ممیزی مصرف انرژی در صنعت تولید شیشه

energyenergy.ir

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول : ممیزی مصرف انرژی در صنعت تولید شیشه مظروف ۶

۱-۱. توصیف فرآیند تولید و مشخصات عمومی کارخانه مورد مطالعه **۶**

۱-۲. توصیف مراحل انجام ممیزی انرژی تفصیلی درکارخانه شیشه مظروف **۹**

۱-۳. ممیزی و بالانس انرژی حرارتی کل کارخانه **۱۰**

۱-۴. راندمان و مصرف ویژه حرارتی کوره های ذوب کارخانه شیشه مورد مطالعه **۱۳**

۱-۵. نتایج ممیزی انرژی الکتریکی تفصیلی کارخانه **۱۴**

فصل دوم : راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی در کارخانه شیشه ۱۶

۲-۱. راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی حرارتی **۱۶**

۲-۱-۱. تأثیر دانه بندی مواد اولیه در مصرف انرژی حرارتی کوره ۱۷

۲-۱-۲. بررسی تأثیر خرده شیشه در مصرف انرژی حرارتی کوره ۱۷

۲-۱-۳. استفاده از اکسیدلیتیم (LI_2O) در مواد اولیه ۱۸

۲-۱-۴. بررسی تأثیر کاربرد تقویت کننده های الکتریکی در افزایش کشش کوره ۱۹

۲-۱-۵. بررسی طرح استفاده از CLOSED DOGHOUSE ۲۲

۲-۲. بررسی تعدادی از راهکارهای بهینه‌سازی حرارتی در کارخانه مورد نظر **۲۳**

۲-۳. راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی **۲۴**

۲-۳-۱. بررسی تعرفه، گزینه و میزان دیماند شبکه برق و بررسی وضعیت مصرف در ساعات پیک شبکه ۲۴

۲-۳-۲. مدیریت توزیع بارالکتریکی ۲۵

۲-۳-۳. ارائه راهکارهای ممکن در جهت بهینه نمودن مصرف انرژی الکتروموتورها ۲۵

۲-۳-۴. بهینه سازی سیستم های تأمین هوای فشرده، بررسی تأثیر تعمیرات و نگهداری، کاهش نشتی های سیستم های توزیع و ذخیره هوای فشرده ۳۱

۲-۴. بررسی تعدادی از راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در کارخانه مورد نظر **۳۱**

۲-۵. نتیجه گیری **۳۲**

فهرست شکل ها

عنوان صفحه

شکل۱-۱. شکل ۱-فلوچارت جریان مواد و انرژی خط تولید شماره یک کارخانه شیشه مظروف مورد مطالعه ۸
شکل۱-۲. فلوچارت جریان مواد و انرژی خط تولید شماره دو کارخانه شیشه مظروف مورد مطالعه ۹
شکل۱-۳. تراز انرژی فسیلی مصرفی بخشهای مختلف کارخانه شیشه مورد مطالعه ۱۲
شکل۱-۴. نمایش سانکی دیاگرام کوره های کارخانه شیشه مظروف..... ۱۳
شکل۱-۵. تراز انرژی الکتریکی مصرفی واحد های مختلف کارخانه ۱۵
شکل۲-۱. ارتباط بین کشش، مصرف سوخت و مقادیر متفاوت خرده شیشه ۱۸
شکل۲-۲. تأثیر اکسید لیتیم در کاهش دمای نقطه ذوب ۱۸
شکل۲-۳. تاثیر درصد بکارگیری بوسترهای الکتریکی بر روی کاهش میزان شدت مصرف انرژی الکتریکی ۲۰
شکل۲-۴. مصرف انرژی الکتروموتور فن ها و پمپ ها در سرعت های مختلف موتور..... ۲۹
شکل۲-۵. دیاگرام راندمان موتور بر حسب مقدار توان آن..... ۳۰

energyenergy.ir

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول۱-۱. بخشهای مختلف کارخانه شیشه مظروف مورد مطالعه..... ۷
جدول۱-۲. میزان مصرف انرژی فسیلی کارخانه شیشه مظروف مورد مطالعه..... ۱۰
جدول۱-۳. خلاصه نتایج بالانس انرژی حرارتی کل کارخانه شیشه مظروف مورد مطالعه..... ۱۱
جدول۱-۴. خلاصه اطلاعات تولید و بهره برداری خطوط تولید کارخانه شیشه مربوطه..... ۱۲
جدول۱-۵. مصارف ویژه حرارتی کوره ها و خطوط تولید کارخانه شیشه مورد نظر..... ۱۳
جدول۱-۶. خلاصه نتایج محاسبات مصرف انرژی الکتریکی کلیه نواحی و تجهیزات خطوط تولید..... ۱۴
جدول۲-۱. خلاصه نتایج راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی حرارتی در کارخانه شیشه مورد مطالعه..... ۲۳
جدول۲-۲. نتایج راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی در کارخانه شیشه مورد مطالعه..... ۳۱

energyenergy.ir

چکیده

مقاله حاضر در راستای بررسی نتایج وضعیت مصارف انرژی در یکی از صنایع تولید شیشه مظروف در داخل کشور و ارائه راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت مذکور تهیه شده است. بر مبنای مطالعات و اقدامات صورت گرفته در یک واحد صنعتی تولید شیشه مظروف، تراز انرژی همراه با شدت مصرف انرژی حرارتی و الکتریکی کارخانه به تفکیک محاسبه و ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل در بخش بررسی راهکارهای بهینه سازی انرژی با اعمال کلیه روشهای بهینه سازی انرژی حرارتی، حدود ۷/۳ میلیون متر مکعب گاز طبیعی صرفه جویی سالیانه حاصل می شود که با احتساب قیمت جهانی سوخت، زمان برگشت سرمایه گذاری طرحها حدود دو سال برآورد شده است.

energyenergy.ir

فصل اول

ممیزی مصرف انرژی در صنعت تولید شیشه مظروف

صنعت شیشه در ایران از صنایع قدیمی به شمار می آید و از جمله صنایعی محسوب مـی گـردد کـه در مراحـل مختلف تولید، علاوه بر انرژی الکتریکی از انواع سوختهای فسیلی نیز استفاده می شود. بر مبنای گزارشـی از سـازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور، ۹۴ درصد انرژی مصرفی صنعت شیشـه ایـران را فـرآورده هـای نفتـی و گـاز و ۶ درصد آن را برق تشکیل می دهد. بیشترین شدت مصرف انـرژی در فرآینـد تولیـد شیشـه مربـوط بـه بخـش ذوب و پالایش می باشد. این بخش در حدود ۷۰-۶۰ درصد از کل انرژی مصرفی در صنعت شیشه را به خود اختصـاص مـی دهد. مقایسه مصرف ویژه انرژی ایران با مقادیر جهانی، اهمیت بررسی مصرف سوخت و انرژی و ضرورت بهینه سـازی در صنعت شیشه در داخل کشور را نشان می دهد.

بدین منظور در راستای کاهش مصرف انرژی در صنایع ایران، انجام ممیزی انرژی و استقرار واحد مدیریت انرژی به عنوان راهکاری برای تعیین پتانسیل صرفه جویی انرژی و اجرای طرحهای بهینـه سـازی در واحـدهای صـنعتی از اولویت ویژه ای برخوردار است. در گزارش حاضر، نتایج نهایی مطالعات ممیزی انرژی تفصیلی در یکی از صنایع تولیـد شیشه مظروف، شامل تعیین وضعیت مصارف انرژی تجهیزات ، مصرف ویژه انرژی و پتانسیلهای صـرفه جـویی انـرژی در دسترس همراه با راهکارهای مؤثر بهینه سازی مصرف انرژی و توجیه پذیر از دیـدگاه فنـی و اقتصـادی ارائـه مـی شود.

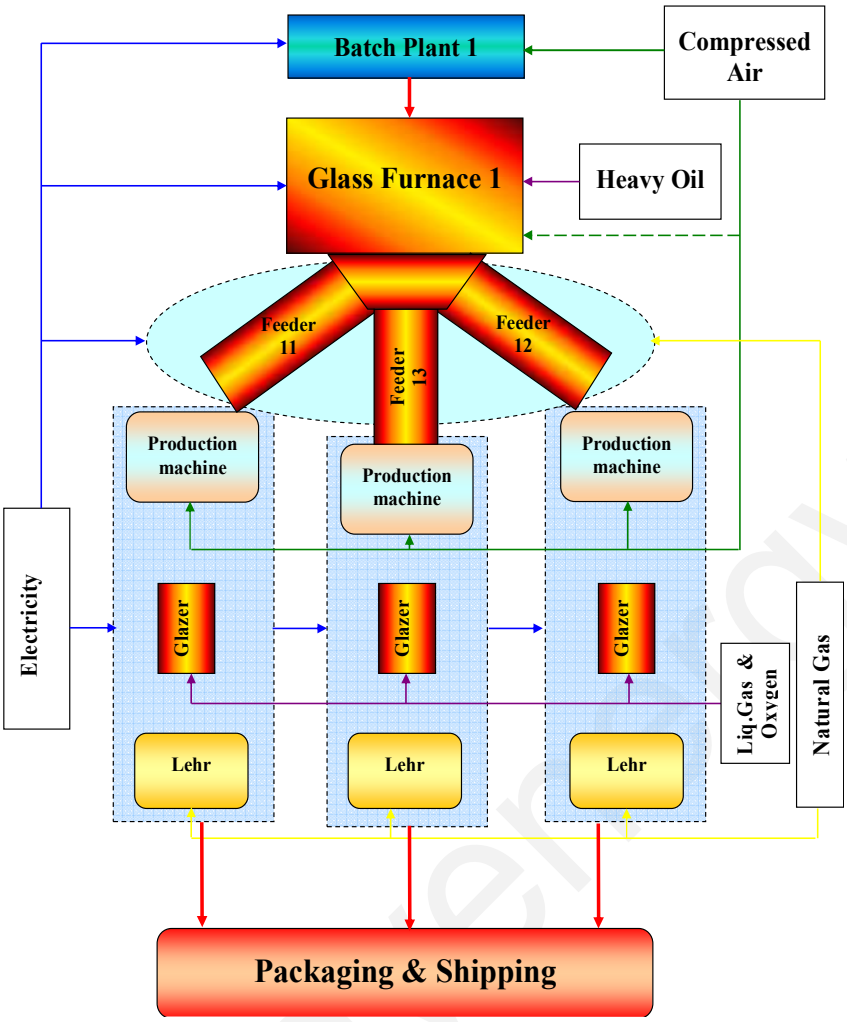
۱-۱. توصیف فرآیند تولید و مشخصات عمومی کارخانه مورد مطالعه

کارخانه شیشه مورد مطالعه با هدف تولید محصولات مظروف شیشه ای نظیر لیوان، نیم لیوان، استکان و سـینی احداث گردید. بر مبنای طراحی و اهداف اولیه مسئولین کارخانـه خـط تولیـد شـماره یـک جهـت تولیـد محصـولات مظروف شیشه سودالایم و خط تولید شماره دو جهت تولید محصولات مظروف شیشه بروسیلیکات (پیرکس) نصـب و راه اندازی شده است. در سالهای اخیر با تغییر مواد اولیـه خـط تولیـد جدیـد از بروسـیلیکات بـه سـودالایم و اعمـال تغییرات جزئی در عملکرد کوره آن (نظیر حذف بوسترهای الکتریکی) کلیه محصولات این کارخانه از شیشه سودالایم می باشد. واحدها و فضاهای نواحی مختلف این کارخانه در جدول۱-۱ بطور مختصر معرفی شده است.

