

مدیریت مصرف انرژی در صنعت نساجی

حسین بهرامی
سازمان بهره‌وری انرژی ایران

خلاصه

این پروژه برای حدود ۴۰ کارخانه صنعت نساجی با دیماند برق بیش از ۳ مگاوات، در چهار شاخه تولید پارچه و نخ از پنبه و الیاف مصنوعی، تولید پارچه فاستونی، تولید فرش و تولید الیاف مصنوعی اجراء شده است. اهداف این طرح عبارتند از:

- تعیین شاخصهای انرژی بخشهای مختلف تولید (ریسندگی، بافندگی، رنگرزی، چاپ، تکمیل)
- تعیین درصد مصرف انرژی فرآیند نسبت به انرژی کل در هر کارخانه
- ارائه راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی خاص این صنعت
- تشکیل نرم افزار بانکهای اطلاعات مصرف انرژی و تکنولوژی و تهیه بروشور

بر اساس تجزیه و تحلیل نتایج پرسشنامه‌های انرژی در کارخانجات تولید پارچه و نخ از پنبه و الیاف مصنوعی به طور متوسط در بخش ریسندگی برای تهیه یک کیلوگرم نخ ۵۲/۸ مگاژول، در بخش بافندگی برای یک متر مربع پارچه بافته شده، ۴/۹۴ مگاژول و در بخش تکمیل ۲۶ مگاژول به ازای یک متر مربع پارچه، انرژی مصرف می‌شود. این مقادیر برای کارخانجات تولید پارچه فاستونی به ترتیب ۷/۲۸ کیلووات ساعت بر کیلوگرم نخ، ۷/۴۹ مگاژول بر مترمربع و ۶۳/۹ مگاژول بر مترمربع و در صنایع فرش ماشینی به ترتیب ۱/۷ کیلووات ساعت بر کیلوگرم نخ، ۱۴/۷۷ مگاژول بر مترمربع و ۲۶/۵۳ مگاژول بر مترمربع می‌باشد. شاخصهای مصرف انرژی در ۳۸ کارخانه برای بخشهای ریسندگی، بافندگی و تکمیل تعیین و با یکدیگر مقایسه گردیده‌اند. شاخصهای انرژی و خط متوسط مصرف در قالب نمودارهای مختلف معین شده است. با انجام ممیزی انرژی در ۴ کارخانه، پتانسیل صرفه‌جویی انرژی الکتریکی ۲۳۴ مگاوات ساعت و سوختهای فسیلی ۵۶۵ میلیون مگاژول در سال برآورده گردیده که با اعمال راهکارهای ارائه شده برای هر بخش ضمن کاهش تلفات انرژی موجب کاهش هزینه انرژی این چهارکارخانه، سالیانه به مبلغ ۴ میلیارد ریال طبق قیمت‌های انرژی سال ۷۸ خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: ریسندگی، بافندگی، تکمیل، شاخص انرژی (مصرف ویژه انرژی)، پتانسیل صرفه‌جویی

۱- مراحل فرآیند تولید در صنعت نساجی مقدمات ریسندگی / ریسندگی:

در این مرحله مواد خام که عمدتاً شامل عدلهای پنبه، پلی استر، ویسکوز و ... هستند پس از باز شدن، مخلوط، تمیز و تا حدودی یکنواخت می‌گردند تا برای تبدیل شدن به فتیله و یکنواختی بیشتر، از قسمت‌های "کاردینگ"، چند لا و شانه (برای نخ‌های ظریف) بگذرند. این فتیله‌ها برای تبدیل شدن به نخ ابتدا در "فلایر" به نیمچه نخ و در رینگ به نخ تبدیل می‌شوند. در فرآیند دیگری فتیله‌ها از دستگاه "اپن اند" گذشته و مستقیماً به نخ تبدیل می‌شوند.

مقدمات بافندگی / بافندگی:

در این مرحله جهت یکنواختی بیشتر و مقام کردن نخ‌های ریسندگی در برابر سایش و کشیدگی‌های متغیر بافندگی، عملیات دولاکنی، دولتابی، بوبین پیچی و آهارزنی صورت می‌گیرد. سپس عمل نخ‌کشی بین چله و دستگاه بافندگی صورت پذیرفته و به وسیله دستگاه‌های مختلف بافندگی ("باماکو"، "رپیری"، "ایرجت" و ...) پارچه خام تولید می‌گردد.

