کار می‌کند. با نصب VSD، می‌توان کنترل پیوسته و مطلوبی را بر روی محدوده فشارهای on و off کمپرسور اعمال نمود و فشار را به حداقل کاهش داد، بدون اینکه تعداد دفعات بی بار شدن کمپرسور زیاد شود. کاهش

فشار کاری از محدوده مجاز می‌تواند تأثیر بسزایی نیز بر روی کاهش مصرف هوای فشرده بگذارد.

راهکار دیگر پیشنهادی جهت کاهش مصرف انرژی در کمپرسورها، کاهش دمای هوای ورودی به آن می‌باشد. دمای هوای فشرده خروجی از کمپرسورها، به علت فشرده شدن، بالا است که این هوا توسط فن **After Cooler** خنک می‌شود. معمولاً هوای ورودی به **After Cooler**، هوای محیط اطراف کمپرسور می‌باشد که پس از خنک کردن هوای فشرده شده ( بطور غیر مستقیم ) گرم شده و مجدداً وارد محیط می‌گردد. از آنجائیکه این هوای گرم به بیرون اتاق هدایت نمی‌شود، موجب بالا رفتن دمای اتاق نسبت به محیط بیرون می‌گردد. از طرفی هوای مورد استفاده کمپرسور نیز از داخل اتاق مکش می‌شود و بالا رفتن هوای ورودی به کمپرسور باعث بالا رفتن مصرف انرژی الکتریکی مطابق جدول شماره (۳) می‌گردد. بر طبق داده‌های این جدول، در صورتیکه دمای هوای ورودی به کمپرسور ۱۵ درجه خنک تر باشد، ۵ درصد به راندمان کمپرسور افزوده شده و مصرف برق آن ۵ درصد کاهش می‌یابد. پس ساده‌ترین راهکار در این مورد، هدایت هوای خروجی از **After Cooler**، به بیرون از اتاق کمپرسور می‌باشد.

در اینجا بعنوان نمونه، به محاسبات فنی واقتصادی و برآورد میزان صرفه‌جویی ناشی از این راهکار که بر روی یک کمپرسور در صنعت شیر، انجام گرفته است، اشاره می‌شود. در این بررسی، طبق اندازه‌گیری طولانی مدت از فیدر ورودی کمپرسور هوای فشرده، متوسط مصرف آن حدود ۵۷/۸ کیلووات در طول شبانه‌روز بدست آمده که بین ۴۰ تا ۸۵ کیلووات در نوسان بوده است. طبق منحنی رفتار بار بدست آمده از این اندازه‌گیری، این کمپرسور حدود ۵۶ درصد زمان را در بی باری کارکرده و تنها ۴۴ درصد از زمان کارکرد زیر بار می‌باشد. در صورت نصب **VSD** بر روی آن و کاهش دور کمپرسور به نحوی که بطور پیوسته زیر بار باشد، متوسط مصرف کمپرسور، حداقل به حدود ۴۷ کیلووات کاهش خواهد یافت، که در واقع حدود ۱۰ کیلووات در توان الکتریکی مصرفی آن صرفه‌جویی می‌شود. همچنین با نصب **VSD** می‌توان حدود ۰/۷ بار از فشار بالای کمپرسور کاست که در این صورت ۵ درصد از توان مصرفی کمپرسور کاسته می‌شود ( یعنی حدود ۲/۸۵ کیلووات )

VSD = ۱۲/۸۵ KW = ۱۰+۲/۸۵ = میزان کاهش توان ناشی از نصب

$$\text{VSD} = ۱۲/۸۵ \text{ KW} \times ۳۶۰ \text{ day/year} \times ۲۴ \text{ hr/day} = ۱۱۱۰۲۴ \text{ KWh/year}$$

برای اجرای این راهکار، نیاز به نصب یک درایو VSD با قدرت ۷۵ کیلووات می‌باشد که با احتساب هزینه خرید و نصب آن، زمان برگشت سرمایه آن در حدود ۳ سال برآورد می‌شود.

علاوه بر این، در این کارخانه، هوای خروجی از After Cooler به بیرون اتاق هدایت نشده و موجب بالا رفتن دمای اتاق و هوای ورودی به کمپرسور می‌گردد، که در صورت هدایت آن به محیط بیرون از اتاق و یا تأمین هوای ورودی به کمپرسور از بیرون اتاق، دمای هوای ورودی به کمپرسور ۱۵°C خنک‌تر خواهد شد که در این صورت ۵ درصد از توان مصرفی کمپرسور کاسته می‌شود. میزان صرفه‌جویی سالانه انرژی الکتریکی در صورت اجرای این راهکار ساده ۲۴۶۲۴ کیلووات ساعت می‌باشد.

$$\text{توان کاهش} = ۵\% \times ۵۷/۸ \text{ KW} = ۲/۸۵ \text{ KW}$$

$$\text{میزان صرفه‌جویی} = ۲/۸۵ \text{ KW} \times ۳۶۰ \text{ day/year} \times ۲۴ \text{ hr/year} = ۲۴۶۲۴ \text{ KWh}$$

سالانه ناشی از کاهش دمای هوای ورودی  
 KWh/year = ۱۳۵۶۴۸ = میزان صرفه‌جویی نهایی سالانه

#### ۴-۵- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در سیستم آبرسانی

با اندازه‌گیری‌های انجام گرفته بر روی تأسیسات آبرسانی در کارخانجات مختلف شیر و فرآورده‌های آن، مشاهده شده است که میزان توان مصرفی در ساعات مختلف شبانه‌روز نوسانات زیادی دارد. در صورتی که با نصب کنترل‌کننده دور موتور، دور الکتروپمپ‌های آب را در هر شاخه با میزان مصرف دستگاه‌های آن قسمت، متناسب کنیم - یعنی در هنگام مصارف پائین، دور پمپها را پائین آورده و در مصارف بالا دور پمپها را افزایش دهیم - در این صورت، هم از بوجود آمدن فشارهای ضربه‌ای و زیاد به سیستم لوله‌کشی جلوگیری می‌شود و هم در مصرف انرژی الکتریکی صرفه‌جویی خواهد شد.