جدول۱-۱. بخشهای مختلف کارخانه شیشه مظروف مورد مطالعه

بخش	تعداد	ساعت کاری در روز	توضیحات
خط تولید شماره یک **ناحیه آماده سازی مواد اولیه** **سالن تولید و بسته بندی**	**۱** **۱**	۸-۶ ۲۴	سالن تولید قدیم دارای یک کوره شیشه، سه فیدر و ماشین پرس و سه عدد گرمخانه است
خط تولید شماره دو **ناحیه آماده سازی مواد اولیه** **سالن تولید و بسته بندی**	**۱** **۱**	۲۴ ۲۴	سالن تولید این خط دارای یک کوره شیشه یک عدد فیدرو ماشین پرس و یک عدد ربات و ماشین پرس و دو عدد گرمخانه است.
بویلرخانه	**۱**	۲۴	دارای دو عدد بویلر است
کمپرسورخانه	**۲**	۲۴	کمپرسورخانه یک دارای ۴ کمپرسورو کمپرسورخانه شماره دو دارای دو عدد کمپرسور است
واحدهای جنبی تأسیسات کارخانه	-	۲۴	شامل مخازن ذخیره اکسیژن ، گاز مایع سوخت، برجهای خنک کن، پمپاژخانه و پستهای برق کارخانه می باشد
ساختمان اداری	**۱**	۸	

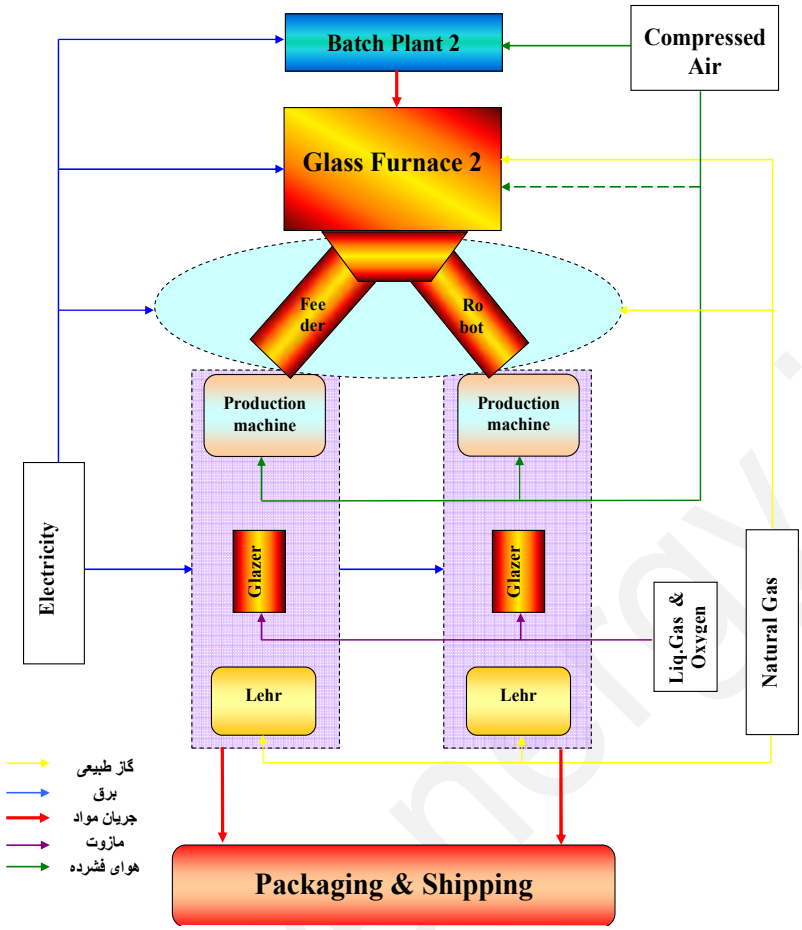
خط تولید شماره یک این کارخانه دارای یک واحد آماده سازی مواد (بچ پلنت)، یک کوره با مصرف سوخت مازوت و ظرفیت حدود (ton/day)۲۵ و سه ماشین تولید، لهر و بسته بندی می باشد. بر مبنای بررسیهای بعمل آمده، کشش واقعی این کوره در شرایط حاضر بر مبنای آمار تولید جمع آوری شده حدود (ton/day) ۲۰ می باشد. این کوره توسط یک رکوپراتور جهت پیشگرم کردن هوای احتراق تا دمای حدود (°C) ۳۸۰ ، گازهای احتراق را تا دمای حدود (°C) ۷۵۰ کاهش می دهد. دمای داخل کوره در بخش ذوب و پالایش کوره به ترتیب حدود (°C) ۱۴۴۵ و (°C) ۱۲۰۰ می باشد. انتهای کوره از طریق سه فیدر به سه خط تولید شامل ماشینهای پرس، گلیزر،گرمخانه و بسته بندی منتهی می شود. نوع سوخت مصرفی در گلیزرگاز مایع و در گرمخانه گاز طبیعی است. در شکل۱-۱ فلوچارت جریان مواد و انرژی خط تولید شماره یک کارخانه شیشه نمایش داده شده است.



شکل۱-۱. شکل ۱-فلوچارت جریان مواد و انرژی خط تولید شماره یک کارخانه شیشه مظروف مورد مطالعه

خط تولید شماره دو کارخانه شیشه مورد نظر دارای یک واحد آماده سازی مواد (بچ پلنت)، یک کوره با ظرفیت حدود (ton/day) ۳۰ و ناحیه ماشینهای تولید و لهر و بسته بندی می باشد. کوره این خط با مصرف سوخت گاز طبیعی به دو خط تولید فیدر و ربات، ماشینهای پرس و گرمخانه منتهی می شود.

لازم به ذکر است که در شرایط حاضر مواد اولیه بچ این خط تولید با آنالیز مواد مشابه خط تولید شماره یک جهت تولید شیشه سودالایم آماده سازی و تهیه می شود. کوره جدید در شرایط حاضر بر مبنای آمار تولید کارخانه دارای کشش واقعی حدود (ton/day) ۲۵ می باشد. در شکل۱-۲ فلوچارت جریانهای مواد و انرژی خط تولید شماره دو کارخانه نمایش داده شده است.



شکل۱-۲. فلوچارت جریان مواد و انرژی خط تولید شماره دو کارخانه شیشه مظروف مورد مطالعه

با توجه به جریانهای مواد و انرژی خطوط تولید کارخانه شیشه مربوطه، ملاحظه می شود که انواع انرژی مصرفی این کارخانه عبارت از گاز طبیعی، مازوت،گاز مایع و انرژی الکتریکی است. همچنین حاملهای انرژی این کارخانه شامل هوای فشرده و آب گرم می باشد که توسط دو واحد کمپرسورخانه و یک واحد بویلرخانه کارخانه تأمین می شود. لازم به ذکر است سیستم گرمایش ساختمان اداری شامل بخاریهای گازسوز و سرمایش آن شامل کولرهای آبی است و آب گرم مصرفی مورد نیاز بخشهای مختلف، نیز توسط بویلرخانه کارخانه تأمین می شود. سالنهای تولید، فاقد سیستم گرمایش بوده و در صورت لزوم از بخاریهای گازسوز جهت دفاتر واقع در سالنهای تولید استفاده شده است.

۱-۲. توصیف مراحل انجام ممیزی انرژی تفصیلی درکارخانه شیشه مظروف

پس از شناسایی فرایند و تجهیزات عمده مصرف کننده انرژی حرارتی و الکتریکی، جهت تفکیک مصارف انرژی هر بخش از کارخانه، اندازه گیری پارامترهای حرارتی و الکتریکی انجام گرفت. لازم به ذکر است که طی دوره اندازه گیری، آمار تولید خطوط تولید کارخانه به تفکیک، جمع آوری و شرایط بهره برداری کارخانه از نظر وضعیت توقفات

ماشینهای تولید و میزان ضایعات مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه برمبنای اندازه گیری های صورت گرفته ضمن انجام محاسبات انرژی حرارتی هر بخش، نتایج ممیزی انرژی حرارتی و الکتریکی کارخانه ارائه می شود.

۱-۳. ممیزی و بالانس انرژی حرارتی کل کارخانه

همانطوریکه قبلاً اشاره شد سوختهای مصرفی کارخانه شیشه مربوطه شامل سوخت مایع مازوت ، گاز مایع و گاز طبیعی است که برمبنای اندازه گیری صورت گرفته خلاصه نتایج حاصل در خصوص میزان مصرف انرژی فسیلی کل کارخانه در دوره اندازه گیری در جدول۱-۲ ارائه شده است.

جدول۱-۲. میزان مصرف انرژی فسیلی کارخانه شیشه مظروف مورد مطالعه

نوع سوخت	میزان مصرف اندازه گیری شده	میزان مصرف معادل گاز طبیعی (Nm^3/hr)	درصد سهم مصرف * هریک از انواع سوخت
مازوت (lit/hr)	360.4	389007	25
گاز مایع (kg/hr)	172.5	213.66	13.80
گاز طبیعی (Nm^3/hr)	951.57	951.57	61.2
مجموع	-	1554.3	100

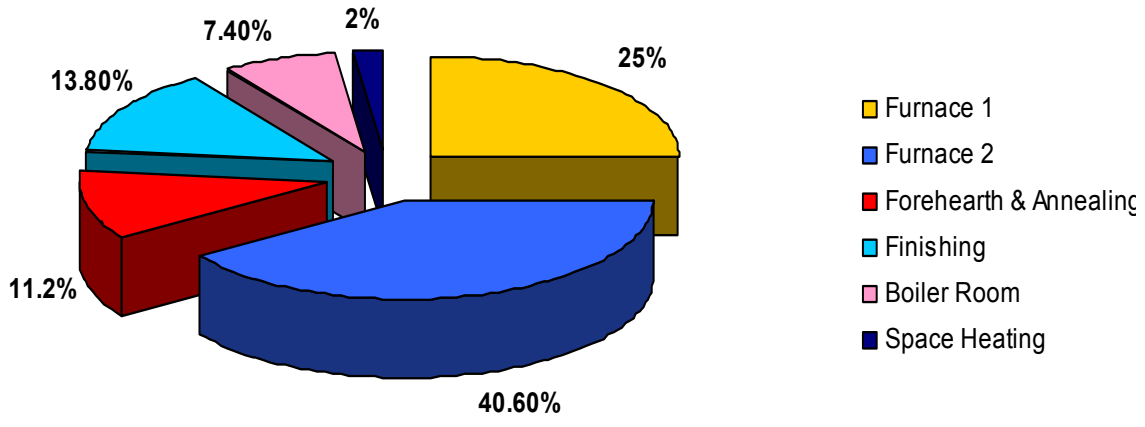
* درصد سهم مصرف هریک از انواع سوخت نسبت به مصرف کل انرژی فسیلی محاسبه شده است.

باتوجه به تفکیک صورت گرفته در داده برداریهای مصارف سوخت کارخانه طی دوره اندازه گیری و همچنین با انجام محاسبات بویلرخانه، مصارف سوخت فسیلی هر بخش قابل تعیین شده که نتایج آن در جدول۱-۳ ارائه شده است.