رنگرزی، چاپ و تکمیل:

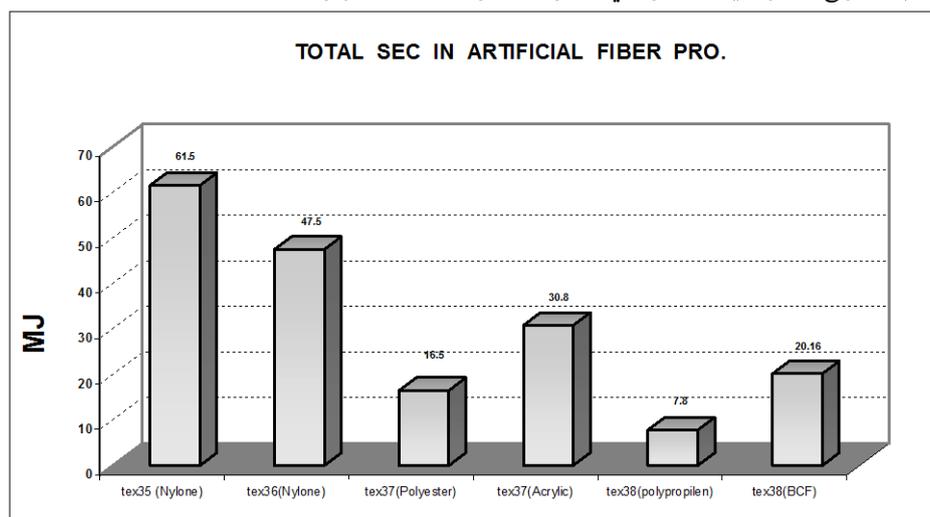
پارچه‌های نساجی پس از خروج از سالن بافندگی کم و بیش دارای مقادیری ناخالصی و عیوب بافت می‌باشند. لذا لازم است به منظور آماده کردن پارچه برای عملیات اصلی تکمیل ابتدا آن را تحت عملیات مقدماتی تکمیل (توزین، متراژ، کنترل، رفوگری و ...) قرار داد. بعد از این مرحله عملیات تثبیت عرض، شستشو و سفیدگری بر روی پارچه صورت گرفته و پارچه خشک شده به واحدهای رنگرزی و چاپ انتقال می‌یابد. در انتها پارچه پس از کنترل نهایی و بسته‌بندی به انبار محصول منتقل می‌گردد.

الیاف مصنوعی

با توجه به تنوع نیازها و نیز افزایش جمعیت، الیاف طبیعی عملاً پاسخگو نبوده و لذا از الیاف مصنوعی به عنوان یکی از مواد اولیه جمعیت ریسندگی و بافندگی منسوجات استفاده می‌گردد. به همین خاطر کارخانجات تولید الیاف مصنوعی نقش پراهمیتی در چرخه این صنعت به عهده دارند.

در این راستا تعداد چهار کارخانه بزرگ با تولیدات الیاف پلی‌استر، اکریلیک، پلی پروپیلن، نخ نایلون و BCF در سطح کشور مورد بررسی قرار گرفتند.

از آنجا که فرآیند تولید برای این کارخانجات متفاوت بوده لذا شاخص‌های ارائه شده در این زمینه با یکدیگر قابل قیاس نبودند. در شکل (۱) شاخص مصرف انرژی بر حسب نوع تولید برای هر کارخانه آورده شده است.



شکل ۱- شاخص مصرف انرژی بر حسب نوع تولید برای هر کارخانه

۲- شاخص‌های مصرف انرژی

نمودارهای مصرف ویژه انرژی (SEC: Specific Energy Consumption)، یعنی مقدار انرژی مصرفی به ازای واحد تولید را در سه شاخه صنعت نساجی، شامل: تولید پارچه از پنبه و الیاف مصنوعی، پارچه فاستونی و فرش بافی نشان می‌دهد که براساس اطلاعات ارائه شده از سوی مدیران انرژی کارخانجات مختلف نساجی کشور ترسیم شده‌اند.

در هر شاخه برای بخش‌های ریسندگی، بافندگی و رنگرزی - چاپ - تکمیل نمودارهای مربوطه به طور جداگانه ارائه شده‌اند. به علاوه برای همه نمودارها، میانگین مصرف ویژه انرژی (SEC_{av}) محاسبه و خط متوسط رسم گردیده است.