بعنوان نمونه، به نتایج حاصل از بررسی این راهکار در سیستم آبرسانی یک کارخانه شیر، اشاره می‌شود: در این کارخانه، با بررسی و اندازه‌گیری تأسیسات آبرسانی در چند روز متوالی، مشاهده شده است که میزان توان مصرفی در ساعات مختلف شبانه‌روز نوسانات زیادی دارد و از حدود ۲۵ کیلووات تا بیش از ۹۰ کیلووات متغیر است. متوسط توان مصرفی در طول مدت اندازه‌گیری، ۵۳ کیلووات در شبانه‌روز می‌باشد. این سیستم دارای ۵ الکترومپ است که با اندازه‌گیری‌های لحظه‌ای انجام گرفته بر روی آنها، ملاحظه شد که آنها در پائین‌تر از ۷۵ درصد بار نامی کار می‌کنند. حال اگر با نصب VSD، دور موتورها را با میزان مصرف متناسب کنیم و در صورتی که متوسط مصرف هر بخش را حداکثر، ۸۰ درصد مصرف ماکزیمم آن، فرض نماییم، با تنظیم دور موتورها در ۸۰ درصد دور نامی یعنی کاهش ۲۰ درصدی سرعت در آنها، باعث صرفه‌جویی انرژی الکتریکی به میزان ۵۰ درصد خواهیم شد.

$$P_{\text{توان}} = 100 \times (0.8)^3 = 51.2$$

$$P_{\text{av}} = 53 \text{ KW} \quad P_{\text{save}} = \text{میزان کاهش توان} = 53 \times 0.50 = 26.5 \text{ KW}$$

$$\text{میزان} = 26.5 \text{ KW} \times 24 \text{ hr/day} \times 360 \text{ day/year} = 228960 \text{ KWh/year}$$

انرژی الکتریکی صرفه‌جویی شده سالانه

در صورت نصب ۵ درایو VSD بر روی این الکترومپها و با احتساب هزینه خرید و نصب آنها و با توجه به میزان صرفه‌جویی سالانه، زمان بازگشت سرمایه حدود ۴ سال برآورد می‌شود.

#### ۴-۶- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در پمپهای انتقال شیر در پروسه

یکی از مصارف عمده در فرآیند تولید شیر و فرآورده‌های آن، الکترومپهای انتقال محصولات مختلف می‌باشد. این الکترومپها معمولاً پائین‌تر از ظرفیت کار می‌کنند و هیچ توجهی به چگونگی مصرف در آنها نمی‌شود. همچنین جهت کنترل دبی در آنها، از شیرهای خفه‌کن استفاده می‌شود که در این موارد می‌توان با حذف کنترل‌کننده‌های مکانیکی و با نصب VSD، مصرف انرژی الکتریکی را کاهش داد. مورد دیگری که در فرآیند تولید قابل بررسی است، مکانیزم انتقال مواد از تانکها به دستگاهها می‌باشد. در

بسیاری نقاط و در بعضی مواقع می‌توان از نیروی ثقلی جهت انتقال مواد استفاده نموده و در مصرف انرژی پمپ صرفه‌جویی کرد. بعنوان مثال در زمانهایی که تانکها پر می‌باشند، برای جاری شدن مواد می‌توان از نیروی ثقلی کمک گرفت و از پمپها کمتر استفاده نمود و سپس با کاهش ارتفاع مواد در مخازن دور پمپها را افزایش داد.

#### ۴-۷- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در پمپهای آب سرد

وظیفه پمپهای آب سرد، ارسال آب سرد به پلیت کولرها (صفحات خنک کننده)، پاستوریزاتورها، استرلیزاتورها و... می‌باشد. منوط به اینکه در طول شبانه‌روز چه دستگاههایی در مدار می‌باشند، میزان مصرف آب سرد و پمپاژ آن در این مدت متفاوت است. معمولاً بیشترین مصرف در شیفت روز بوده و در هنگام نیمه شب که اکثر واحدهای تولید غیر فعال هستند، کارخانه کمترین میزان مصرف آب سرد را دارد.

با توجه به نیاز آب سرد در اوقات مختلف شبانه‌روز می‌توان با نصب VSD بر روی این پمپها و کنترل میزان دور آنها، در مصرف انرژی الکتریکی صرفه‌جویی نمود. بعنوان مثال با اندازه‌گیریهای انجام گرفته بر روی پمپهای آب سرد یک کارخانه، ملاحظه شده است که در شیفت اول ضریب قدرت این موتورها بسیار پائین می‌باشد که این نشاندهنده این است که پمپها در پائین‌تر از بار نامی فعالیت می‌کنند و موتورها بزرگتر از میزان مورد نیاز در نظر گرفته شده‌اند. بنابراین در صورت نصب VSD و کاهش ۲۰ درصدی در میزان دور موتورها در شیفت اول و دوم (۱۶ ساعت)، حداقل ۵۰ درصد از مصرف انرژی موتورها کاسته شده و در شیفت سوم که نیاز به آب سرد به حداقل می‌رسد (۸ ساعت)، می‌توان با کاهش ۵۰ درصد دور موتورها، ۸۵ درصد از مصرف انرژی آنها کاست.

$$360 \times [88 + (6 + 3/6)] \times 16 \text{ hr/day} + (6 \text{ KW} + 3/6 \text{ KW}) \times 0/5 = \text{میزان صرفه‌جویی سالانه}$$

$$55296 \text{ KWh/year} = \text{میزان صرفه‌جویی سالانه}$$

#### ۴-۸- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در پمپهای چاه عمیق و پمپهای بخش

فاضلاب و تصفیه فاضلاب

در کارخانجات شیر پمپ‌های متعددی در سیستم‌های چاه عمیق، انتقال فاضلاب، تصفیه خانه فاضلاب و حوضچه‌های هوادهی تصفیه فاضلاب، استفاده می‌شود که در مجموع مصرف قابل توجهی دارند.

در هر مورد، با اندازه‌گیری میزان بارگذاری و توان مصرفی الکترو پمپ و همچنین با در نظر گرفتن زمان کاری و روند انتقال سیال توسط آنها، می‌توان امکان نصب VSD بر روی آنها را بررسی نمود و در صورت زمان بازگشت سرمایه مناسب، اقدام به خرید و نصب آنها کرد.