جدول۱-۳. خلاصه نتایج بالانس انرژی حرارتی کل کارخانه شیشه مظروف مورد مطالعه

ردیف	نام تجهیز	نوع سوخت مصرفی	میزان مصرف سوخت	مصرف سوخت معادل گاز طبیعی	
				(Nm^3/hr)	(٪)
I_1	**کوره ذوب شماره ۱**	مازوت	360.4 (lit/hr)	389.07	25
I_2	**کوره ذوب شماره ۲**	گاز طبیعی	630.74 (Nm^3/hr)	630.74	40.6
I_3	**بویلر آب گرم**	گاز طبیعی	115 (Nm^3/hr)	115	7.4
I_4	**گلیزرهای دو واحد**	گاز مایع	172.5 (kg/hr)	213.66	13.8
	مجموع	-	-	1348.47	86.8
I	**مصرف انرژی فسیلی کل کارخانه**			1554.3	100
I_5	**مصارف گرمایی محیط (بخاریهای گازسوز)** $I_5 = 0.02 \times I$			31.09	2
I_6	**گرمخانه ها و مشعلهای فورهارث** $I_6 = I - (I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5)$			174.74	11.2

برمبنای نتایج ارائه شده تراز انرژی حرارتی بخشهای مختلف کارخانه شیشه مربوطه در شکل۱-۴ ارائه شده است. همانطوریکه ملاحظه می شود تنها مجموع کوره های ذوب کارخانه حدود ۶۵ درصد کل مصرف انرژی فسیلی کارخانه را به خود اختصاص می دهند. این موضوع بیانگر آن است که بررسی و آنالیز دقیق تر کوره ها از دیدگاه انرژی و بهینه سازی مصرف آن بسیار حائز اهمیت بوده که در ادامه به آن پرداخته شده است. از سوی دیگر با توجه به نتایج ارائه شده در جدول فوق چنین برآورد می شود که توجه و مدیریت در استفاده برخی از تجهیزات حرارتی به ظاهر کم اهمیت نظیر مشعلهای گلیزر که حدود ۱۴ درصد از کل مصرف انرژی فسیلی کارخانه را به خود اختصاص می دهند، درکاهش مصرف و هزینه های انرژی مؤثر می باشد.



شکل۱-۳. تراز انرژی فسیلی مصرفی بخشهای مختلف کارخانه شیشه مورد مطالعه

در ادامه با توجه به آمار تولید همان دوره و نتایج حاصل از بالانس انرژی، محاسبات مصرف ویژه انرژی حرارتی کوره های کارخانه شیشه مورد نظر به ازای واحد تولید مذاب (کشش واقعی کوره) و همچنین مصرف ویژه انرژی حرارتی هر خط تولید کارخانه به ازای واحد تولید محصول نهایی محاسبه و ارائه می شود. در این راستا به منظور جمع آوری و پردازش اطلاعات تولید فرمهای محاسباتی در محیط Excel تهیه شده که نمونه آن در جدول۱-۴ آورده شده است.

جدول۱-۴. خلاصه اطلاعات تولید و بهره برداری خطوط تولید کارخانه شیشه مربوطه

تاریخ	نام واحد	کشش کوره (ton/day)	تولید ماشینهای پرس (ton/day)	تولید واحد بسته بندی (ton/day)	ضایعات از کوره تا پرس (ton/day)	ضایعات بعد از ماشین پرس (ton/day)	ضایعات کل سالن تولید (ton/day)
84/9/26	سالن تولید یک	18.83520	16.91520	15.22368	1.92000	1.69152	3.61152
	سالن تولید دو	23.41376	14.77384	0.0	8.63993	14.77384	23.41377
	مجموع کل کارخانه	42.24896	31.68904	15.22368	10.55993	16.46536	27.02529
84/9/27	سالن تولید یک	19.18800	16.59307	14.93376	2.59493	1.65931	4.25424
	سالن تولید دو	23.99773	19.56201	0.0	4.43573	19.56201	23.99774
	مجموع کل کارخانه	43.18573	36.15508	14.93376	7.03066	21.22132	28.25198
میانگین		42.71735	33.92206	15.07872	8.79530	18.84334	27.63864

توسط جداول محاسباتی تهیه شده برمبنای اطلاعات خام موجود، کشش واقعی کوره، میزان ضایعات قبل و بعد از پرس و میزان توقفات تولید در دوره های زمانی مختلف، توسط جداول محاسباتی تهیه شده برمبنای اطلاعات خام موجود، قابل محاسبه است و لذا واحد مدیریت انرژی کارخانه را قادر می سازد تا شرایط عملکرد واحد را از دیدگاه انرژی جهت تصمیم گیری مناسب و ارائه گزارش به واحدهای تولید و بهره برداری بررسی نماید.

برمبنای مطالعات انجام شده، تعداد و ظرفیت تجهیزات نصب شده، و با توجه به اطلاعات جدول (۳) مصرف انرژی هر سالن تولید در دوره اندازه گیری به ترتیب زیر محاسبه می شود. بر مبنای نتایج حاصل مصرف ویژه حرارتی کوره ها و سالن تولید محاسبه شده و خلاصه نتایج حاصل در جدول۱-۵ ارائه شده است.

مصرف انرژی فسیلی سالن تولید لرکرک =389.07(کوره 1) + 115(گرمایش مازوت) +142.44(گلیزرها) + 116.5(گرمخانه و فورهارث) =763.01(Nm^3/hr)

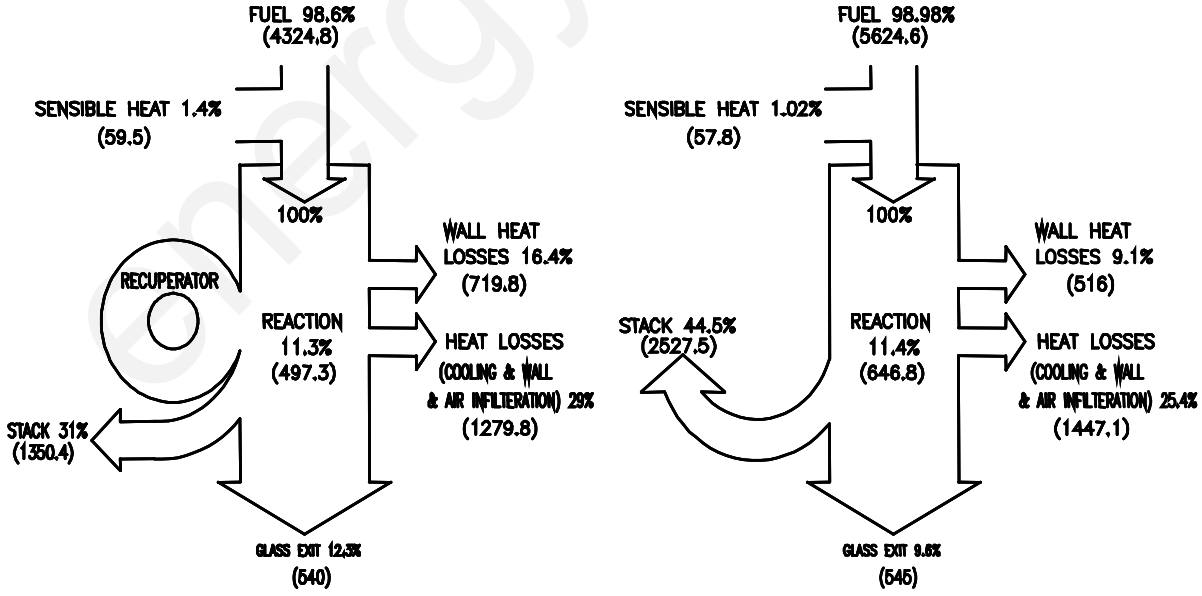
مصرف انرژی فسیلی سالن تولید لرکس =630.74(2 کوره) + 0(گرمایش مازوت) + 71.22(گلیزرها) + 58.25(گرمخانه و فورهارث)=760.21(Nm^3/hr)

جدول۱-۵. مصارف ویژه حرارتی کوره ها و خطوط تولید کارخانه شیشه مورد نظر

	کشش کوره (Ton/day)	مصرف ویژه حرارتی کوره (Kcal/Kg.MG)	تولید واحد بسته بندی (Ton/day)	مصرف ویژه حرارتی سالن تولید (Kcal/Kg.pr)
کوره ۱	19.0	4,324.8	15.1	10,672
کوره ۲	23.7	5,624.6	15.4	10,426
میانگین	21.4	4,975	15.3	10,549

۱-۴. راندمان و مصرف ویژه حرارتی کوره های ذوب کارخانه شیشه مورد مطالعه

بر مبنای نتایج حاصل از بالانس انرژی کوره ها ملاحظه شد، عمده تلفات انرژی حرارتی از طریق گازهای دودکش و همچنین تلفات حرارتی قابل ملاحظه ای از بخشهای مختلف نظیر جداره ها، سیستم کولینگ و نشتی هوا به داخل کوره صورت می گیرد. به منظور مقایسه نتایج بالانس انرژی دو کوره سانگی دیاگرام هریک از کوره های کارخانه در شکل۱-۴ ترسیم شده است.



شکل۱-۴. نمایش سانکی دیاگرام کوره های کارخانه شیشه مظروف (اعداد داخل پرانتز برحسب Kcal/kg.MG است)

بطور کلی راندمان کوره ها در صنعت شیشه براساس نسبت مجموع میزان گرمای واکنش شیمیایی مورد نیاز جهت تبدیل مواد بچ به شیشه و میزان گرمای لازم جهت رساندن دمای مذاب به دمای مطلوب، به کل انرژی حرارتی ورودی کوره تعریف شده و برحسب درصد بیان می شود. براین اساس راندمان کوره واحدهای یک و دو و با توجه به نتایج بالانس انرژی به طریقه زیر محاسبه می شود.

$$\eta = \frac{E_{gl} + E_R}{E_f} \times 100$$

که E_f انرژی حرارتی سوخت وE_{gl} و E_R به ترتیب محتوی انرژی حرارتی مذاب خروجی و گرمای شیمیایی واکنشهای درون کوره است.

$$\eta_1 = 12.3 + 11.3 = 23.6\%$$
$$\eta_2 = 9 + 11.4 = 21\%$$

ملاحظه می شود که راندمان کوره یک و دو به ترتیب حدود ۲۴ و ۲۱ درصد بدست می آید. این در حالی است که راندمان کوره های شیشه در برخی مراجع تا حدود ۴۴ درصد نیز اشاره شده است. [۱]

۱-۵. نتایج ممیزی انرژی الکتریکی تفصیلی کارخانه

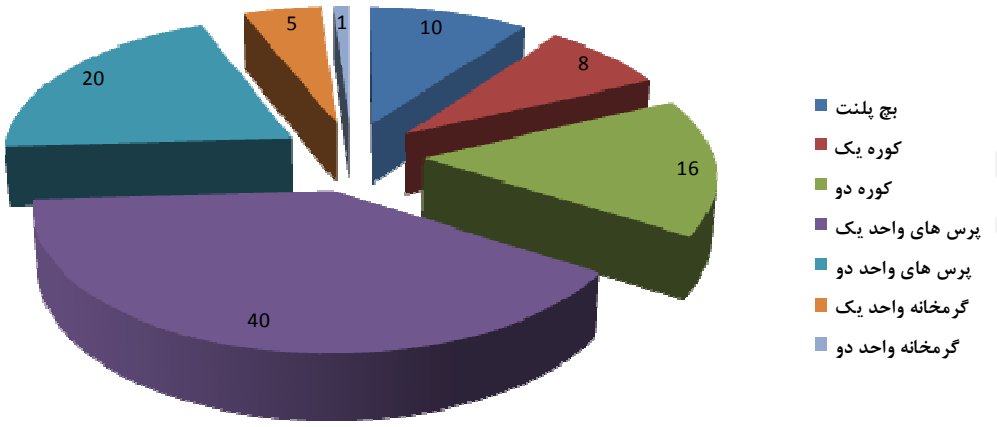
همانطوری که ملاحظه شد بر مبنای محاسبات انرژی الکتریکی وتفکیک روی مصرف هر بخش ، سهم مصرف انرژی الکتریکی و پتانسیلهای صرفه جویی انرژی الکتریکی قابل شناسایی است. برای این منظور خلاصه نتایج محاسبات مصرف انرژی الکتریکی کلیه نواحی وتجهیزات خطوط تولید به ازای واحد تولید همان ناحیه درجدول۱-۶ ارائه شده است.