پائین بودن مصرف ویژه انرژی (SEC) در تعدادی از کارخانجات نسبت به خط متوسط (داخلی) لزوماً به این مفهوم نیست که مصرف انرژی در آنها بهینه بوده، بلکه تنها می‌توان گفت که نسبت به سایر کارخانه‌ها وضعیت بهتری دارند و ممکن است در مقایسه با استانداردهای بهینه مصرف جهانی، مصرف انرژی بیشتری نیز داشته باشند.

همانطور که مشاهده می‌شود، مصرف ویژه تعدادی از کارخانه‌ها، فاصله نسبتاً زیادی تا میانگین مصرف ویژه

انرژی (SEC_{av}) دارد که دلیل آن عمدتاً فرسودگی دستگاهها و همچنین تولید با ظرفیت بسیار پائین در این کارخانجات می‌باشد. به طور کلی مواردی که موجب تلفات انرژی و افزایش SEC در بخشهای مختلف فرآیندهای نساجی می‌شوند، عبارتند از:

۱- در بخش ریسندگی: پر نبودن همه چشمه‌های دستگاه‌های فلایر، رینگ و اپن‌اند، وجود دستگاه‌های فلایر و رینگ به جای اپن‌اند و استفاده از نشانه برای تولید نخ ظریف.

۲- در بخش بافندگی: خلاص کار کردن ماشینهای بافندگی هنگام پارگی نخ، بالا بودن توان الکتروموتورهای ماشینهای بافندگی نسبت به بار واقعی آنها و عدم کنترل بهینه رطوبت و دمای سالنها.

۳- در بخش رنگرزی - چاپ و تکمیل: عدم تنظیم دما و حجم مناسب شوینده‌ها، نبود تجهیزات اندازه‌گیری دما و رطوبت در دستگاهها، اتلاف حرارت از طریق گازهای خروجی از دستگاه تثبیت‌کننده رنگ و مناسب نبودن حرارت دستگاه ترموزول.

البته با توجه به شرایط آب و هوایی مناطق مختلف کشور، سیستم گرمایش و سرمایش و روشنایی فضای محوطه‌ها و سایر مصارف جانبی دیگر نیز در افزایش SEC سهم قابل توجهی دارند.

همچنین قابل ذکر است که تعدادی از کارخانه‌ها، بخشی از مواد اولیه مورد نیاز بخشهای بافندگی و تکمیل خود را از کارخانجات دیگر تهیه می‌کرده‌اند و تعداد دیگری نیز محصولات نخ و پارچه خود را به عنوان محصول میانی می‌فروخته‌اند.

این موارد، امکان مقایسه دقیق و کامل کارخانجات را از لحاظ مصرف انرژی کاهش می‌دهد. با این وجود، هدف از ارائه این نمودارها در مرحله اول، رسیدن کارخانجات با مصرف بیشتر انرژی به مقدار متوسط داخلی مصرف بوده است. بدیهی است هدف نهایی، دستیابی کارخانجات به وضعیت مصرف بهینه و استانداردهای جهانی مصرف در این شاخه صنعتی خواهد بود.

پتانسیلهای صرفه‌جویی انرژی در سه بخش ریسندگی، بافندگی و رنگرزی - چاپ - تکمیل و مقدار کل کارخانه مطابق رابطه زیر محاسبه گردیده و در قالب نمودارهای (۱ الی ۹) ارائه شده است.