#### ۴-۹- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در کندانسورها

در صنعت شیر میزان استفاده از کندانسورها در طول شبانه‌روز و همین‌طور در فصول مختلف سال متفاوت می‌باشد. دو دلیل عمده برای این مسأله وجود دارد.

۱- در طول شبانه‌روز بعلت کاهش تولید در شب و افزایش تولید در روز، مصرف آب سرد متغیر است.

۲- در طول فصول سرد بعلت کاهش دما و انتقال حرارت از هوا به آب سرد، دمای آب سرد برگشتی کاهش یافته و همچنین حجم هوای مورد نیاز جهت خنک کاری آب برگشتی از فرآیند تولید نیز کاهش می‌یابد.

در کارخانجات، کنترل کاهش میزان هوا و آب مصرفی مورد نیاز کندانسورها، بوسیله خاموش کردن تعدادی از آنها و همچنین خاموش نمودن پمپ آب بعضی از آنها و متناسب با میزان مصرف آب سرد انجام می‌گیرد. در هر صورت، به علت تغییرات مصرف آب سرد در شبانه روز، نصب VSD بر روی فن‌ها و پمپ‌های کندانسور، جای بررسی و اندازه‌گیری دارد. در صورت انجام اندازه‌گیریها و محاسبات لازم، می‌توان امکان نصب VSD و زمان بازگشت سرمایه را بررسی کرد.

#### ۴-۱۰- بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در همزن‌ها

در فرآیند تولید شیر و فرآورده‌های آن از همزنها در قسمتهای مختلف پروسه تولید و در مخازن مختلف استفاده می‌شود. همچنین همزنها در سیستم تهیه آب سرد کارخانه (حوضچه‌های آب سرد) نیز کاربرد دارند.

کنترل جریان سیال در همزنها، توسط سیستم مکانیکی و با گیربکس انجام می‌شود. در صورتیکه کنترل دور همزنها به جای استفاده از گیربکس، بوسیله درایو VSD انجام بگیرد، توان الکتریکی مصرفی در همزنها کاهش یافته و علاوه بر کنترل دقیق سرعت همزنها، کاهش مصرف انرژی الکتریکی را نیز خواهیم داشت.

#### ۴-۱۱- کاهش مصرف انرژی الکتریکی در اثر بهبود وضعیت مصرف آب و جلوگیری از اتلاف آب ( مصرف بهینه آب )

در اکثر کارخانجات شیر و فرآورده‌های آن، آب مورد نیاز فرآیند تولید از طریق چاه تأمین می‌گردد. این آب به داخل استخر یا مخازن ریخته شده و توسط پمپ به پروسه فرستاده می‌شود و مجدداً از فرآیند تولید به استخر برمی‌گردد. با اندازه‌گیریهای انجام گرفته از کلکتور اصلی آب و لوله برگشتی به استخر توسط دستگاه دبی سنج مایعات، میزان آب مصرفی در فرآیند تولید را می‌توان اندازه‌گیری کرد.

در همه کارخانجات شیر مورد مطالعه در ایران، شاخص مصرف آب نسبت به تولید، خیلی بالاتر از میزان استاندارد و میزان مصرف جهانی می‌باشد. این نتیجه‌گیری حاکی از این است که هیچ کنترلی بر روی میزان مصرف آب در فرآیند تولید وجود ندارد و هیچ تدبیری در جهت کاهش و مصرف بهینه آب اندیشیده نشده است. با بازبینی و بررسی مجدد پروسه مصرف آب کارخانه، می‌توان نقاط و دلایل اتلاف آب و مصرف بیش از حد آن را شناسایی کرد و در جهت رفع آن کوشید. در صورت عملکرد صحیح در مصرف آب، علاوه بر کاهش مصرف آب، از مصرف انرژی الکتریکی صرف شده جهت پمپاژ آب نیز کاسته خواهد شد.

میزان استاندارد جهانی مصرف آب در حدود ۴/۵ مترمکعب برای تولید یک متر مکعب شیر است. در صورتی که در کارخانجات شیر ایران، این مقدار خیلی بالا می‌باشد.

بعنوان مثال در یک کارخانه مورد بررسی، این شاخص  $7/7 \text{ m}^3 \text{ water}/\text{m}^3 \text{ milk}$  برآورد شده است. یعنی  $3 \text{ m}^3 \text{ water}/\text{m}^3 \text{ milk}$  آب بیشتر مصرف می‌کند (در حدود ۶۶٪ بیشتر). با توجه به میزان روزانه شیر ورودی کارخانه مورد نظر ( $65 \text{ m}^3/\text{day}$ )، در این کارخانه در هر روز  $195 \text{ m}^3$  و در طول سال  $68250 \text{ m}^3$  آب، بیش از مقدار استاندارد تعیین شده برای پروسه شیر، مصرف می‌شود که میزان قابل توجهی بوده و از هر نظر قابل بررسی و سرمایه‌گذاری می‌باشد.

#### ۴-۱۲- کاهش مصرف انرژی الکتریکی با جایگزین نمودن چیلر جذبی به جای چیلر تراکمی

در اکثر کارخانجات شیر در ایران، سیستم تبرید از نوع چیلر تراکمی می‌باشد. به علت مصرف برق بالا در این دستگاهها و عوامل دیگر، طرح جایگزینی چیلر جذبی به جای چیلر تراکمی پیشنهاد می‌گردد. بنابراین در ابتدا مروری مختصر بر نحوه کارکرد این دو نوع سیستم خواهیم داشت.



