

ممیزی و بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت تولید شیشه مظروف

امیر حسین هاشم زاده، عبدالرحمن نصر، مجتبی هراتیان^۱

چکیده

مقاله حاضر در راستای بررسی نتایج وضعیت مصارف انرژی در یک 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. کلمات کلیدی: شیشه مظروف، ممیزی انرژی، بهینه سازی انرژی، راندمان، شاخص مصرف انرژی

۱- مقدمه

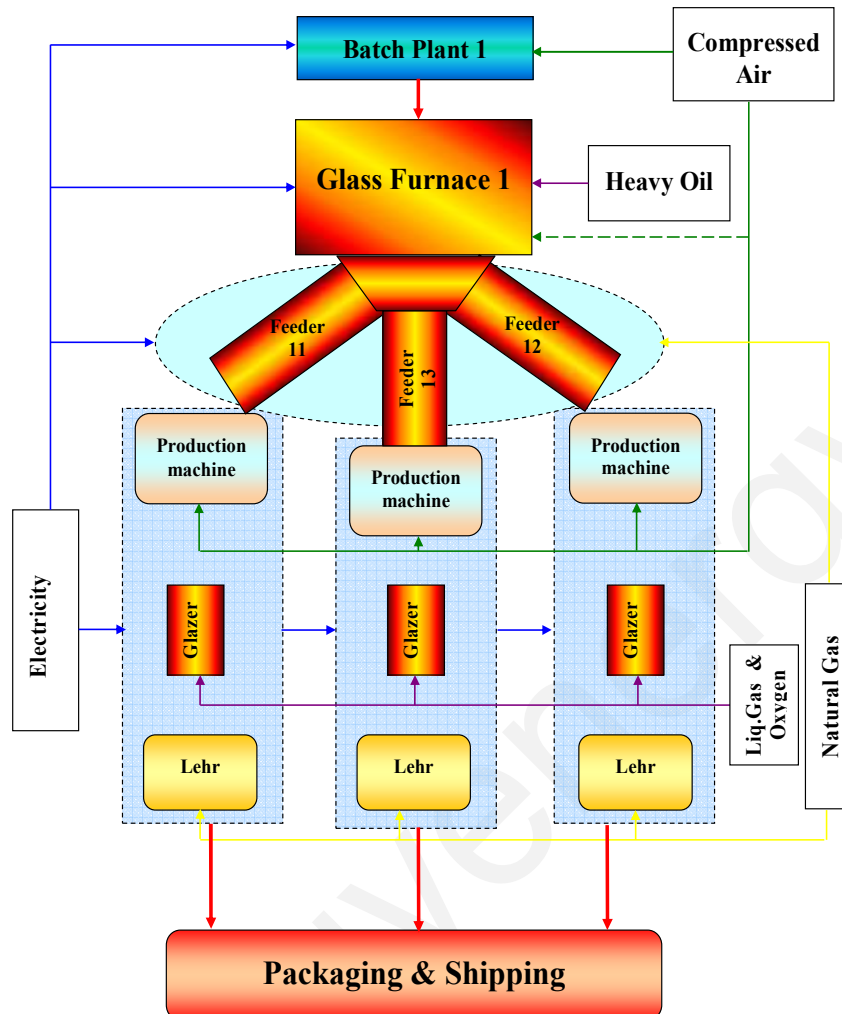
صنعت شیشه در ایران از صنایع قدیمی و پر مصرف انرژی به شمار می آید و از جمله صنایعی محسوب می گردد که در مراحل مختلف تولید علاوه بر انرژی الکتریکی از انواع سوختهای فسیلی نیز استفاده می شود. بر مبنای گزارشی از سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور، ۹۴ درصد انرژی مصرفی صنعت شیشه ایران را فرآورده های نفتی و گاز و ۶ درصد آن را برق تشکیل می دهد. . بیشترین شدت مصرف انرژی در فرآیند تولید شیشه مربوط به بخش ذوب و پالایش می باشد. این بخش در حدود ۶۰-۷۰ درصد از کل انرژی مصرفی در صنعت شیشه را به خود اختصاص می دهد. مقایسه مصرف ویژه انرژی ایران با مقادیر جهانی، اهمیت بررسی مصرف سوخت و انرژی و ضرورت بهینه سازی 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 بهینه سازی در واحدهای صنعتی از اولویت ویژه ای برخوردار شده است. در مقاله حاضر نتایج نهایی مطالعات ممیزی انرژی تفصیلی در یکی از صنایع تولید شیشه مظروف شامل تعیین وضعیت مصارف انرژی تجهیزات ، مصرف ویژه انرژی و پتانسیلهای صرفه جویی انرژی در دسترس همراه با راهکارهای مؤثر بهینه سازی مصرف انرژی و توجیه پذیر از دیدگاه فنی و اقتصادی ارائه می شود.