$$Pt = Pt(SEC - SEC_{av})$$

Pt = پتانسیل صرفه‌جویی انرژی

Pr = مقدار تولید سالیانه کارخانه

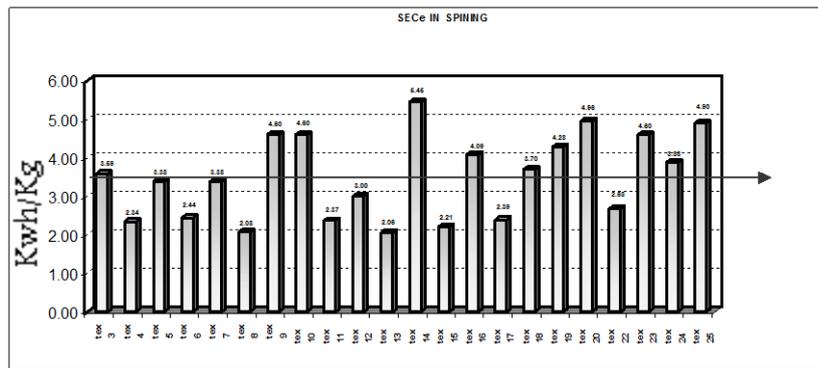
SEC = مصرف ویژه انرژی

SEC_{av} = میانگین مصرف ویژه انرژی

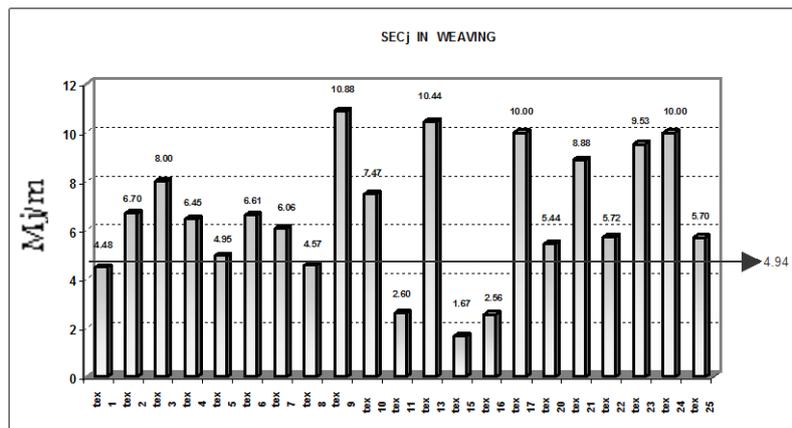
شاخص‌های انرژی کارخانجات پنبه‌ای

نمودارهای ۲ و ۳ و ۴ بیانگر شاخص‌های انرژی در کارخانجات تولید نخ و پارچه از پنبه و الیاف مصنوعی است. در بخش ریسندگی ۳/۲۶ کیلووات ساعت بر کیلوگرم، در بخش بافندگی ۴/۹۴ مگاژول بر مترمربع و در بخش تکمیل ۱۵/۴ مگاژول بر مترمربع تولید پارچه‌های پنبه‌ای و الیاف مصنوعی انرژی مصرف می‌نماید.

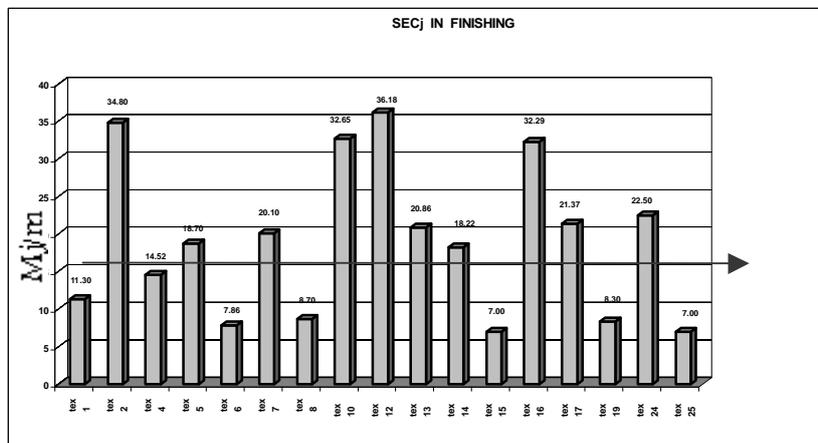
از تعداد ۲۵ کارخانه تولید نخ و پارچه از پنبه و الیاف مصنوعی پتانسیل صرفه‌جویی انرژی بخش ریسندگی در تعداد ۱۳ کارخانه نسبت به خط متوسط ۳۲۰۱۳ مگاوات ساعت، بخش بافندگی در تعداد ۱۵ کارخانه ۲۸۳/۲۵ میلیون مگاژول، بخش رنگرزی - چاپ تکمیل ۷۹۴/۶۸ میلیون مگاژول و در کل ۲۵ کارخانه مقدار ۱۴۲۴ میلیون مگاژول می‌باشد.