جدول۱-۶. خلاصه نتایج محاسبات مصرف انرژی الکتریکی کلیه نواحی و تجهیزات خطوط تولید

نام دپارتمان	*kwh/day*	*kwh/ton*	درصد ٪
نواحی بچ پلنت واحدها	۱۹۲۱/۳۴	۳۷/۱۴	۱۰
کوره I	۱۵۲۰/۹	۸۰/۰۵	۸
کوره II	۳۱۱۴/۰۴	۱۳۱/۵	۱۶
پرس های واحد دو	۳۶۶۲/۸	۲۱۳/۳۲	۲۰
پرس های واحد یک	۷۴۴۲/۹	۴۴۴/۳	۴۰
گرمخانه واحد دو	۲۷۴	–	۱
گرمخانه واحد یک	۱۰۲۸/۹	۶۸/۲	۵
جمع کل	۱۸۹۶۴/۸	–	٪۱۰۰

*بدلیل تغییر قالب و مشکلات فنی ماشین های تولید طی سه روزاندازه گیری کلیه تولیدات جزء ضایعات قرار گرفته ولذا تاثرتولید محصول نهایی صفروامکان محاسبه مصرف ویژه انرژی الکتریکی در این ناحیه وجود نداشت .

برمبنای اطلاعات ارائه شده در جدول فوق تراز انرژی الکتریکی مصرفی واحدهای مختلف کارخانه شیشه مورد نظر قابل ترسیم بوده که نتایج آن در شکل۱-۵ آورده شده است .



شکل۱-۵. تراز انرژی الکتریکی مصرفی واحد های مختلف کارخانه

شایان ذکر است به دلیل عمده وجود المنت های الکتریکی اطراف خط تولید ربات کوره واحد دو مصرف ویژه انرژی الکتریکی این کوره نسبت به کوره واحد یک حدود ۶۰ درصد افزایش یافته است . از سوی دیگر با توجه به نتایج ممیزی انرژی تفصیلی انرژی الکتریکی ملاحظه می شود که مصرف ویژه انرژی الکتریکی پرس های واحد یک حدود دوبرابر واحد دو است ، که بر مبنای بررسی های بعمل آمده ، ازدلایل عمده این موضوع ، عدم وجود تعمیرات منظم سیستم های کنترل روی کمپرسورهای واحد یک و وجود نشتی های بیش از حد در این واحد می باشد. همچنین بر مبنای بازدیدهای بعمل آمده از سایت کارخانه ملاحظه شده است که برای خنک کاری وتمیز کاری و نظافت برخی از قسمت ها از هوای فشرده استفاده می شود. در مجموع عوامل فوق سبب کارکرد مداوم وافزایش مصرف انرژی الکتریکی کمپرسورهای واحد یک شده است .

فصل دوم

راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی در کارخانه شیشه

برمبنای مطالعات صورت گرفته و بررسیهای انجام شده راهکارهای اجرائی بهینه سازی مصرف انـرژی حرارتـی و الکتریکی جهت خطوط تولید کارخانه شیشه مورد نظر بررسی و ارائه شده است.

۲-۱. راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی حرارتی

بر اساس سانگی دیاگرامهای شکل۳ ملاحظه می شود که شدت مصرف انرژی حرارتـی کـوره یـک و دو کارخانـه شیشه مظروف مورد مطالعه به ترتیب معادل ۴۳۲۴/۸ و ۵۶۲۴/۷۶($kcal/kg\cdot MG$) می باشد، این در حـالی اسـت که امروزه مصرف ویژه حرارتی در کوره هـای مـدرن ذوب و پـالایش شیشـه بـه کمتـر از ۱۰۰۰ ($kcal/kg\cdot MG$) کاهش یافته است.[۲] البته لازم به ذکر است که مصرف ویژه حرارتی کوره های شیشه تابع پارامترهای بسیاری نظیـر کشش واقعی ، ظرفیت، طول عمر و نوع کوره می باشد. بر مبنای بررسی های بعمل آمده در کارخانه شیشـه مربوطـه از عمده عوامل افزایش مصرف ویژه کوره ها را به شرح زیر می توان برشمرد.

- فرسودگی بیش از حد کوره واحد یک و در نتیجه افت کشش کوره
- حذف رکوپراتور کوره واحد دو از شرایط عملکرد کوره
- تلفات حرارتی بسیار زیاد ناشی از جداره ها به ویژه در کوره واحد یک
- عدم وجود سیستم کنترل مناسب برای احتراق و تأمین شرایط دمایی مطلوب داخل کوره
- وجود رسوب بیش از حد روی لوله های رکوپراتور (واحد یک) و کاهش کارایی آن و ...

بطور کلی عمده راهکارهای بهینه سازی مصرف انـرژی قابـل بررسـی در صـنعت تولیـد شیشـه بـه شـرح ذیـل می باشند.

- کاهش توقفات و ضایعات تولید در کاهش مصرف ویژه حرارتی خط تولید
- دانه بندی مناسب مواد اولیه در مصرف ویژه حرارتی کوره
- استفاده از خرده شیشه و تعیین درصد بهینه آن در مواد اولیه جهت کاهش مصرف ویژه حرارتی کوره
- استفاده از اکسید لیتیم (Li_2O) در کاهش مصرف ویژه حرارتی کوره
- استفاده از گرمایشهای الکتریکی (Electrical Booster) در افزایش کشش کوره

- استفاده از سیستم پیشگرمکن مواد بچ با گازهای خروجی دودکش
- استفاده از گازهای خروجی دودکش جهت پیشگرم کردن هوای احتراق
- استفاده از گازهای خروجی دودکش در تأمین آب گرم مورد نیاز کارخانه
- استفاده از Closed Doghouse

تعدادی از راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی حرارتی که در بالا ذکر شد به طور مختصر در زیر توضیح داده می‌شود:

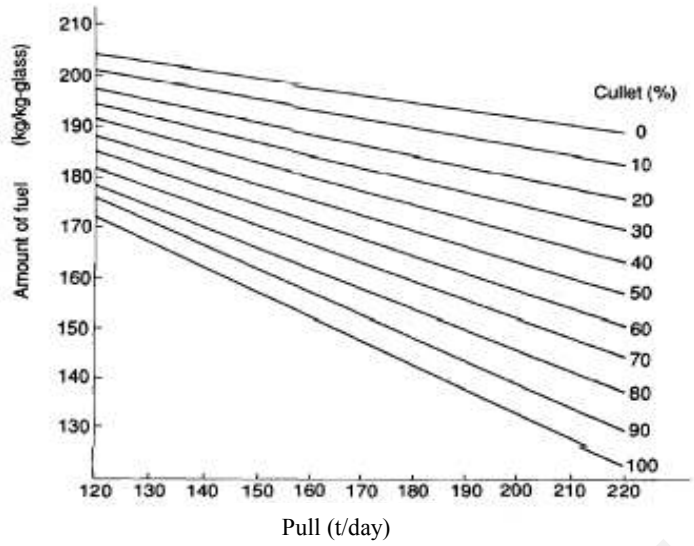
۲-۱-۱. تأثیر دانه بندی مواد اولیه در مصرف انرژی حرارتی کوره

دانه بندی و اندازه دانه مواد خام موجود در Batch در فرایند ذوب و مدت زمان آن مؤثراند. به طور کلی توصیه می‌شود اندازه دانه تمام مواد Batch یکسان باشد تا تمایل به انجام واکنش در آن به طور یکنواخت توزیع شود. از نظر سینیتیک واکنش‌ها نیز هرچقدر اندازه دانه ها ریزتر باشد، سرعت انجام واکنش و ذوب افزایش می یابد.

برای مواد خام مصرفی در تولید شیشه های سودالایم ،ترکیب یکنواخت و همگن با اندازه دانه $30-100$ *mesh* توصیه می شود، که با توجه به امکانات کارخانه، هرچقدر مش بندی ریزتر شود، (به 100 *mesh* نزدیک تر باشد) راندمان ذوب افزایش می یابد[۳]. بدیهی است تأثیر کمی این دستورالعمل در افزایش راندمان ذوب وکاهش مصرف سوخت ، پس از یک دوره رعایت آن و انجام تست، قابل بررسی و ارزیابی می باشد.

۲-۱-۲. بررسی تأثیر خرده شیشه در مصرف انرژی حرارتی کوره

از آنجایی که خرده شیشه ها در دمایی کمتر از مواد بچ ذوب می شوند در طی فرآیند ذوب، انرژی کمتری نیاز دارند و لذا باعث تسهیل و کاهش مدت زمان می گردند. مطالعات نشان داده است که هر ۱۰٪ افزایش در میزان خرده شیشه باعث کاهش مصرف انرژی تا حد ۲٪ خواهد گردید[۴]. کاهش مصرف سوخت در کوره نهایتاً منجر به کاهش میزان ترکیبات نیتروژنی تولید شده توسط کوره نیز می گردد. همانطورکه در شکل۲-۱ نشان داده شده است، استفاده از خرده شیشه در بار مواد اولیه تا چه حد موجب صرفه جویی در مصرف انرژی می شود. بعنوان نمونه در یک کوره با تولید روزانه ۱۵۰ton، در شرایطی که اصلاً خرده شیشه ای استفاده نمی شود، سوخت مورد نیاز ۲۰۰kg /kg-glass سوخت فسیلی مایع است در حالی که با حضور ۵۰٪ خرده شیشه مصرف سوخت تا ۱۸۰kg /kg-glass کاهش می یابد.

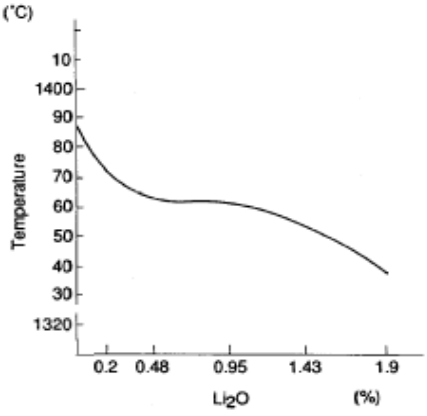


شکل۲-۱. ارتباط بین کشش، مصرف سوخت و مقادیر متفاوت خرده شیشه [۴]

مطالعات نشان می دهند اندازه دانه خرده شیشه بهتر است درشت تر از اندازه دانه مواد خام باشد تا عوامل قلیایی موجود در بار مواد خام کمتر به انجام واکنش با خرده شیشه ترغیب شوند. در نهایت بکارگیری مقادیر بیشتر خرده شیشه تا جایی که موجب تغییر رنگ و خواص شیشه نگردد بلامانع است و باعث افزایش راندمان کوره می‌شود.

۲-۱-۳. استفاده از اکسیدلیتیم (Li_2o) در مواد اولیه

اکسید لیتیم به شکل کانه معدنی اسپودامین با ترکیب $Li_2O - Al_2O_3 - SiO_2$ بیش از ۲۰ سال است که به عنوان یک فلاکس قدرتمند در صنعت شیشه و سرامیک مورد استفاده قرار می گیرد. مطالعات نشان داده است که استفاده از اکسید لیتیم تا ۱٪ وزنی در بار مواد اولیه باعث کاهش نقطه ذوب به میزان۶۰°C می گردد[۵]. برای نمونه، تأثیر اضافه کردن Li_2O به مذابی با ترکیب مواد $Na_2o - CaO - SiO_2$ در شکل۲-۲ نشان داده شده است[۶].