کارخانه شیشه مورد مطالعه با هدف تولید محصولات مظروف شیشه ای نظیر لیوان، نیم لیوان، استکان و سینی احداث گردید. بر مبنای طراحی و اهداف اولیه مسئولین کارخانه خط تولید شماره یک جهت تولید محصولات مظروف شیشه سودالایم و خط تولید شماره دو جهت تولید محصولات مظروف شیشه بروسلیکات (پیرکس) نصب و راه اندازی شده است. در سالهای اخیر با تغییر مواد اولیه خط تولید جدید از بروسلیکات به سودالایم و اعمال 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 جدول (۱) بطور مختصر معرفی شده است.

جدول (۱)-بخشهای مختلف کارخانه شیشه مظروف مورد مطالعه

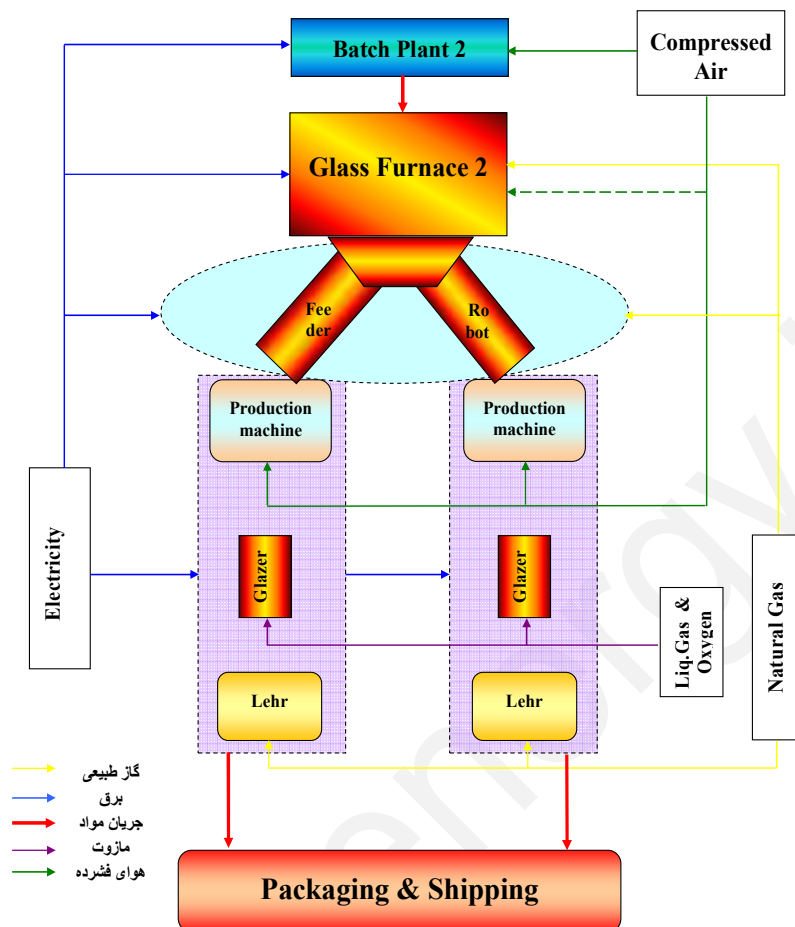
بخش	تعداد	ساعت کاری در روز	توضیحات
خط تولید شماره یک ناحیه آماده سازی مواد اولیه سالن تولید و بسته بندی	۱ ۱	۸-۶ ۲۴	سالن تولید قدیم دارای یک کوره شیشه، سه فیدر و ماشین پرس و سه عدد گرمخانه است
خط تولید شماره دو ناحیه آماده سازی مواد اولیه سالن تولید و بسته بندی	۱ ۱	۲۴ ۲۴	سالن تولید این خط دارای یک کوره شیشه یک عدد فیدر و 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 کمپرسور و 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 (بیچ پلنت)، یک کوره با مصرف سوخت مازوت و ظرفیت حدود ۲۵ (ton/day) 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 ۲۰ (ton/day) می باشد. این کوره توسط یک رکوپراتور جهت پیشگرم کردن هوای احتراق تا دمای حدود ۳۸۰ ($^{\circ}C$)، گازهای احتراق را تا دمای حدود ۷۵۰ ($^{\circ}C$) کاهش می دهد. دمای داخل کوره در بخش ذوب و پالایش کوره به ترتیب حدود ۱۴۴۵ و ۱۲۰۰ ($^{\circ}C$) می باشد. انتهای کوره از طریق سه فیدر به سه خط تولید شامل ماشینهای پرس، گلیر، گرمخانه و بسته بندی منتهی می شود. نوع سوخت مصرفی در گلیر گاز مایع و در گرمخانه گاز طبیعی است. در شکل (۱) فلوچارت جریان مواد و انرژی خط تولید شماره یک کارخانه شیشه نمایش داده شده است.