نمودار (۲)



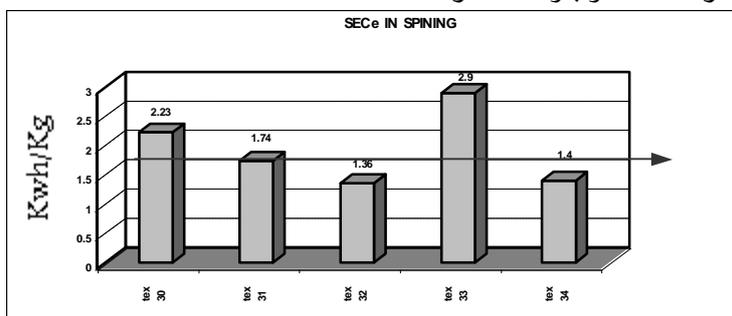
نمودار (۳)



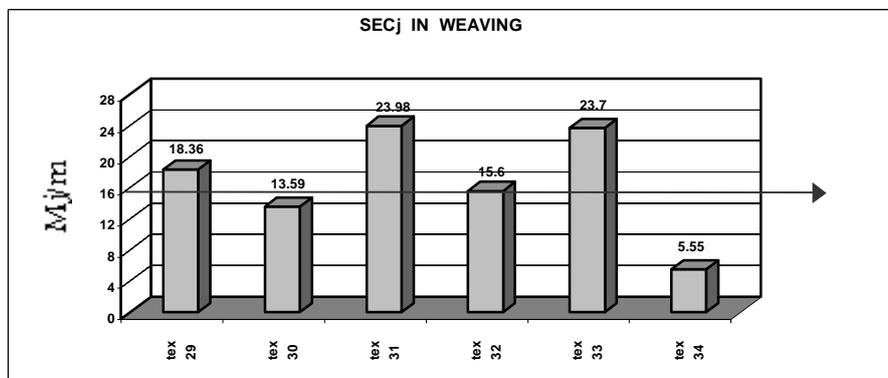
نمودار (۴)

شاخص‌های انرژی کارخانجات فرش ماشینی

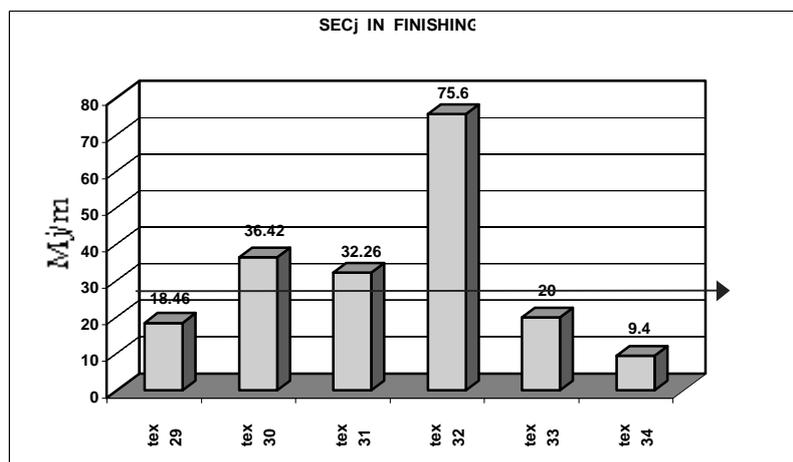
با توجه به نمودارهای شاخص مصرف انرژی، (نمودارهای ۵ و ۶ و ۷) برای تهیه یک کیلوگرم نخ فرش ماشینی به طور متوسط، $۱/۶۹$ کیلووات ساعت انرژی مصرف می‌شود. مقدار $۱۴/۷۷$ مگاژول بر مترمربع در بخش بافندگی و مقدار $۲۶/۵۳$ مگاژول به ازاء یک مترمربع فرش در بخش تکمیل انرژی مصرف می‌شود. پتانسیلهای صرفه‌جویی انرژی برای ۶ کارخانه مورد مطالعه نسبت به خط متوسط مصرف محاسبه گردیده است. در بخش ریسندگی تعداد ۳ کارخانه با مقدار پتانسیل صرفه‌جویی ۲۷۰۶ مگاوات ساعت، در بخش بافندگی تعداد ۴ کارخانه با مقدار پتانسیل صرفه‌جویی ۲۰ میلیون مگاژول و در بخش تکمیل تعداد ۳ کارخانه با مقدار پتانسیل صرفه‌جویی $۹۲/۴$ میلیون مگاژول برآورده شده است که جمعاً در این ۶ کارخانه فرش‌بافی نسبت به میانگین مصرف آنها حدود $۱۴۱/۷$ میلیون مگاژول پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در سال وجود دارد.