شکل۲-۲. تأثیر اکسید لیتیم در کاهش دمای نقطه ذوب [۶]

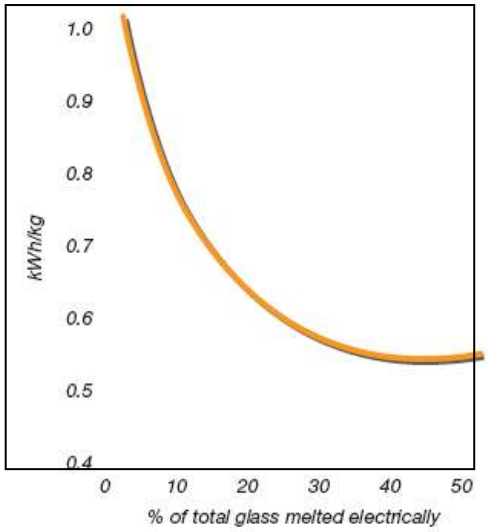
مزایای استفاده از اسپودامین به شرح ذیل می باشد:

- کاهش نقطه ذوب و ویسکوزیته مذاب
- کاهش زمان گاز زدایی و افزایش کشش کوره
- کاهش ضریب انبساط حرارتی و افزایش دوام و مقاومت شیمیایی
- بهبود کیفیت محصول (درخشش)
- افزایش طول عمر کوره

مکانیزم کاهش ویسکوزیته توسط لیتیم به این صورت است که چون Li^+ شعاع یونی کمتر و پتانسیل یونی بیشتری نسبت به K^+/Na^+ دارد پیوند Si-O-Si را تضعیف می کند و در نتیجه ساختار شیشه از بین می رود و بنابراین منجر به کاهش ویسکوزیته می گردد و بدین ترتیب نقطه ذوب کاهش می یابد.

۲-۱-۴. بررسی تأثیر کاربرد تقویت کننده های الکتریکی در افزایش کشش کوره

تقویت کننده‌های الکتریکی به منظور افزایش حرارت تولیدی در کوره های با سوخت گاز طبیعی از طریق عبور جریان الکتریکی از مذاب استفاده می شوند. این تقویت کننده‌ها با الکترودهایی از جنس مولیبدن در کف و یا دیواره کوره قرار می گیرند، اغلب اوقات تقویت کننده ها در مواقعی که نیاز به افزایش تناژ تولید بدون افزایش نسبت سوخت و هوا یا اعمال تغییرات عمده در کوره می باشد به کار می رود. تقویت کننده های الکتریکی عموماً ۱۰ تا ۱۵ درصد انرژی مورد نیاز کوره را تأمین می کنند. به عنوان مثال برای یک کوره با راندمان ۲۵ درصد و توان تولید ۱۰۰ تن شیشه در روز، با به کارگیری تقویت کننده های الکتریکی راندمان به ۳۵ درصد و توان تولید به ۱۶۰ تن در روز افزایش می یابد. جریان ایجاد شده توسط تقویت کننده ها علاوه بر انتقال حرارت، نقش موثری هم در همگن کردن ذوب بر عهده دارد. نکته قابل توجه در تقویت کننده های الکتریکی فرسایش الکترودهای مولیبدن توسط مذاب به مرور زمان می باشد. در تولید بعضی محصولات خاص ممکن است حضور مقادیری مولیبدن در مذاب اثر فرسایش را تقویت کند. در شکل۲-۳ تاثیر درصد بکارگیری بوسترهای الکتریکی بر روی افزایش تناژ تولید و درنتیجه کاهش میزان شدت مصرف انرژی الکتریکی شکل۲-۳ نمایش داده شده است.



شکل۲-۳. تاثیر درصد بکارگیری بوسترهای الکتریکی بر روی کاهش میزان شدت مصرف انرژی الکتریکی

۳-۲-۶-استفاده از سیستم پیش گرم مواد اولیه و خرده شیشه با استفاده از گاز خروجی دودکش

در فرایند بررسی شدت مصرف انرژی در تولید شیشه، مشخص گردیده است که انرژی حرارتی قابل ملاحظه ای از طریق گازهای خروجی به هدر می رود که می تواند جهت پیش گرم بچ و خرده شیشه مورد استفاده قرار گیرد. اساس کار تکنولوژی پیش گرم، انتقال حرارت از گازهای خروجی کوره به بچ و خرده شیشه و افزایش تولید کوره می‌باشد. هنگامی که یک راهکار پیش‌گرم خاص جهت اجرایی کردن در کوره های ذوب شیشه معرفی می گردد می‌بایستی به نکات زیر توجه کرد:

- مجموعه مورد نظر جهت پیش گرم بچ، خرده شیشه یا ترکیبی از هر دو است. پیش گرم بچ یا خرده شیشه به طور مجزا، مزایای اقتصادی طرح را کاسته و سیستمهای جابجایی مواد را پیچیده می کند.

در مجموعه پیش گرم مواد اولیه درصد خرده شیشه موجود رد بچ بسیار مهم است. کارخانجات تولید شیشه اغلب نیاز دارند که قابلیت تغییر در نسبت (خرده شیشه/ بچ) را داشته باشند تا احتیاجات مورد نیاز جهت تعویض نوع محصولات تولیدی را بر آورده کنند.

به طور کلی در مورد پیش گرم خرده شیشه می بایستی نکات زیر را مد نظر قرار داد:

- مطالعات نشان داده است جهت دستیابی به یک صرفه جویی قابل توجه، خرده شیشه باید حداقل تا دمای ۳۴۰°C و حداکثر تا دمای ۵۵۰°C پیش گرم شود. اگر دما از این حد تجاوز کند، خرده شیشه ها شروع به خمیری شدن می کنند و در انتقال آنها ایجاد مشکل می شود.

- در صورتی که انتقال حرارت به خرده شیشه به طور مستقیم صورت گیرد، اندازه ایدهآل برای خرده شیشه بین ۰/۳-۲/۵ سانتیمتر است و اگر این دانه بندی از ۰/۳ سانتیمتر ریزتر گردد،باعث کاهش تخلخل و در نتیجه کاهش سرعت خروج گاز و افزایش فشار (ایجاد فشار مثبت) در کوره می گردد.

عملیات پیش گرم را می توان از دو طریق انتقال حرارت مستقیم و غیر مستقیم گازهای خروجی دودکش به مواد اولیه انجام داد.

در حال حاضر دست کم ۷ سیستم متفاوت پیش گرم جهت صرفه جویی در مصرف انرژی در سطح دنیا مورد استفاده قرار می گیرند که به اختصار به ۳ مورد آن اشاره می شود[۶]:

۱) سیستم پیش گرم بچ و خرده شیشه پیشنهادی توسط شرکت ZIPPE آلمان

این سیستم یک مبدل حرارتی صفحه است که قابلیت پیش گرم مواد اولیه تا ۳۰۰ °C را دارد که با بکار گیری آن انرژی مصرفی ذوب تا ۲۰٪ کاهش می یابد. در این روش گازهای خروجی و خرده شیشه توسط صفحات فولادی از یکدیگر جدا می گردند بطوریکه مواد بچ براساس جاذبه وزنی به سمت پایی« حرکت کرده و گاز دودکش از طریق تونل‌هایی از پایین به سمت بالا حرکت می کنند. گازهای خروجی بعد از عبور از این سیستم به طور متوسط تا ۳۵۰°C خنک می شوند. بخش عمده انتقال حرارت از طریق مکانیزم جابجایی صورت می گیرد و مواد بعد از پیش گرم به سرعت در کوره شارژ می شوند تا افت حرارت به حداقل برسد. ویژگی اصلی این سیستم عدم تماس مستقیم بین بار مواد اولیه و گاز خروجی دودکش است که باعث جلوگیری از آلودگی مذاب می گردد.

مزایای استفاده از سیستم پیش گرم پیشنهادی ZIPPE عبارتند از:

با استفاده از سیستم پیش گرم غیر مستقیم از هر گونه تماس بدین مواد مذاب و گازهای خروجی دودکش جلوگیری می گردد که در مقایسه با سیستم پیش گرم مستقیم باعث عدم آلودگی مذاب می گردد.

- با بکارگیری سیستم تمیز کاری مافوق صوت انجام عملیات تعمیر و نگهداری به حداقل می رسد.
- صرفه جویی انرژی اولیه بین ۱۵ تا ۲۰ درصد است.
- با توجه به حداقل فضای مورد نیاز این سیستم، قابلیت نصب در هر کوره ذوبی را دارا است.
- افزایش توان تولید کوره تقریباً بین ۱۰ تا ۱۵ درصد در حالی که تغییری در عمر کوره ایجاد نخواهد کرد یا، افزایش عمر کوره به طور تقریبی تا ۱ سال در حالی که توان کوره ثابت باقی خواهد ماند. البته شایان ذکر است

این روش دارای محدودیتهایی نیز می باشد که در ادامه به برخی از آنها اشاره می شود.

۱- به منظور کاهش اتلافات حرارتی از مواد پیش گرم شده، می بایستی حتی الامکان پیش گرم کننده به dog house نزدیک باشد. ساده ترین راه این است که به طور مستقیم بالای قسمت شارژ مواد قرار گیرد.

۲- به منظور توجیه پذیر بودن طرح از لحاظ اقتصادی دمای گاز دودکش در دسترس می بایستی حداقل بین ۴۰۰ تا ۴۵۰°C باشد و بنابراین کاهش دمای گاز تا حد ۲۵۰°C – ۲۰۰ امکان پذیر است.

۳- دمای گاز ورودی از طریق دودکش نباید از ۶۰۰°C تجاوز کند.

۴- تا کنون تمامی آزمایشات بر اساس حضور ۵۰ ٪ خرده شیشه در ترکیب بچ بوده است. جهت استفاده در سایر نسبتهای خرده شیشه ابتدا باید بررسی خاص صورت گیرد.

۲) سیستم پیش گرم بچ و خرده شیشه به روش Raining Bed (GRI)

این سیستم از یک راکتور استوانه‌ای همراه با یک جدا کننده سیکلی تشکیل شده است و انتقال حرارت در آن به واسطه جریان متقابل بار و گاز انجام می پذیرد. در این سیستم بار مواد اولیه و خرده شیشه از بالا و جریان هوای گرم از پائین وارد راکتور می شود و به سمت بالا حرکت می کند. در مسیر صعود از موانعی برای مغشوش کردن جریان و افزایش سطح و زمان تماس مواد جامد با گاز استفاده شده است.

ویژگی مهم این روش، تماس مستقیم بین ذرات جامد و گازهای خروجی دودکش است که باعث افزایش راندمان انتقال حرارت می گردد تا جائیکه امکان پیش گرم مواد تا ۵۳۸ درجه سانتیگراد وجود دارد.

البته این ویژگی در مواردی که گاز خروجی دودکش آلوده باشد باعث آلودگی ذوب هم می گردد. نتیجه آزمایشات انجام شده بر روی این سیستم برای شیشه های سودالایم، نشانگر کاهش میزان انرژی مورد نیاز ذوب به مقدار $۱۲۶۰۰۰ \frac{k\,cal}{ton}$ بوده است.

۳) سیستم پیش گرم بچ و خرده شیشه به روش Nienburger Glas

یکی از موفق ترین سیستمهای پیش گرم است که در آن گازهای خروجی و ترکیبی از بچ و خرده شیشه درون یک استوانه قیف مانند کاملاً با همدیگر در تماس مستقیم هستند. در ۵ مورد نصب این سیستم در کارخانجات شیشه آلمان، صرفه جویی انرژی کوره بیش از ۲۹ درصد گزارش شده است.