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 30 (ton/day) 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 25 (ton/day) می باشد. در شکل ۲ فلوچارت جریانهای مواد و انرژی خط تولید شماره دو کارخانه نمایش داده شده است.



شکل ۲- فلوچارت جریان مواد و انرژی خط تولید شماره دو کارخانه شیشه مظهرود مورد مطالعه

با توجه به جریانهای مواد و انرژی خطوط تولید کارخانه شیشه مربوطه ملاحظه می شود 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 توسط کولرهای آبی و آب گرم مصرفی مورد نیاز بخشهای مختلف، توسط آب گرم تولیدی 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.

۳- توصیف مراحل انجام ممیزی انرژی تفصیلی در کارخانه شیشه مظهرود

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 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 بر مبنای اندازه گیری های صورت گرفته ضمن انجام محاسبات انرژی حرارتی هر بخش نتایج ممیزی انرژی حرارتی و الکتریکی کارخانه ارائه می شود.

۳-۱- 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 بر مبنای اندازه گیری صورت گرفته خلاصه نتایج حاصل در خصوص میزان مصرف انرژی فسیلی کل کارخانه در دوره اندازه گیری در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول 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

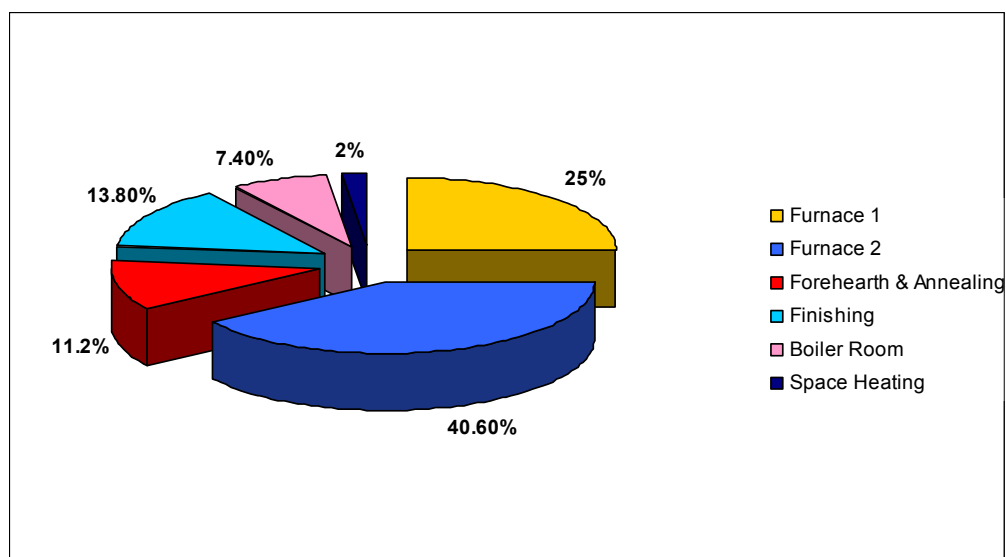
* درصد سهم مصرف هریک از انواع سوخت نسبت به مصرف کل انرژی فسیلی محاسبه شده است.

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

جدول 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 (جدول ۲-۳)			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

بر مبنای نتایج ارائه شده در جدول ۳ تراز انرژی حرارتی بخشهای مختلف کارخانه شیشه مربوطه در شکل ۳ 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 گلیر که حدود ۱۴ درصد از کل مصرف انرژی فسیلی کارخانه را به خود اختصاص می دهند، در کاهش مصرف و هزینه های انرژی مؤثر می باشد.



شکل 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 جدول (۴) آورده شده است.

جدول 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 بر مبنای اطلاعات خام موجود، کشش واقعی کوره، میزان ضایعات قبل و بعد از پرس و میزان توقفات تولید در دوره های زمانی مختلف 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.