نمودار (۵) پ



نمودار (۶)



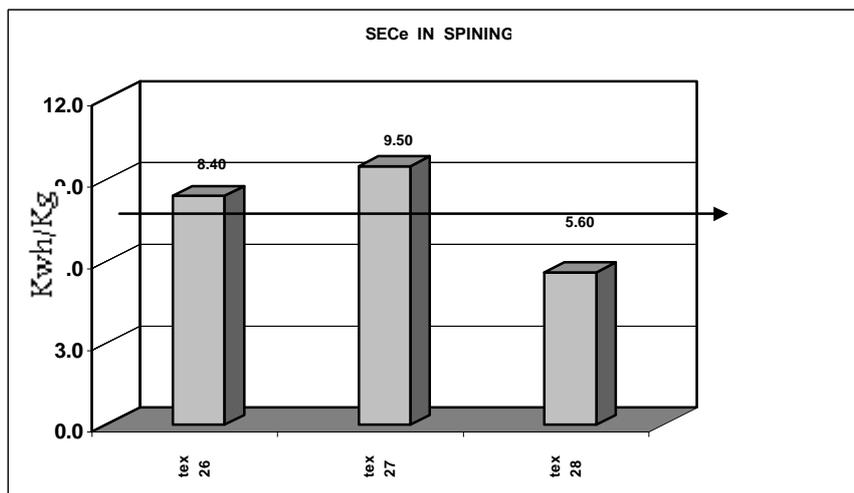
نمودار (۷)

شاخص‌های انرژی کارخانجات پارچه فاستونی

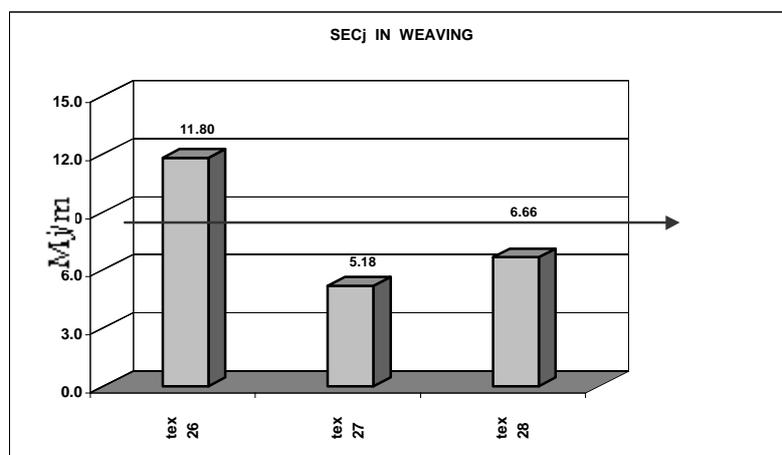
نمودارهای (۸ و ۹ و ۱۰) بیانگر شاخص‌های انرژی در کارخانجات پارچه فاستونی و تولید الیاف مصنوعی است در بخش ریسندگی ۷/۲۸ کیلووات‌ساعت بر کیلوگرم، و در بخش بافندگی ۷/۴۹ مگاژول بر مترمربع و در بخش تکمیلی ۶۳/۸۹ مگاژول بر مترمربع برای تولید پارچه فاستونی انرژی مصرف می‌شود.

از تعداد ۳۸ کارخانه نساجی مورد مطالعه تنها ۳ کارخانه پارچه فاستونی تولید می‌کنند. مقدار پتانسیل صرفه‌جویی در بخش ریسندگی آنها ۱۰۸۱/۵ مگاوات ساعت، در بخش بافندگی ۴/۵۲ میلیون مگاژول و در بخش تکمیل ۲۱/۲۴ میلیون مگاژول برآورده شده است. که در مجموع مقدار ۲۷/۴۴ میلیون مگاژول در این ۳