۲-۱-۵. بررسی طرح استفاده از Closed Doghouse

طی سالهای متمادی امکان استفاده از Closed Doghouse در کوره های مداوم ذوب شیشه مورد بررسی قرار گرفته است. این تلاشها در راستای کاهش مصرف انرژی و کاهش میزان گرد و غبار به خصوص در کوره های با مشعل اکسیژن انجام گرفته است. به عنوان مثال شرکت Zippe یک سیستم شارژ مواد به نام ECD را طراحی کرده است که با موفقیت روی کوره های ذوب شیشه نصب شده است که حداکثر توان ذوب ۳۰۰ ton/day و حداقل ۱۰۰ton/day را تأمین کرده است.

سیستم شارژ شامل یک قیف تغذیه کننده همراه با یک سیم حرارتی، یک اهرم فشار دهنده، دستگاه مفصل گرداننده و یک میز تغذیه است. جریان مواد بچ از طریق یک مخروط تغذیه به طور مستقیم وارد doghouse شده و سپس توسط نیروی پارو به داخل کوره هدایت می شود. اهرم پارویی شکل یک موتور چرخ دنده ای دارد و قابلیت تنظیم سرعت شارژ پیوسته مواد را دارد.

در مجموع می توان گفت با استفاده از این سیستم به مزایای زیر دست یافت:

- اتلافات حرارتی ناشی از تشعشع کاهش می یابد.
- مذاب با آلودگی کمتر قابل دستیابی است.
- توزیع مواد بچ بهبود می یابد و نهایتاً از میزان فراریت ذرات کوچک در هنگام شارژ مواد جلوگیری می شود.

۲-۲. بررسی تعدادی از راهکارهای بهینه‌سازی حرارتی در کارخانه مورد نظر

با توجه به شرایط خطوط تولید کارخانه و وضعیت تجهیزات موجود، عمده راهکارهای بهینه سازی انرژی در دو بخش راهکارهای کم هزینه و یا بدون هزینه و راهکارهای پرهزینه دسته بندی شده است. از سوی دیگر باید توجه داشت که کارخانه در اجرای برخی از راهکارهای پرهزینه نظیر تعویض عایق و نسوز یکی از کوره ها، به دلیل اتمام دوره عمر کوره اجبار و الزام خواهد داشت. خلاصه نتایج راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی حرارتی در کارخانه شیشه مورد نظر در جدول۲-۱ ارائه شده است.

جدول۲-۱. خلاصه نتایج راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی حرارتی در کارخانه شیشه مورد مطالعه

نوع راهکار	صرفه جویی سوخت (Nm^3/hr)	ارزش صرفه جویی سالیانه سوخت		برآورد سرمایه گذاری *	بازگشت سرمایه (year)	
		قیمت داخلی (Rials)	قیمت جهانی ($)	(میلیون ریال)	برمبنای قیمت داخلی سوخت	برمبنای قیمت جهانی سوخت
راهکارهای کم هزینه و یا بدون هزینه ۱- بازرسی و بازدید از بخشهای مختلف کوره و جلوگیری از نشتی هوا به داخل کوره ۲- کنترل احتراق از طریق آنالیزهای دوره ای گازهای دودکش ۳- به حداقل رساندن ظرفیت گلیزرها و گرمخانه حین توقفات ماشینهای پرس ۴- کاهش توقفات و درصد ضایعات خطوط تولید	4,355,114	609,716,000	566,165	-	-	-
راهکارهای پرهزینه ۵- طرح تعمیر و یا تعویض رکوپراتور کوره واحد لرکس اجرای طرح توسط شرکت های داخلی اجرای طرح توسط شرکت خارجی ۶- طرح تعمیر و تعویض آجر و نسوز کوره واحد لرکرک ۷- طرح استفاده از گازهای دودکش کوره های واحد لرکرک و لرکس در تأمین آب گرم مورد نیاز کارخانه	1,381,014 1,381,014 334653(lit/year) 1,269,200	193,341,960 193,341,960 66,930,600 177,688,000	179,531.8 179,531.8 66931 164,996	1,750 5,609.8 8418 1840	9 29 - 10.4	1 3.4 13.7 1.2
مجموع استفاده از شرکت های داخلی استفاده از شرکت های خارجی	7,366,601	1,047,676,560	977,624	12008 15868	11.5 15	1.3 1.8

* آمار و ارقام این جدول بر اساس محاسبات صورت گرفته در سال ۸۵ است.

۲-۳. راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی

با توجه به محاسبات انرژی الکتریکی ملاحظه شد که د انرژی الکتریکی مصرفی کل خط تولید کارخانه شیشه مورد نظر به مصرف پرس ها می رسد. دلیل این امر مصرف بالای کمپرسورهای هوا می باشد بنابراین این قسمت از تجهیزات عمده مصرف انرژی الکتریکی محسوب شده و نیاز به بررسی و سرمایه گذاری جهت کاهش مصرف انرژی دارد. تجهیزات دیگر از مصرف کننده های عمده انرژی الکتریکی گرمخانه ها می باشند که حدود ۲۴ درصد مصرف انرژی کل خطوط تولید را به خود اختصاص می دهند. با توجه به مطالب فوق و نتایج ممیزی تفصیلی انرژی الکتریکی راه کارهای بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی قابل طرح در کارخانه بلور و شیشه اصفهان به شرح ذیل می باشد:

- بررسی تعرفه ها ، گزینه انتخابی و دیماند برق مصرفی
- بهینه نمودن مصرف انرژی الکتروموتورها
- استفاده از موتورهای الکتریکی در بار کامل و استفاده از الکتروموتورهای راندمان بالا
- بهینه سازی سیستم های تأمین هوای فشرده و بررسی تأثیر تعمیرات و نگهداری، کاهش نشتی های سیستم های توزیع و ذخیره هوای فشرده در مصرف انرژی الکتریکی
- مدیریت توزیع بار در ساعات مختلف شبانه روز و کاهش ضریب همزمانی به منظور کاهش دیماند و افزایش ضریب بار
- استفاده از دیزل ها در زمان پیک بار
- استفاده از VSD روی موتورها و فن ها

در ادامه به اختصار تعدادی از این راه‌کارها مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۲-۳-۱. بررسی تعرفه، گزینه و میزان دیماند شبکه برق و بررسی وضعیت مصرف در ساعات پیک شبکه

با توجه به اینکه انرژی الکتریکی یکی از حامل های انرژی پر هزینه می باشد. لذا اتخاذ روش های مناسب جهت کاهش هزینه های آن از اهمیت والایی برخوردار است. در این زمینه می‌بایست سعی شود با استفاده از قوانین و تعرفه های وزارت نیرو، روشهایی پیشنهاد شود که بدون کاهش مصرف انرژی الکتریکی هزینه های تمام شده کاسته شود.

با توجه به اینکه بیشترین مصرف مربوط به اکتیو معمولی می باشد و کمترین نرخ تعرفه ها هم مربوط به شیفت شبانه است. لزوم مدیریت صحیح در تغییر زمان پر کاری کارخانه از روز به شب احساس می شود تا هزینه های مصرف انرژی الکتریکی کاهش یابد.

۲-۳-۲. مدیریت توزیع بارالکتریکی

مدیریت بار به معنی تغییر و بهینه سازی مصرف انرژی با حفظ سطح تولید می باشد. بنابراین کنترل رشد بار، تغییر شکل منحنی بار، صرفه جویی در مصرف برق و استفاده از منابع اختصاصی (مثل استفاده از دیزل) همگی در این مقوله می گنجد. راههای مختلفی جهت اصلاح منحنی باروجود دارند که از آن جمله می توان به پیک سایی، پر کردن دره ها و انتقال باراشاره نمود.

منحنی بار طی مدت شبانه روز دارای وضعیت حداکثر و حداقل مصرف می باشد. مدت زمان حداکثر بار، ساعات اوج یا پیک مصرف و مدت زمان حداقل بار، ساعات کم باری نامیده می شود.ساعات پیک مصرف پس از غروب آفتاب و تاریک شدن هوا تا نزدیک نیمه شب اتفاق می افتد. در تعرفه های برق مدت تعیین شده برای ساعات پیک ۴ ساعت و زمان آن در شش ماهه اول سال بین ساعات ۲۰ الی ۲۴ و در شش ماهه دوم سال بین ساعات ۱۷ الی ۲۱ می باشد.

۲-۳-۳. ارائه راهکارهای ممکن در جهت بهینه نمودن مصرف انرژی الکتروموتورها

تقریباً ۶۰٪ انرژی الکتریکی مصرفی صنایع صرف موتورهای الکتریکی می شود به عبارت دیگر بیش از نیمی از انرژی الکتریکی عرضه شده را موتورهای(با توان خروجی) بیش از یک اسب بخار مصرف می کنند. بنابراین بهینه سازی مصرف انرژی موتورهای الکتریکی از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

در صنایع عموماً از موتورهای القایی سه فاز (با توان خروجی زیاد) استفاده می گردد بازده این موتورها با توجه به توان خروجی آنها عموماً در حدود ۷۰٪ تا ۹۰٪ قرار دارد. در حالیکه در مشترکین خانگی، تنها موتورهای القایی تک فاز و انیورسال سال استفاده می شود.

توان خروجی موتورهای تک فاز از توان خروجی موتورهای القایی سه فاز کمتر است و بازده آن با توجه به نوع موتور، کاربرد و توان خروجی آن در محدوده ۳۰٪ تا ۷۰٪ قرار دارد. در ادامه برخی از راهکارهایی را که در صنایع جهت بهتر کردن مصرف الکتروموتورها می توان مورد بررسی قرار داد ارائه شده است.

۱) هرزگردی موتورها

بیشترین صرفه جویی را می توان با خاموش کردن موتورهای بی بار و در نتیجه حذف تلفات بی باری بدست آورد. روشی ساده آن در عمل نظارت دائم یا کنترل اتوماتیک است. اغلب به مصرف برق در بی باری اهمیت چندانی داده نمی شود در حالیکه غالباً جریان در بی باری حدود جریان در بار کامل است.

۲) تغییر اتصالات موتورها با استفاده از کنترل کننده های ستاره- مثلث- ستاره

همانطور که می دانید برای راه اندازی الکتروموتورها از حالت ساکن به دور نامی ابتدا آنرا بصورت ستاره راه اندازی کرده و سپس پس از چند ثانیه الکتروموتور را بصورت مثلث برق دار می کنیم این نوع راه اندازی به خاطر کم کردن جریان راه اندازی و از بین بردن اضافه جریان لحظه ای در سیستم می باشد. حال اگر بار الکتروموتورهای

القایی از ۳۳٪ درصد بار نامی کمتر باشد می توان اتصال کلاف های سیم پیچ الکتروموتور را بصورت ستاره در حالت کار عادی اتصال داد.

به عبارت دیگر هنگام راه اندازی، الکتروموتور را بصورت ستاره برق دار می کنیم، سپس درحالت کار عادی نیز بدون تغییر در سیستم به صورت ستاره باقی خواهند ماند. این عمل باعث می شود که توان نامی الکتروموتور به سطح پایین تری انتقال داده شود. که با این عمل بار مصرفی به بار نامی نزدیک تر خواهد شد و در نتیجه راندمان موتور بهبود پیدا خواهد کرد از طرفی با کاهش ولتاژ کلاف های الکتروموتور باعث کاهش تلفات ثابت هسته خواهد شد.