بر مبنای 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 جدول ۵ ارائه شده است.

لرکرک $763.01 (\text{Nm}^3/\text{hr}) = (\text{گرمخانه و فورهارث}) 116.5 + (\text{گلایزرها}) 142.44 + (\text{گرمایش مازوت}) 115 + (\text{کوره 1}) 389.07 =$ مصرف انرژی فسیلی سالن تولید

لرکرک $760.21 (\text{Nm}^3/\text{hr}) = (\text{گرمخانه و فورهارث}) 58.25 + (\text{گلایزرها}) 71.22 + (\text{گرمایش مازوت}) 0 + (\text{کوره 2}) 630.74 =$ مصرف انرژی فسیلی سالن تولید لرکس

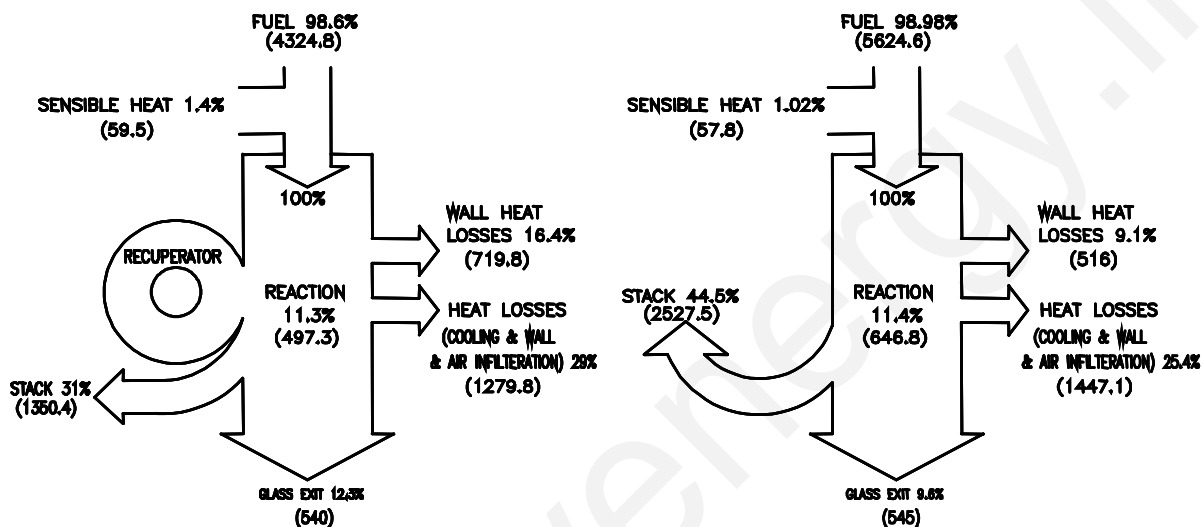
جدول ۵- مصارف ویژه حرارتی کوره ها و خطوط تولید کارخانه شیشه مورد نظر

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
کوره ۲	23.7	5,624.6	15.4
میانگین	21.4	4,975	15.3

۳-۲- 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 نشستی هوا به داخل کوره صورت می گیرد. به منظور مقایسه نتایج بالانس انرژی دو کوره سانگی دیاگرام هریک از کوره های کارخانه در شکل ۳ ترسیم شده است.

شکل ۳- نمایش سانگی دیاگرام کوره های کارخانه شیشه مظروف (اعداد داخل پیرانتز برحسب Kcal/kg.MG است)



بطور کلی راندمان کوره ها در صنعت شیشه را 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 و E_R و E_{gl} 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. [۴]