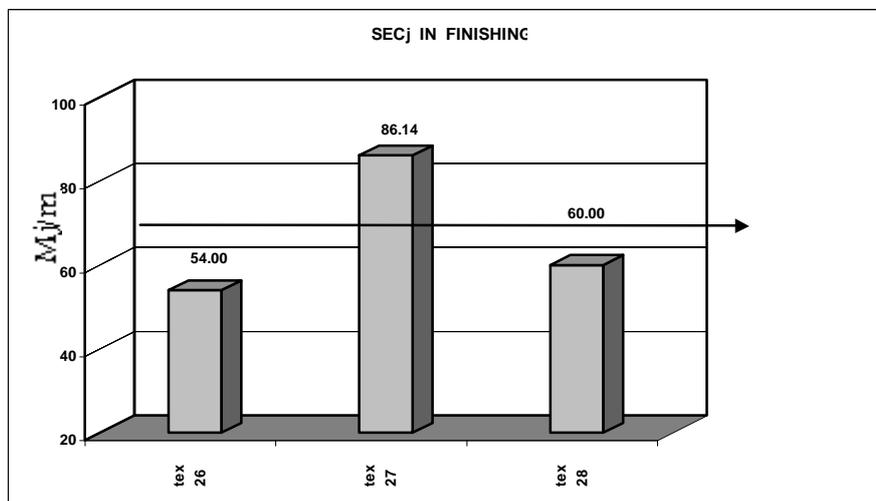
کارخانه با اعمال مدیریت مصرف، انرژی قابل صرفه‌جویی می‌باشد.



نمودار (۸)



نمودار (۹)



نمودار (۱۰)

۳- راهکارها و توصیه بهینه‌سازی مصرف انرژی

• مقدمات ریسندگی / ریسندگی :

- جلوگیری از کارکرد بی‌بار دستگاه‌هایی از قبیل "فلایر"، "رینگ"، "اپن‌اند" و
- استفاده از تمام ظرفیت دستگاه‌ها.
- بررسی امکان نصب موتورهای الکتریکی دور متغیر (VSD) در سیستم‌های تهویه.
- استفاده از دستگاه "رینگ" با سرعت بالا.
- استفاده از دستگاه "اپن‌اند" به جای مجموعه "فلایر" و "رینگ" برای نخ‌های ضخیم.
- انتخاب مواد اولیه مرغوب برای کاهش ضایعات و بالا بردن کیفیت محصول
- کنترل مواد برگشتی و کاهش آن‌ها.
- نصب تجهیزات اندازه‌گیری دما و رطوبت برای کنترل دما و رطوبت سالن و حفظ آن‌ها در مقداری مشخص.
- استفاده از "کاردینگ" با سرعت بالا.

• مقدمات بافندگی / بافندگی:

- کاهش زمان توقف دستگاه‌ها و افزایش ظرفیت تولید.
- سرویس، روغن کاری و تمیز کردن مجرای جریان هوای موتورها.
- بررسی امکان نصب موتورهای الکتریکی دور متغیر (VSD) در سیستم تهویه سالن‌ها.

- استفاده از دستگاه‌های با حجم کمتر و سرعت تولید بیشتر.
- کنترل بهینه رطوبت و دمای سالن به منظور جلوگیری از پارگی نخ در فرآیند بافت.
- استفاده از دستگاه‌های "رپیری" با تکنولوژی بالا.
- استفاده از دستگاه‌های دولتابی با راندمان بالا.
- بازنگری در ظرفیت کار الکتروموتور ماشین‌های بافندگی (که عمدتاً زیر بارنامی کار می‌کنند).
- بررسی امکان برنامه‌ریزی جهت تعویض "چله‌ها" در ساعات اوج مصرف برق.
- جلوگیری از خلاص کار کردن ماشین‌های بافندگی هنگام پارگی نخ‌های تار.

• رنگرزی، چاپ و تکمیل:

- بررسی امکان استفاده از موتورهای الکتریکی دور متغیر (VSD) در دستگاه‌های "سانتریفوژ".
- استفاده از خشک‌کن‌های غیرحرارتی مانند خشک‌کن‌های "سانتریفوژی" و خشک‌کن‌های مکانیکی (MVR).
- بهره‌گیری از تکنولوژی‌های جدید چاپ و رنگرزی.
- تعویض یا تعمیر "تله‌های بخار" معیوب.
- تنظیم مناسب درجه حرارت دستگاه "ترموزول".
- کاهش ضایعات در فرآیندهای رنگرزی، چاپ و تکمیل.
- نصب test steamer برای افزایش محصول دهی و درجه مرغوبیت محصول.
- نصب تجهیزات اندازه‌گیری دما و رطوبت بر روی دستگاه‌ها.
- عایق‌کاری مناسب دستگاه‌ها با هدف کاستن از تلفات حرارتی.
- بازیافت حرارت از گازهای خروجی از دودکش دستگاه "فاماتکس".
- تهیه راهنمای عملکرد استاندارد دستگاه‌ها از قبیل دما و غیره برحسب نوع محصول.
- مشخص کردن تعداد سیلندرهای بخار در خشک‌کن‌ها برحسب جنس و نوع محصول.