### الف - چیلرهای تراکمی یا رفت و برگشتی (Reciprocating chiler)

این چیلر بر اساس سیکل تبرید تراکمی عمل می‌کند. مایع مبرد در یک کمپرسور رفت و برگشتی (سیلندر و پیستونی) به بخار پر فشار تبدیل می‌شود، سپس توسط برج خنک کننده، حرارت نهان آن جذب شده و بخار تبدیل به مایع می‌گردد. مایع حاصله که سیالی پر فشار است از درون یک شیر انبساط عبور داده شده و تبدیل به گاز می‌شود. تغییر حالت مایع به بخار، سبب سرد شدن محیط اواپراتور و در نهایت لوله‌های آب می‌گردد. گاز حاصله در اواپراتور مجدداً به کمپرسور هدایت شده و متراکم می‌شود و سیکل فوق تکرار می‌گردد. مایع مبرد چیلرهای رفت و برگشتی معمولاً فریونهای R12 - R22 - R500 - R502 و آمونیاک می‌باشد. شکل (۱۰) نمایی از سیکل فوق را نشان می‌دهد.

شکل (۱۰) - طرز کار چیلر رفت و برگشتی (تراکمی)



### ب - چیلرهای جذبی (Absorption Chiler)

در چیلرهای جذبی جهت تولید برودت، بجای انرژی برق از انرژی بخار استفاده می‌کنند. لذا مصرف برق آنها نسبت به چیلرهای رفت و برگشتی بسیار ناچیز و در حد چند کیلووات می‌باشد. بطور مثال مصرف برق چیلر جذبی با ظرفیت برودتی ۴۰۰ تن، فقط ۱۰ کیلووات است در حالیکه چیلرهای رفت و برگشتی برای تولید همان مقدار برودت، حدود ۳۵۰ کیلووات برق نیاز دارند. یعنی ۳۵ برابر!! جهت استفاده از چیلرهای جذبی نیازی به اضافه نمودن انشعاب گاز نمی‌باشد، چون معمولاً بویلرهایی که مصرف بخار کارخانه را تأمین می‌کنند می‌توانند بخار مورد نیاز جهت چیلرهای جذبی را نیز تولید نمایند.

مزایای دیگر چیلرهای جذبی نسبت به چیلرهای رفت و برگشتی عبارتند از :  
 سروصدای بسیار کم، ناچیز بودن هزینه نگهداری و آسان بودن تعمیرات به علت عدم استفاده از قطعات مکانیکی سنگین و پیچیده و همچنین عدم استفاده از گاز آمونیاک و فریون به عنوان مبرد. استفاده از این گازها به علت سمی بودن بخارهای آمونیاک و اثر تخریبی فریون بر لایه ازن، مجاز نمی‌باشد.

این دستگاه از چهار قسمت اصلی اواپراتور، اَبزوربر، ژنراتور و کندانسور تشکیل شده است. مایع مبرد ( آب معمولی ) در قسمت اواپراتور روی لوله‌های آب پاشیده می‌شود و بدلیل وجود محیطی کم فشار در اواپراتور و خلاء بسیار بالا، آب در درجه حرارت کم تبخیر گردیده و باعث سرد شدن لوله‌های آب می‌شود.

بخارهای حاصله توسط مایع لیتیم بروماید (LIBR) غلیظ جذب می‌گردد و سیستم بروماید با جذب آب رقیق گشته و توسط پمپ کوچکی به قدرت حدود ۱ کیلووات به قسمت فوقانی دستگاه منتقل می‌شود. انتقال سیستم بروماید از طریق یک مبدل حرارتی انجام می‌پذیرد که در حین عبور از آن لیتیم بروماید رقیق شده و آب آن تبخیر می‌گردد و لیتیم بروماید غلیظ شده از طریق مبدل حرارتی به قسمت اَبزوربر جهت جذب آب منتقل می‌شود. بخارهای آب تقطیر شده در ژنراتور توسط لوله‌های برج خنک کننده ( کندانسور ) تقطیر گشته و مجدداً به قسمت اواپراتور عودت داده می‌شوند و این سیکل مرتباً تکرار می‌گردد و لوله‌های آب سرد (Chilled-Water) تا حدود ۶ درجه سانتیگراد

( بسته به فشار اواپراتور ) سرد می‌شوند. تنها مصرف کننده برق این دستگاه دو پمپ بسیار کوچک برای آب و لیتیم بروماید می‌باشد که مجموع برق مصرفی آنها حداکثر ۳ کیلووات است. شکل (۱۱) نمایی از این دستگاه را نشان می‌دهد.

شکل (۱۱) - طرز کار چیلرهای جذبی

قیمت خرید یک چیلر جذبی نسبت به چیلر تراکمی معادل آن، معمولاً بین ۳۰ الی ۴۰ درصد بیشتر است. با توجه به اینکه مصرف برق در سیستم چیلر جذبی پائین است، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه جهت هزینه انشعاب برق چیلر و تابلوی برق فشار ضعیف و کابل کشی‌ها و همچنین هزینه مصرف ماهانه برق، کمتر از هزینه لازم جهت چیلر تراکمی خواهد بود. بدین ترتیب این اختلاف قیمت در ظرف چند سال اول جبران می‌شود. حتی در ظرفیت‌های بالاتر، در مجموع، سرمایه‌گذاری اولیه برای سیستم برودتی با سیستم چیلر جذبی، مقرون به صرفه‌تر خواهد بود.

هزینه تعمیر و نگهداری چیلرهای جذبی و تراکمی تقریباً یکسان است اما به دلیل اینکه چیلرهای جذبی بخش‌های متحرک کمتری دارند، طول عمر آنها بیشتر می‌باشد (۳۰ سال). همچنین راه‌اندازی و توقف چیلرهای جذبی طولانی‌تر است اما دارای انعطاف پذیری در تنظیم بار سرمایشی از ۱۰ تا ۱۰۰٪ می‌باشند.

همچنین جهت افزایش راندمان چیلرهای جذبی، می‌توان از حرارت حاصله در سیستم خنک کننده آب، برای تولید آب گرم استفاده نمود. در این چیلرها می‌توان همزمان با تولید آب سرد، آب گرم با دمای بالای  $79^{\circ}\text{C}$  نیز تولید کرد.

در اینجا بعنوان نمونه به نتایج حاصل از بررسی طرح جایگزینی چیلر جذبی به جای چیلر تراکمی، در یکی از کارخانجات شیر که در آن مطالعات ممیزی انرژی انجام گرفته است، اشاره می‌شود. در این کارخانه، ظرفیت سرمایی مورد نیاز جهت ۳ سردخانه تعبیه شده در واحدهای شیر، ماست و پنیر، با دمای مورد نیاز  $4^{\circ}\text{C}$  در این سردخانه‌ها، در حدود ۵۰۰ تن تبرید می‌باشد. تولید این مقدار سرما حدود  $400\text{KW}$  برق نیاز دارد.