۳) موتورهای پر بازده

بازگشت سرمایه قیمت اضافی پرداختی جهت خرید موتورهای پر بازده معمولاً کمتر از دو سال کارکرد موتور به ازای ۴۰۰۰ ساعت کارکرد سالانه و در ۷۵ درصد بار می باشد (بازگشت سرمایه نسبت به موتورهای قدیمی و غیر استاندارد به کمتر از شش ماه نیز می رسد) در مواردی که بار موتور سبک یا ساعت کارکرد آن کم است یا بارهای تناوبی استثنائی وجود دارد. بیشترین صرفه جویی در رنج موتورهای ۱ تا ۲۰ اسب بخار بدست می آید. در توان بیشتر از ۲۰ اسب بخار افزایش بازده کاهش می یابد و موتورهای موجود بیش از ۲۰۰ اسب بخار تقریباً دارای بازده کافی هستند.

در موتورهای پر بازده با استفاده از ورقه های استیل نازکتر در استاتور و روتور استفاده از استیل با خواص الکترو مغناطیسی بهتر استفاده از فن های کوچکتر با بازده بیشتر و بهبود طراحی شکاف روتور با بازده افزایش یافته است. تمام این روش ها باعث افزایش مصرف مواد اولیه و در نتیجه افزایش هزینه مواد یا هزینه های ساخت می شود و بنابراین قیمت تمام شده موتور زیاد می شود. با این وجود ۳۰-۲۰ درصد اضافه هزنیه اولیه با کاهش هزینه های عملیاتی جبران می گردد.

محاسبه بازگشت هزینه این موتورها به خاطر متغیرهای درگیر، پیچیده است. لازم به ذکر است وقتی که میزان صرفه جویی محاسبه می شود از آنجا که بازده واقعی یک موتور معمولاً ناشناخته است ممکن است این محاسبات دچار خطا شوند. چون همه سازنده ها از تکنیک های یکسانی برای اندازه گیری بازده موتورها استفاده نمی کنند.

عده زیادی از موتورهای پر بازده را بدون اینکه درصدد توجیه برگشت هزینه آن باشند استفاده می کنند مگر در مورد موتورهای بزرگتر معمولاً مدت بازگشت هزینه تقریباً یک سال است بازده موتورها از مشخصات نامی آنها متفاوت است. مثلاً یک موتور ۱۰۰hp ۱۸۰۰ rpm سرپوشیده با فن خنک ساز از یک سازنده دارای یک حداقل بازده تأمین شده معادل ۹۰/۲ درصد در بار کامل در مدل استاندارد و ۹۴/۳ درصد در مدل بازده بالا است موتور هم اندازه آن از یک سازنده دیگر دارای همان بازده ۹۰/۲ درصد در مدل استاندارد و حداقل بازده ۹۱ درصد در مدل بازده بالا است. برای تعیین بازده واقعی یک موتور خاص باید از تجهیزات تست پیچیده ای استفاده کرد به خاطر این اختلاف ها به هنگام ارزیابی میزان صرفه جویی استفاده از حداقل بازده تضمین شده قابل اطمینان تر است چون همه موتورها

باید برابر یا بزرگتر از این اندازه باشند.

۴) موتورهایی که مجدداً پیچیده می شوند

بازده موتورهایی که برای بار دوم پیچیده می شوند بین ۳٪ تا ۷٪ کاهش می یابد [۷] که مقدار کاهش بستگی به چگونگی سیم پیچی دارد. یک روش ساده برای ارزیابی کیفیت موتور پیچیده شده مقایسه جریان بی باری موتور می باشد. این مقدار در موتورهایی که بخوبی پیچیده نمی شوند افزایش می یابد. بررسی روشی که در کارگاه سیم پیچی استفاده می شود نیز می تواند کیفیت کار را مشخص کند.

در مورد سیم پیچی مجدد موتورها نکات زیر را جهت بهبود کیفیت و راندمان باید مورد توجه قرار داد :وقتی موتوری را برای پیچیدن مجدد باز می کنند عایق بین ورقه ها خراب می شود و باعث افزایش تلفات جریان گردابی می گردد مگر اینکه باز کردن (سوزاندن) عایق درکوره ای با دمای قابل تنظیم انجام گیرد و ورقه های عایق غیر آلی جایگزین گردد.

گداختن و سوزاندن سیم پیچ کهنه (خراب شده) در دمای کنترل نشده یا استفاده از یک مشعل دستی برای نرم کردن و خرد کردن لاک بین سیم ها به منظور باز کردن آسان تر سیم پیچ به این معنی است که کار در این کارگاه بخوبی انجام نمی شود و باید به کارگاه دیگری برای پیچیدن موتور مراجعه نمود.

اگر در نتیجه باز کردن و سوزاندن نامناسب تلفات هسته افزایش یابد موتور در دمای بیشتری کار می کند و زودتر از موعد خراب می شود.

اگر تعداد دورهای سیم پیچ در استاتور کاهش یابد تلفات هسته استاتور افزایش می یابد این تلفات در نتیجه جریان نشتی (هارمونیک) القا شده توسط جریان بار به وجود می آید و اندازه آن برابر با توان دوم جریان بار است.

در پیچیدن موتور اگر از سیم های با قطر کوچکتر استفاده شود مقاومت و در نتیجه تلفات RI^2 افزایش می یابد.

۵) تعمیرات و نگهداری موتورها

یکی دیگر از عواملی که تأثیر به سزایی در روند کار موتور دارد مبحث اصطکاک می باشد که بین قسمت های چرخان (متحرک) و ثابت موتور وجود دارد. با روغن کاری مناسب و به موقع بلبرینگ و نظافت قسمت های چرخان موتور و همچنین اطمینان از بالانس بودن محور می توان تلفات مکانیکی موتور را به حداقل رساند. بنابراین با ایجاد یک سیستم تهویه مناسب برای موتورها و اعمال کارهای فوق می توان در حدود ۱/۵ درصد راندمان موتورها را افزایش داد. با توجه به اینکه میزان انرژی مصرفی موتورها بیش از ۶۰ درصد کل انرژی مصرفی می باشد می‌توان صرفه جویی مناسبی را در این زمینه با صرف هزینه های جزئی انجام داد.

۶) استفاده از تسمه های cogged - belt و synchronus-belt بجای تسمه های flat-belt و v-belt در الکتروموتورها

تسمه های v-belt در زمان نصب بازدهی برابر با ۹۵٪ تا ۹۸٪ دارند. این تسمه ها به دلیل لغزش روی پولی حدود ۵٪ کاهش راندمان خواهند داشت. و راندمان این تسمه تا حدود ۹۳٪ خواهد رسید.

تسمه های cogged دارای دندانه هایی می باشند که باعث افزایش راندمان تا حدود ۲ درصد نسبت به تسمه های v-belt و flat-belt می شوند. این دندانه ها باعث کاهش مقاومت خم شدگی تسمه می شوند و در حرارت کمتری کار می کنند و طول عمر بیشتری دارند. همچنین تسمه های سنکرون علاوه بر دارا بودن دندانه های روی تسمه، یک سری شیارهایی روی خود پولی وجود دارد که باعث افزایش راندمان می شود و از لیز خوردگی تسمه روی موتور جلوگیری می کند. ویژگی‌های این تسمه ها کم بودن تعمیر و نگهداری آنها می باشد. ولی تنها عیب آنها این است که تمام لغزش ها را به بار انتقال می دهند.

بنابراین تسمه های سنکرون پر بازده‌ترین نوع تسمه ها می باشند. اما برای بارهایی که دارای لغزش می باشند یعنی شوک در بار ایجاد می شود بهتر است از تسمه های cogged استفاده شود. جهت بررسی تأثیر کارکرد تسمه های راندمان بالا در کاهش مصرف انرژی الکتریکی به مثال زیر توجه کنید[۸].

در یک موتور ۱۰۰ hp که با تسمه های v-belt و راندمان ۹۳ درصد در ۷۵ درصد بار نامی کار می کند و میزان مصرف انرژی الکتریکی سالیانه آن برابر با ۵۲۷۰۰۰ کیلو وات ساعت می باشد در صورت استفاده از تسمه های سنکرون (با راندمان ۹۸ درصد) میزان صرفه جویی انرژی الکتریکی سالیانه خواهد بود.

۷) استفاده از VSD روی موتورها و فن ها

استفاده از تکنولوژی الکترونیک قدرت (Power Electronic) به طور مستمر بهره وری و کیفیت فرایندهای صنعتی مدرن را بی وقفه بهبود می بخشد. تخمین زده می شود که با استفاده از این تکنولوژی قدرت، حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد امکان صرفه جویی انرژی الکتریکی وجود دارد.

نیروی محرکه بیشتر پمپ ها و فن ها موتورهای القایی هستند، که در دور ثابت کار میکنند. درایوها دستگاه هایی هستند که توان ورودی با ولتاژ و فرکانس ثابت را به توان خروجی با ولتاژ و فرکانس متغیر تبدیل می‌کنند. باید توجه کرد که دور یک موتور تابعی از فرکانس منبع تغذیه آن است.

استفاده از موتورهای مجهز به کنترل کننده دور ، امکان اعمال تغییرات لازم در سرعت موتور فن یا پمپ را به طور دائم فراهم آورده و بدین ترتیب می توان با توجه به فرآیند مورد نظر از اتلاف انرژی ایجاد شده در اثر تنظیم کننده‌های مکانیکی جلوگیری کرد. با استفاده از درایو موتور متناسب با بار، هرگونه نیاز به خاموش و روشن کردن موتور و یا ادوات تنظیم کننده نظیر شیر یا دمپر حذف میگردد. همچنین استفاده از درایوها کنترل دقیق سرعت و متعاقب آن، توان خروجی قابل تنظیم را سبب می شود که با توجه به استفاده از مدارات الکترونیکی، استهلاک قسمتهای کنترل کننده در حد بسیار پایین خواهد بود.

اگر چه هزینه اولیه این سیستم ها ، نسبتا زیاد می باشد ولی صرفه جویی حاصل از افزایش بازدهی در اثر استفاده از موتورهای مجهز به کنترل کننده دور، در طول زمان منجر به صرفه جویی اقتصادی می‌شود. معمولا بسته

به نوع کاربرد زمان برگشت سرمایه ، بین یک تا سه سال متغیر خواهد بود.

VSD ها علاوه بر صرفه جویی انرژی دارای مزایای ذیل نیز می باشند:

۱- کنترل بهتر فرآیند تولید

۲- افزایش دوام تجهیزات

۳- راه اندازی نرم (Soft Start)

۴- تصحیح ضریب قدرت

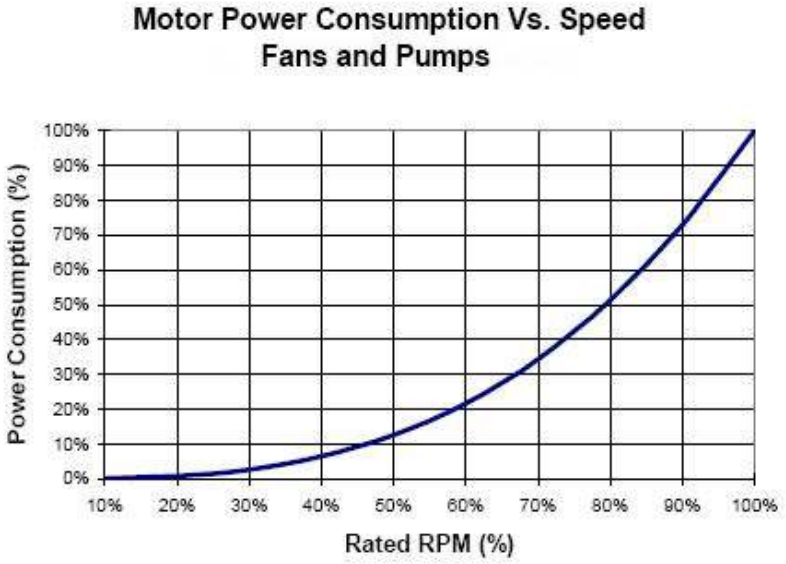
۵- جلوگیری از ضربات مکانیکی

در فن ها و دمنده ها ، دبی سیال با سرعت فن متناسب است. از طرفی مصرف انرژی الکتروموتور با توان سوم سرعت آن متناسب است بطوریکه با کاهش ۲۰ درصد سرعت، انرژی مصرفی به نصف کاهش پیدا میکند.[۹] این مطلب، در شکل۲-۴ نشان داده شده است.