- تنظیم دما و حجم مناسب شوینده ها برحسب نوع مواد و روش‌های رنگرزی.
- استفاده از ماشین‌های رنگرزی با سیستم "مایکروویو".
- استفاده از ماشین‌های رنگرزی با سیستم "جت".

• توصیه‌های عمومی بهینه‌سازی مصرف انرژی:

- استفاده از موتورهای الکتریکی با راندمان بالا و متناسب با بار.
- استفاده از موتورهای الکتریکی در بار کامل.
- استفاده از سیستم روشنایی منطقه‌ای و موضعی، کاهش ارتفاع روشنایی و استفاده حداکثر از نور طبیعی.
- قطع پمپاژ آب در ساعات اوج مصرف برق.
- استفاده از دیزل ژنراتور در ساعات اوج مصرف برق.
- نصب سیستم بازیافت حرارت از گازهای خروجی دیگ بخار.
- کاهش دمای هوای ورودی به کمپرسورها.
- عایقکاری مناسب لوله‌های بخار و آب داغ.
- نصب سیستم (لوله‌کشی) برگشت آب چگالیده.
- نصب بانک‌های خازنی جهت بهبود ضریب قدرت در محل سالن‌ها.
- تدوین برنامه منظم تعمیرات و نگهداری (PM) دستگاه‌ها.
- اختصاص حداقل فضا (Layout مناسب) برای ماشین‌آلات و پیوستگی خطوط تولید با هدف کاهش مصارف انرژی در سیستم‌های روشنایی، تهویه، سرمایش و گرمایش و همچنین کاهش ضایعات حمل و نقل.

نتیجه‌گیری

صنعت نساجی ۲۰ تا ۲۵ درصد از کل انرژی مصرفی بخش صنعت را شامل می‌شود. در واحدهای ریسندگی به طور متوسط بازاء هر کیلوگرم نخ، ۵۲/۸۱ مگاژول، در واحدهای بافندگی بازاء هر مترمربع پارچه ۴/۹۴ مگاژول و در واحدهای رنگرزی - چاپ تکمیل بازاء هر مترمربع پارچه ۱۶/۱ مگاژول انرژی الکتریکی و سوخت فسیلی مصرف می‌شود. با توجه به میانگین شاخص داخلی، پتانسیل صرفه‌جویی در صنعت نساجی بین ۱۰ تا ۱۵ درصد برآورد می‌شود، پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در صنایع پنبه‌ای، ۲۰۲۵ میلیون مگاژول (برابر با ۳۵۵۰۰۰ بشکه

معادل نفتخام) در صنایع فاستونی ۲۹ میلیون مگاژول (برابر با ۵۰۰۰ بشکه معادل نفتخام) و در صنایع فرش ماشینی ۲۱۷ میلیون مگاژول (برابر با ۳۸۰۰۰ بشکه معادل نفتخام) برآورد شده است. در مجموع پتانسیل صرفه‌جویی برای کارخانجات با دیماند الکتریکی بیش از ۳ MW به ۲۲۷۱ میلیون مگاژول (برابر با ۳۹۸۰۰۰ بشکه معادل نفتخام) می‌رسد.

از آنجائیکه در سطح کشور تعداد زیادی از کارخانجات نساجی با دیماند مصرفی کمتر از ۳ MW نیز وجود دارند (که در این طرح مورد مطالعه قرار نگرفته‌اند) و با احتساب پتانسیل‌های موجود در صنایع تولید الیاف مصنوعی، برآورد می‌شود پتانسیل صرفه‌جویی انرژی حدوداً سه برابر گردد. در نتیجه با اعمال مدیریت مصرف انرژی در صنعت نساجی، پیش‌بینی می‌شود سالانه حدود ۶۸۰۰ میلیون مگاژول (برابر با ۱/۲ میلیون بشکه معادل نفتخام) انرژی در کشور صرفه‌جویی گردد.

مراجع

— پرسشنامه‌های انرژی تکمیل شده از ۴۰ کارخانه بزرگ نساجی کشور در سال ۱۳۷۸.