مصرف گاز طبیعی مورد نیاز جهت تعویض چیلرهای تراکمی فوق با یک چیلر جذبی با ظرفیت ۵۰۰ تن تبرید، با توجه به فشار کاری اواپراتور و کندانسور و دمای ورودی و خروجی مبرد، محاسبه شده است.

طبق این محاسبات، بخار مورد نیاز در چیلر جذبی ۵ Ton/hr می‌باشد و مصرف گاز طبیعی برای تولید آن، ۱۷۷ Nm<sup>3</sup>/hr برآورد می‌گردد. در این کارخانه برای تولید این مقدار بخار نیازی به اضافه نمودن بویلر و انشعاب گاز نیست. زیرا دیگ‌های بخار کارخانه در ظرفیت عملی پائین‌تر از ظرفیت نامی کار می‌کنند که با تأمین این میزان بخار و بالا رفتن ظرفیت کاری، به راندمان آنها افزوده می‌شود. توان مصرف برق در چیلرهای تراکمی موجود، ۴۰۰ KW می‌باشد و برای چیلر جذبی پیشنهادی، ۲۰ KW در نظر گرفته شده است. با احتساب سرمایه لازم جهت خرید یک چیلر جذبی با ظرفیت ۵۰۰ تن تبرید و با محاسبه میزان گاز مورد نیاز جهت تولید ۵ Ton/hr بخار برای این سیستم ( ۱۷۷ Nm<sup>3</sup>/hr ) و همچنین اختلاف قیمت مصرف برق در این دو سیستم و با در نظر گرفتن عدم نیاز به انشعاب گاز اضافی و صرفنظر از صرفه‌جوئی ناشی از کاهش دیماند برق، بازگشت سرمایه در این کارخانه حدود ۲ سال برآورد می‌شود. بنابراین اجرای این طرح برای کارخانه مزبور توصیه می‌گردد.

#### ۴-۱۳- نصب سیستم کنترلی بر روی سیستم تبرید

تدابیر کنترلی یک سیستم تبرید می‌تواند در کاهش مصرف انرژی نقش مهمی ایفا کند و دستیابی به حداکثر میزان بازدهی را در شرایط مختلف تضمین نماید. تعدادی از این سیستم‌های کنترلی عبارتند از:

الف - کنترل ترتیب کار کمپرسورها

ب - کنترل ظرفیت کمپرسورها

ج - کنترل فشار خروجی کمپرسورها

د - کنترل فشار مکش

بعنوان مثال، کنترل ترتیب کار کمپرسورها، در مواقعی که سیستم تبرید در بار کامل کار نمی‌کند، ضروری است. در چنین مواقعی، در سیستم‌های تبرید مشاهده

---

می‌شود که کمپرسورها همگی تحت بار جزئی قرار دارند. در چنین شرایطی وجود یک سیستم کنترل، ترتیب کار کمپرسورها را چنان تنظیم می‌کند که در هر زمان تعدادی کمپرسور، مطابق با نیاز سیستم، تحت بار کامل در مدار قرار گیرند و سایر کمپرسورهای اضافی بطور خودکار از دور خارج شوند.





« عناوین پرسشنامه »

- ۱- مشخصات کلی کارخانه
- ۲- بلوک دیاگرام ساده کارخانه و دیاگرام تک خطی فرآیند تولید
- ۳- اطلاعات کلی :
  - ۳-۱- مواد اولیه کارخانه
  - ۳-۲- میزان ضایعات کارخانه
  - ۳-۳- محصولات تولیدی کارخانه
  - ۳-۴- مشخصات تأسیسات برق
  - ۳-۵- برق مصرفی سالانه کارخانه
  - ۳-۶- سوخت مصرفی سالانه کارخانه
  - ۳-۷- آب مصرفی سالانه کارخانه
  - ۳-۸- مصارف انرژی کارخانه در ماههای مختلف سال
- ۴- فرآیند :
  - ۴-۱- واحد تولید شیر
  - ۴-۲- واحد تولید ماست
  - ۴-۳- واحد تولید خامه
  - ۴-۴- واحد تولید کره
  - ۴-۵- واحد تولید پنیر
  - ۴-۶- واحد تولید شیر خشک
- ۵- تأسیسات نیروگاهی
- ۶- سیستم‌های بازیافت موجود در کارخانه
- ۷- تصفیه فاضلاب
- ۸- تأسیسات سرمایشی و گرمایشی
- ۹- واحدهای جانبی مربوط به فرآیند اصلی کارخانه (پمپ‌ها، بویلرها، فن‌ها، کمپرسورها و ...)
- ۱۰- روشنایی
- ۱۱- مجموعه اقدامات انجام شده توسط کارخانه در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی

۱۲- مجموعه اقدامات فرهنگی و آگاهسازی در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی (اعم از سمینارها و کلاس‌های آموزشی)

### ۱- مشخصات کلی کارخانه:

نام کارخانه:

نوع مالکیت: خصوصی  دولتی  تعاونی

نوع شرکت:

تاریخ راه‌اندازی:

موقعیت کارخانه:

مساحت کارخانه

آدرس دفتر مرکزی:

شماره تلفن دفتر مرکزی و فکس:

آدرس کارخانه:

شماره تلفن کارخانه و فکس:

نام مدیر عامل:

نام مدیر کارخانه:

نام مدیر انرژی:

تحصیلات مدیر انرژی:

مدیر انرژی در چه دوره‌های مدیریت انرژی شرکت کرده‌اند؟

تعداد پرسنل: تعداد پرسنل تولید: تعداد پرسنل اداری و خدمات:

ساعت کار و تعداد شیفت:

تعداد روز کاری در سال:

زمان تعمیرات و نگهداری سالانه کارخانه:













































**ضرایب هم ارزی و تبدیل واحدهای انرژی****Energy Conversions and  
Equivalencies**

---

\* = exact conversion.