در نتیجه کاهش انرژی الکتروموتور در اثر کم شدن سرعت آن را می توان توسط رابطه زیر بیان کرد:

$$Power_{final} = Power_{initial}(\frac{RPM_{final}}{RPM_{initial}})^3$$

بنابراین ملاحظه میگردد که جایگزین کردن فن هایی که با دمپرکنترل می گردند، با موتورهای سرعت متغیر، کاهش قابل توجه در مصرف انرژی را در بر دارد.



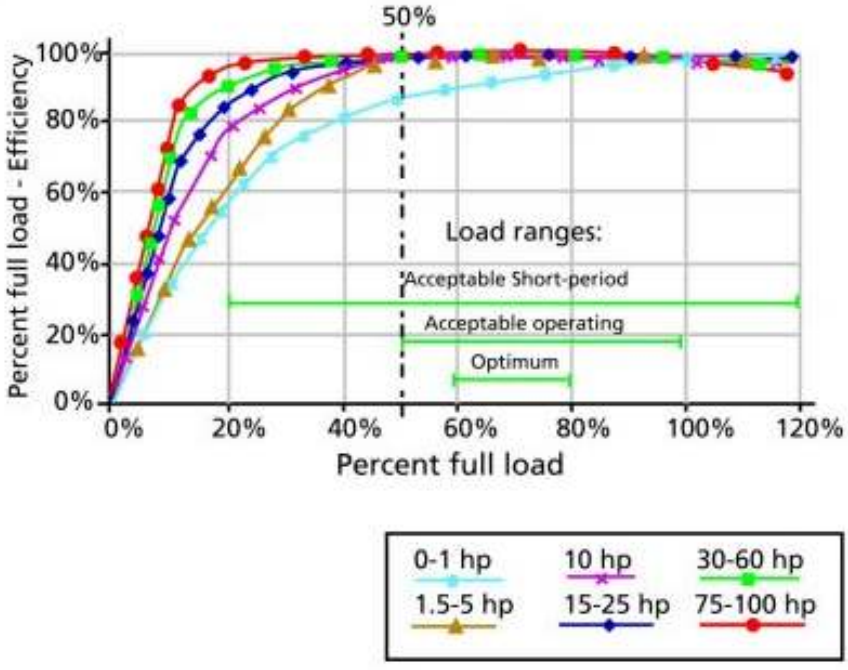
شکل۲-۴. مصرف انرژی الکتروموتور فن ها و پمپ ها در سرعت های مختلف موتور

البته لازم به ذکر است که با نصب درایو برای کنترل موتور، تلفات ناشی از درایو نیز به تلفات موتور اضافه میگردد. که این عامل باعث افزایش چند درصدی توان مصرفی می‌گردد. همچنین در استفاده از درایو باید به هارمونیک های مرتبه بالای تولید شده ناشی از سوئیچینگ توجه داشت.

۸) بررسی موضوع Oversize بودن موتورها

موتورهای القایی سه فاز در کاربردهای زیادی مورد استفاده قرار می گیرند. کاربرد و استفاده موتورها در موارد گوناگون ناشی از مشخصه بار مکانیکی می باشد. بدیهی است موتور در صورتی می تواند بار مکانیکی متصل به آن را تأمین کند که مشخصه عملکردی موتور براساس مشخصه بار مکانیکی در نظر گرفته شده باشد مشکل اصلی در صنایع کشور آن است که در اغلب موارد ، تطابق مطلوبی بین مشخصه های بار و موتور وجود ندارد و توان اغلب موتورها بیش از بار متصل به محورشان می باشد و با توجه به اینکه قیمت تمام شده موتور ، متناسب با توان آن می باشد، لذا بدیهی است انتخاب موتور با توان بیش از نیاز بار ، علاوه بر افزایش هزینه اولیه موتور، موجب افزایش سایر هزینه ها از قبیل کابل کشی و نصب و راه اندازی و تعمیر خواهد شد. از طرف دیگر در صورتیکه موتور انتخاب شده بزرگتر از حد لازم باشد، موتور در حالت بارکامل و یا نزدیک به بار کامل کار نکرده و لذا بازدهی آن پائین تر از مقدار حداکثر آن خواهد بود و مشکلاتی در زمینه مصرف انرژی ایجاد خواهد کرد.

بحث مطرح شده فوق با استناد به مقاله ارائه شده از جانب سازمان انرژی امریکا (که دیاگرام راندمان موتور بر حسب مقدار توان آن در شکل۲-۵ ارائه شده است) تنها برای موتورهای توان پائین مطرح است.



شکل۲-۵. دیاگرام راندمان موتور بر حسب مقدار توان آن

۲-۳-۴. بهینه سازی سیستم های تأمین هوای فشرده، بررسی تأثیر تعمیرات و نگهداری، کاهش نشتی های سیستم های توزیع و ذخیره هوای فشرده

همانطوریکه ملاحظه شد یکی از مصرف کننده های عمده انرژی الکتریکی، سیستم تأمین هوای فشرده کارخانه می باشد. لذا بررسی و برنامه ریزی جهت کاهش مصرف انرژی در این بخش بسیار حائز اهمیت است. در این راستا راهکارهای عمومی و مؤثر در کاهش مصرف انرژی الکتریکی بابت تولید هوای فشرده به شرح ذیل می باشد:

۱- آگاه کردن کارگران و کارشناسان از هزینه تولید هوای فشرده

۲- برنامه منظم و دوره ای برای بازدید سیستم تولید و توزیع هوای فشرده و تعمیرات

۳- تولید هوای فشرده در فشار متناسب و مورد نیاز

۴- جلوگیری از کاربرد هوای فشرده به منظور تمیزکاری سالن های تولید

۵- نصب سیستم کنترل هوشمند و مجهز کردن کمپرسورها به کلید اتوماتیک جهت خاموش کردن کمپرسور در مواقعی که نیاز به هوای فشرده نیست.

۶- تعبیه نمودن ورودی هوا به کمپرسور در محیط بیرون: از آنجا که کمپرسورها با مصرف هوای سرد دارای بازدهی بیشتری خواهند بود، لذا چنانچه هوای ورودی از بیرون ساختمان (هوای سردتر) تأمین شود حدود ۳ درصد کاهش مصرف انرژی در پی دارد.

۷- بهینه کردن سیستم توزیع هوای فشرده کارخانه با هدف تفکیک مصرف کننده های دائمی از سایر بخش ها

۲-۴. بررسی تعدادی از راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در کارخانه مورد نظر

در این بخش خلاصه راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی قابل توصیه به کارخانه شیشه مورد مطالعه ارائه شده است. در جدول۲-۲ راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی همراه با برآورد صرفه جویی و میزان کاهش هزینه های سالیانه انرژی الکتریکی ارائه شده است.

جدول۲-۲. نتایج راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی در کارخانه شیشه مورد مطالعه

ردیف	اقدامات	مقدار صرفه جویی سالیانه (kwh/year)	کاهش سالیانه هزینه برق (M-Rials/year)	توضیحات
۱	برسی سیستم هوای فشرده	۹۸۴۳۱۴	۱۵۸/۱۸	کم هزینه
۲	استفاده از دیزل ها در ساعات پیک	۱۸۵۵۵۱۰	۴۴۲/۰۳	کم هزینه
۳	استفاده از کنتور تعرفه جمعه	-	۳۲/۴۹	کم هزینه
۴	مدیریت بار	-	۷۵/۶۸	بدون هزینه
۵	نتیجه تحلیل وبرسی قبض های برق	-	۲۷۴/۳	بدون هزینه
مجموع		**۲۸۳۹۸۲٤**	**۹۸۲/۷۵**	-

* آمار و ارقام این جدول بر اساس محاسبات صورت گرفته در سال ۸۵ است.

۲-۵. نتیجه گیری

همانطوریکه ملاحظه می شود با اجرای کلیه راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی حرارتی سالیانه حدود ۷۳۶۶۶۰۰ مترمکعب گاز طبیعی صرفه جویی بعمل خواهد آمد و میزان صرفه جویی حاصل معادل ۵۴ درصد کل مصرف انرژی فسیلی کارخانه خواهد بود. به عبارت دیگر با اجرای طرحهای فوق پیش بینی می شود متوسط مصرف ویژه حرارتی کل کارخانه از ۱۰۵۴۹ به ۴۸۵۳ کیلوکالری به ازای یک کیلوگرم واحد تولید محصول کاهش یابد. از طرف دیگر با توجه به نتایج راهکارهای ویژه کوره های کارخانه شیشه مورد مطالعه و میزان صرفه جویی انرژی و مصرف سوخت هریک برآورد می شود که در کوره واحد یک با اجرای طرح نوسازی و نصب سیستم بازیافت انرژی حرارتی جهت تولید آب گرم حدود ۲۹ درصد و در کوره واحد دو با اجرای طرح تعویض رکوپراتور و نصب سیستم بازیافت انرژی تولید آب گرم حدود ۳۶ درصد صرفه جویی بعمل آید. بنابراین پیش بینی می شود بعد از اجرای راهکارهای بهینه سازی پیشنهادی، مصرف ویژه حرارتی کوره واحد یک از ۴۳۲۴/۸ به ($kcal/kg.MG$)۳۰۷۰/۶ و مصرف ویژه حرارتی کوره واحد دو از ۵۶۲۴/۶ به ۳۶۰۰ ($kcal/kg.MG$) کاهش یابد.

همچنین در بخش انرژی الکتریکی، اجرای کلیه راهکارهای توصیه شده حدود۲۸۰۰ مگا وات ساعت در سال معادل با ۳۰ درصد مصرف کل انرژی الکتریکی در سال ۸۲ صرفه جویی انرژی الکتریکی حاصل خواهد شد. با توجه به هزینه پایین اغلب راهکارهای پیشتهادی، توجه و برنامه ریزی جهت اجرای آنها توسط مدیریت کارخانه ، بسیار حائز اهمیت خواهد بود.

مراجع

[1]. Energy and Environmental Profile of the Glass Industry, Prepared by Incorporated Colombia, MarylandT April 2002, http://eelndom1.ee.doe.gov

[2]. "Proceeding International Congress on glass" Vol.1, Edinburgh Scotland, Jul.2001.

[3]. Batch Reactions of a Soda-Lime Silicate Glass (Report for G plus project for Libbey Inc.), Dong-Sang kim, Josef matyas, August, 2002.

[4]. "Saving energy with cullet and Preheating", Best Practice in glass recycling, www.CWC.org, NOV,1996.

[5]. "Spodumene-Special additive for Container glass production" Sons Of Gwailia ltd, www.Spodumene.com

[6]. "Glass Industry", Output of a seminar on Energy Conservation in Glass Industry", UNIDO, 1993.

[7]. "ELectrical Energy Conservation & its Application to a sheet Glass Industry", IEEE Transactions on Energy conversion, Vol. ll, No.3, sep.1996.

[8]. "Replace V.Belts with Cogged or Synchronous belt drives" office of Industrials technology , DOE. www.oit.doc.gov.