**Length units:**

- ┌ 1 foot (ft) = 0.3048\* meter (m) = 30.48\* centimeters (cm)
- ┌ 1 inch (in.) = 0.0254\* m = 2.54\* cm
- ┌ 1 mile (mi.) = 1609.344\* m = 1.609344\* kilometers (km)
- ┌ 1 km = 1000\* m
- ┌ 1 fathom (fath) = 6 (ft)
- ┌ 1 micron =  $10^{-4}$  cm
- ┌ 1 furlong = 220 yd
- ┌ 1 inch(in.) = 0.0833 foot
- ┌ 1 foot (ft) = 12\* inch
- ┌ 1 yard(yd) = 3\* foot
- ┌ 1 mile(mi) = 5280\*foot=1760\* yard

### Area units:

- ┌ 1 square inches(in<sup>2</sup>) = 6.452 square centimeters(cm<sup>2</sup>)
- ┌ 1 square foot (ft<sup>2</sup>)= 144\* square inches (in<sup>2</sup>)
- ┌ 1 square meters(m<sup>2</sup>) = 10.76 square foot (ft<sup>2</sup>)
- ┌ 1 square miles (mi<sup>2</sup>) = 3097600\* square yards
- ┌ 1 square yards = 9\* square foot (ft<sup>2</sup>)
- ┌ 1 darcy = 9.8697\*10<sup>-13</sup> m<sup>2</sup>
- ┌ 1 hectare= 10 m<sup>2</sup> = 2.47105 acre

### Volume (capacity) units:

- ┌ 1 barrel (bbl) = 42\* U.S. gallons = 0.1589873 m<sup>3</sup>
- ┌ 1 U.S. gallon = 3.785412 liters = 3.785412 x 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>
- ┌ 1 cubic foot (cu ft, ft<sup>3</sup>) = 2.831685 x 10<sup>-2</sup> m<sup>3</sup>
- ┌ 1 liter (L) = 0.001\* m<sup>3</sup>
- ┌ 1 milliliter (mL) = 0.001\* L = 1\* cubic centimeter (cm<sup>3</sup>) = 1.0\* x 10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>
- ┌ 1 liter(L) = 1.057 quarts (u.s.liquid)
- ┌ 1 pint = 0.125 gallon
- ┌ 1 u.s.gallon = 0.8327 imperial gallons
- ┌ 1 kilo liter = 6.2898 barrels
- ┌ 1 cubic inches(in<sup>3</sup>) = 16.39 cubic centimeters
- ┌ 1 cubic foot (ft<sup>3</sup>) = 1728\* cubicinches (in<sup>3</sup>)
- ┌ 1 u.s.gallon= 0.1337 cubic foot (ft<sup>3</sup>)

### Mass or weight units:

- ┌ 1 pound-mass (lbm) = 0.4535924 kilogram (kg) = 453.5924 grams (g)
- ┌ 1 short ton (ts) = 1\* U.S. ton = 2000\* lbm = 907.1847 kg
- ┌ 1 long ton (tl) = 1\* U.K. ton = 2240\* lbm = 1016.047 kg
- ┌ 1 metric ton (tm) = 1\* tonne = 1000\* kg = 1,000,000\* grams(g) = 1\* Megagram (Mg) = 2205\* lbm
- ┌ 1 ounce = 0.0625 (lbm)



**Pressure units:**

- ┌ 1 N =  $10^5$  dyne = 0.224809 lbf
- ┌ 1 (lbf) = 4.4475 newton(N)
- ┌ 1 lbm/in<sup>2</sup> (absolute ) (psia) = 6.895 KN/m<sup>2</sup>
- ┌ 1 lbm/in<sup>2</sup> (psia) = 0.0680 atmospheres
- ┌ 1 lbm/in<sup>2</sup> (psia) = 27.67 (in-water)
- ┌ 1 lbm/in<sup>2</sup> (psia) = 51.72 (mm-mercury Hg)(torr)
- ┌ 1 lbm/in<sup>2</sup> (gauge)(psia) = 1 psia + 14.70
- ┌ 1 Kg/cm<sup>2</sup> = 735.6 (mm-mercury ) (torr)
- ┌ 1 mm Hg = 1333.22 dyne/cm<sup>2</sup>
- ┌ 1 Kg/cm<sup>2</sup> = 0.9678 atmospheres
- ┌ 1 atmosphere = 101.3 KN/m<sup>2</sup>
- ┌ 1 Kg/cm<sup>2</sup> = 14.22 psia
- ┌ 1 atmosphere= 14.70 psia = 29.92 (in-mercury Hg)
- ┌ 1 bar = 100\* KN/m<sup>2</sup> = 0.9869 atmospheres
- ┌ 1 bar = 1.020 Kg/cm<sup>2</sup> = 0.1 mpa
- ┌ 1 KN/m<sup>2</sup> = 0.1450 psia = 0.009869 atmospheres
- ┌ 1 (in-water) = 0.03614 psia

**Density:**

- ┌ 1 lbm/ft<sup>3</sup> =  $1.601846 \times 10^{-2}$  g/cm<sup>3</sup> = 16.01846 kg/m<sup>3</sup>
- ┌ 1 lbm/bbl =  $2.853010 \times 10^{-3}$  g/cm<sup>3</sup> = 2.853010 kg/m<sup>3</sup>
- ┌ 1 lbm/U.S. gallon = 0.1198264 g/cm<sup>3</sup> = 119.8264 kg/m<sup>3</sup>
- ┌ 1 g/cm<sup>3</sup> = 1000\* kg/m<sup>3</sup> = 62.42 lbm/ft<sup>3</sup>

**Viscosity:**

- ┌ 1 centipoises = 0.0006720 lbm/ft.s = 0.001 \* N.S/m<sup>2</sup>
- ┌ 1 lbm/ft.s = 1488 centipoises
- ┌ 1 poises = 100\*centipoises = 1\* gr/cm.s
- ┌ 1 N.s/m<sup>2</sup> = 1000 centipoises

### Energy units:

- ┌ 1 British thermal unit (Btu) = 1055.056 joules (J) = 252.1644 cal = 778.1693 ft-lbf
- ┌ 1 foot-pound (ft-lbf) = 1.355818 joules (J) = 0.3240483 cal
- ┌ 1 calorie (cal) = 4.184\* joules (J)
- ┌ 1 dietary (food) Calorie (Cal) = 1000\* calories = 1\* kilocalorie (kcal)
- ┌ 1 hp-hr = 2.684520 x 10<sup>6</sup> J = 0.7456999 kilowatt-hour (kW-hr)
- ┌ 1 kilowatt-hour (kW-hr) = 3.6\* x 10<sup>6</sup> J = 3412.141 Btu = 2.655224 x 10<sup>6</sup> ft-lbf
- ┌ 1 Quad = 1\* quadrillion Btu = 1.0\* x 10<sup>15</sup> Btu = 1.055056 exajoule (EJ)
- ┌ 1 megajoule (MJ) = 1.0\* x 10<sup>6</sup> J
- ┌ 1 gigajoule (GJ) = 1.0\* x 10<sup>9</sup> J = 9.478170 x 10<sup>5</sup> Btu
- ┌ 1 terajoule (TJ) = 1.0\* x 10<sup>12</sup> J
- ┌ 1 petajoule (PJ) = 1.0\* x 10<sup>15</sup> J
- ┌ 1 exajoule (EJ) = 1.0\* x 10<sup>18</sup> J = 9.478170 x 10<sup>14</sup> Btu = 0.9478170 Quad
- ┌ 1 Therm = 100,000\* Btu = 1.055056 x 10<sup>8</sup> J
- ┌ 1 erg = 2.39\*10<sup>-8</sup> cal = 1 dyne.cm = 10<sup>-7</sup> J

### Power units:

- ┌ 1 watt (W) = 1\* joule/second (J/s) = 3.412141 Btu/hr
- ┌ 1 horsepower (hp) = 550\* ft-lbf/s = 2544.433 Btu/hr = 745.6999 W
- ┌ 1 quadrillion Btu per year (Quad/yr) = 1.055056 x 10<sup>12</sup> MJ/yr = 1.055056 x 10<sup>6</sup> TJ/yr = 1.055056 EJ/yr
- ┌ 1 newton – meter (torque)= 0.737562 (lbf-ft)

**Thermal Conductivity:**

- ┌ 1 Btu/ft.hr.°F = 1.731 W/m.°K = 1.488 Kcal/m.°C.hr
- ┌ 1 W/ m.°K = 0.5778 Btu/ft.hr.°F
- ┌ 1 Kcal/m.°C.hr = 1.163 W/m.°K = 0.6720 Btu/ft.hr.°F
- ┌ 1 Btu/ft<sup>2</sup>.hr.°F = 5.678 W/m<sup>2</sup>.°K

**Heat capacity:**

- ┌ 1 Btu/lbm.°F = 1 \* cal/gr.°C = 4187 J/Kg.°K
- ┌ 1 J/Kg.°K = 0.0002388 Btu/lbm.°F
- ┌ 1 cal/gr.°C = 1\* Btu/lbm.°F

**Calorific value = Heating value:**

- ┌ Mass basis:
  - ┌ 1 Btu/lbm = 2.326 x 10<sup>3</sup> J/kg
  - ┌ 1 cal/g = 4184\* J/kg
  - ┌ 1 cal/lbm = 9.224141 J/kg
- ┌ Volume basis:
  - ┌ 1 Btu/U.S. gallon = 7.742119 x 10<sup>-2</sup> (kW-hr)/m<sup>3</sup> = 2.787163 x 10<sup>5</sup> J/m<sup>3</sup>
  - ┌ 1 Btu/ft<sup>3</sup> = 1.034971 x 10<sup>-2</sup> (kW-hr)/m<sup>3</sup> = 3.725895 x 10<sup>4</sup> J/m<sup>3</sup>
  - ┌ 1 ft-lbf/U.S. gallon = 3.581692 x 10<sup>2</sup> J/m<sup>3</sup>
  - ┌ 1 cal/cm<sup>3</sup> = 4.184\* x 10<sup>6</sup> J/m<sup>3</sup>

**Temperature Units:**

- ┌ 1 (°K) kelvin = 1.8 (°R) Rankin
- ┌ 1 (°R) = 0.5556 (°K)
- ┌ 1 (°F) Fahrenheit = 1.8 (°C) +32
- ┌ 1 (°K) = (°C) + 273
- ┌ 1 (°R) = (°F) + 459.7

### Geothermal gradient:

- ┌  $1\text{ }^{\circ}\text{F}/\text{ft} = 1.822689\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$
- ┌  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m} = 0.54864\text{ }^{\circ}\text{F}/\text{ft}$
- ┌  $1\text{ }^{\circ}\text{F}/1000\text{ ft} = 1.822689\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$
- ┌  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km} = 0.54864\text{ }^{\circ}\text{F}/1000\text{ ft}$

### Concentration (in water solution):

- ┌ 1 parts per million (ppm) = 1\* (mg/lit) (milligram per liter)
- ┌ 1 parts per billion (ppb) = 1\* (mg/lit) (microgram per liter)
- ┌ 1 milligram per cubic meter ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) =  $10^{-9}$  ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
- ┌  $1\text{ lbm}/\text{ft}^3 = 0.01602\text{ gr}/\text{cm}^3$
- ┌  $1\text{ gr}/\text{cm}^3 = 10^9\text{ ( mg}/\text{m}^3) = 62.42\text{ lbm}/\text{ft}^3$

### Flow :

- ┌  $1\text{ ft}^3/\text{s} = 448.9\text{ u.s.gallons}/\text{min}$
- ┌  $1\text{ ft}^3/\text{min} (\text{ cfm}) = 1.699\text{ m}^3/\text{hr}$

### Approximate fuel relationships:

- ┌ 1 barrel (bbl) crude oil = 42\* gallons =  $5.8 \times 10^6$  Btu =  $6.12 \times 10^9$  J
- ┌ 1 standard cubic foot (std  $\text{ft}^3$ ) of natural gas (SCF) = 1000 Btu
- ┌ 1 gallon gasoline =  $1.24 \times 10^5$  Btu
- ┌  $10^6$  cubic feet of natural gas = 172 barrels of crude oil
- ┌ 1 ton coal =  $20\text{-}40 \times 10^6$  Btu
- ┌ 1 lbm bituminous coal =  $1.3 \times 10^4$  Btu
- ┌ 1 ton uranium-235 ( $^{235}\text{U}$ ) =  $70 \times 10^{12}$  Btu
- ┌ 1000 bbl/day of oil =  $2.117 \times 10^{12}$  Btu/yr
- ┌ 1 million barrels of oil per day (1 MBOPD)  
=  $5.8 \times 10^{12}$  Btu/day  
= 80 million tons per year of coal  
=  $5.8 \times 10^9$   $\text{ft}^3$  per day of natural gas
- ┌ 1 million tonnes of coal equivalent = 29.0 PJ
- ┌ 1 million tonnes of oil equivalent = 41.868 PJ

- ┌ 1 barrel condensate = 0.935 barrels of equivalent
- ┌ 1 PJ of Natural gas = 172000 barrels of oil equivalent
- ┌ 1 tonne LPG = 8.46 barrels of oil equivalent

### Approximate calorific values:

- ┌ **Petroleum:**
  - =  $5.8 \times 10^6$  Btu/bbl
  - =  $1.4 \times 10^5$  Btu/U.S. gallon
  - = 19,000 Btu/lbm (using a density of 7.4 lbm/gallon)
  - = 42,000 Btu/kg
- ┌ **Coal:**
  - = 6,000 to 15,000 Btu/lbm, depending on the [rank](#) of coal
  - = 13,200-33,000 Btu/kg
- ┌ **Natural gas:**
  - = 1000 Btu/ft<sup>3</sup>
  - = 25,000 Btu/lbm (using a density of 0.04 lbm/ft<sup>3</sup>)
  - = 55,000 Btu/kg
- ┌ **Uranium-235:**
  - =  $3.3 \times 10^{10}$  Btu/lbm
  - =  $7.3 \times 10^{10}$  Btu/kg

### Emission indices (Kg CO<sub>2</sub>/GJ)

- LPG 60
- Natural Gas 58
- Crude Oil 76
- Coal (electricity) 290

### Multiples of Ten:

- pico (p) =  $10^{-12}$
- nano (n) =  $10^{-9}$

- micro ( $\mu$ ) =  $10^{-6}$
- milli (m) =  $10^{-3}$
- kilo (k) =  $10^3$
- mega (M) =  $10^6$
- giga (G) =  $10^9$
- tera (T) =  $10^{12}$

## Fuel Heating Values:

• Solid Fuel			GJ/tonne		
	Black Coal	Export coking coal	29.0		
		Export steaming coal	27.0		
		Local coal (electricity)	24.0		
	Brown Coal		9.5		
	Coke		27.0		
	Wood	Dry	16.2		
	Bagasse		9.6		
	Plant Biomass	Cotton trash	18.0		
• Gaseous Fuel			MJ/m <sup>3</sup>		
	Natural Gas		39.0		
	Ethane		66.0		
	LPG	Propane	93.3		
	LPG	butane	124.0		
	Town Gas	reformed gas	20.0		
	Gas	coke oven	18.1		
	Gas	blast furnace	4.0		
• Liquid Fuel			MJ/litre	Litre/Tonne	GJ/tonne
	LPG	propane	25.3	1960	49.6
	LPG	butane	27.7	1750	49.1
	LPG	mixture	25.7	1928	49.6
	Gasoline	aviation	33.0	1412	49.6
	Gasoline	automotive	34.2	1360	46.4
	Kerosene	power	37.5	1230	46.1
	Kerosene	turbine fuel	36.8	1261	46.4
	Kerosene	lighting	36.6	1270	46.5
	Heating Oil		37.3	1238	46.2
	Diesel Oil	automotive	38.6	1182	45.6
	Diesel Oil	industrial	39.6	1135	44.9
	Fuel Oil	low sulphur	39.7	1110	44.1
	Fuel Oil	high sulphur	40.8	1050	42.9
	Refinery Fuel		40.9	1050	42.9
	Naphtha		31.4	1534	48.1
	Lubricants		38.8	1120	43.4
	Bitumen		44.0	981	42.7
	Solvents		34.4	1229	44.0
	Waxes		38.8	1180	45.8
	Crude Oil		38.7	1160	44.9
	Ethanol		23.4	1266	29.6
	LNG	-160C & 300kPa	25.0	2174	54.4
• Uranium			GJ/tonne		
	Uranium	metal (U)	560,000		
	Uranium	oxide (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	470,000		





## منابع و مراجع

1. **Industrial Energy Management principles and a applications.**
2. **Energy Efficiency in Industry and Primary production.**
3. **Energy Management Guide (Best Practice Program).**
4. **Energy Management by ottaviano technical services inc.**
5. **Energy Efficiency (A guide to current and Emerging technologies)p.p.179 CAE**

۶- مقالات مختلف از اینترنت

۷- گزارش ممیزی انرژی در کارخانه لبنیات پاستوریزه پاک، سازمان بهره‌وری انرژی ایران (۱۳۷۵)

۸- گزارش مدیریت مصرف انرژی در مجتمع کارخانه‌های شیر پاستوریزه تهران، سازمان بهره‌وری انرژی ایران ( بهمن ۱۳۷۹ )

۹- گزارش مدیریت مصرف انرژی در کارخانه شیر پاستوریزه همدان، سازمان بهره‌وری انرژی ایران ( بهمن ۱۳۸۰ )

۱۰- گزارش مدیریت مصرف انرژی در کارخانه شیر خوزستان، سازمان بهره‌وری انرژی ایران ( اسفند ۱۳۸۰ )

۱۱ - گزارش مدیریت مصرف انرژی در کارخانه پنیر گلپایگان، سازمان بهره‌وری انرژی ایران (اسفند ۱۳۸۰)

۱۲ - گزارش مدیریت مصرف انرژی در کارخانه شیر کرمان، سازمان بهره‌وری انرژی ایران (اسفند ۱۳۸۰)