۳-۳- نتایج ممیزی انرژی الکتریکی تفصیلی کارخانه

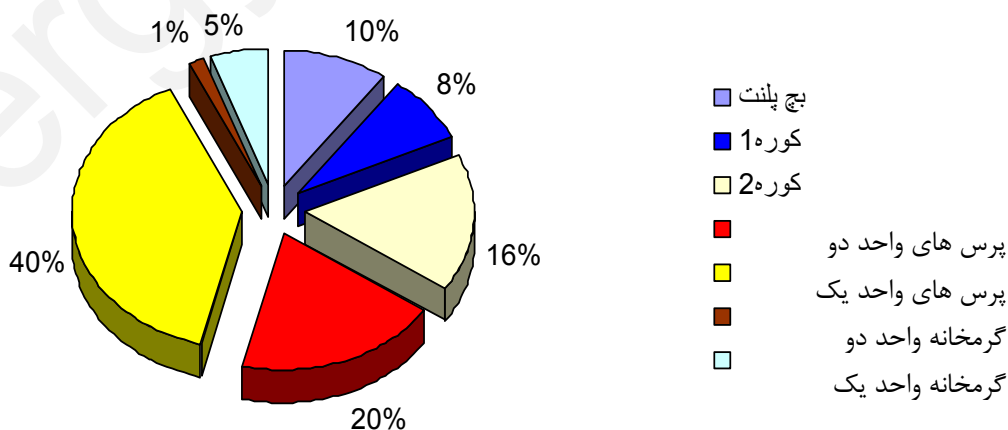
همانطوری که ملاحظه شد بر مبنای محاسبات انرژی الکتریکی و تفکیک روی مصرف هر بخش، سهم مصرف انرژی الکتریکی و پتانسیلهای صرفه جویی انرژی الکتریکی قابل شناسایی است به این منظور خلاصه نتایج محاسبات مصرف انرژی الکتریکی کلیه نواحی و تجهیزات خطوط تولید به ازای واحد تولید همان ناحیه در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول 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 روز اندازه گیری کلیه تولیدات جزء ضایعات قرار گرفته ولذا تناژتولید محصول نهایی صفروامکان محاسبه مصرف ویژه انرژی الکتریکی در این ناحیه وجود نداشت.

بر مبنای اطلاعات ارائه شده در جدول فوق تراز انرژی الکتریکی مصرفی واحدهای مختلف کارخانه شیشه مورد نظر قابل ترسیم بوده که نتایج آن در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴- تراز انرژی الکتریکی مصرفی واحدهای مختلف کارخانه

شایان ذکر است به دلیل عمده وجود المنت های الکتریکی اطراف خط تولید ربات کوره واحد دومصرف 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 ، از دلایل 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 بازدهیهای بعمل آمده از سایت کارخانه ملاحظه شده است که برای خنک کاری و تمیز کاری و نظافت برخی از قسمت ها از هوای فشرده استفاده می شود. در مجموع عوامل فوق سبب کارکرد مداوم و افزایش مصرف انرژی الکتریکی کمپرسورهای واحد یک شده است .

۴- بررسی راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی در کارخانه شیشه

بر مبنای مطالعات صورت گرفته و بررسیهای انجام شده خلاصه نتایج راهکارهای اجرایی بهینه سازی مصرف انرژی حرارتی و الکتریکی جهت خطوط تولید کارخانه شیشه مورد نظر بررسی و ارائه شده است.

۴-۱- نتایج راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی حرارتی

براین اساس سانگی دیاگرامهای شکل ۳ ملاحظه می شود که شدت مصرف انرژی حرارتی کوره یک و دو کارخانه شیشه مظلوف مورد مطالعه به ترتیب معادل $4324/8$ و $5624/76$ ($kcal/kg \cdot MG$) می باشد، این در حالی است که امروزه مصرف ویژه حرارتی در کوره های مدرن ذوب و پالایش شیشه به کمتر از 1000 ($kcal/kg \cdot MG$) کاهش یافته است. [۱] البته لازم به ذکر است که مصرف ویژه حرارتی کوره های شیشه تابع پارامترهای بسیاری نظیر کشش واقعی ، ظرفیت، طول عمر و نوع کوره می باشد. بر مبنای بررسی های بعمل آمده در کارخانه شیشه مربوطه 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 سیستم کنترل مناسب احتراق و تأمین شرایط دمایی مطلوب داخل کوره
 - وجود رسوب بیش از حد روی لوله های رکوپراتور (واحد یک) و کاهش کارایی آن و ...
- 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 کوره واحد لر کرک 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 جدول (۷) ارائه شده است.

جدول ۷- خلاصه نتایج راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی حرارتی در کارخانه شیشه مورد مطالعه

بازگشت سرمایه (year)		برآورد سرمایه گذاری *	ارزش صرفه جویی سالیانه سوخت		صرفه جویی سوخت (Nm ³ /hr)	نوع راهکار
بر مبنای قیمت جهانی سوخت	بر مبنای قیمت داخلی سوخت	(میلیون ریال)	قیمت جهانی (\$)	قیمت داخلی (Rials)		
-	-	-	566,165	609,716,000	4,355,114	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 گلیرها و گرمخانه حین توقفات ماشینهای پرس ۴- کاهش توقفات و درصد ضایعات خطوط تولید
1 3.4 13.7 1.2	9 29 - 10.4	1,750 5,609.8 8418 1840	179,531.8 179,531.8 66931 164,996	193,341,960 193,341,960 66,930,600 177,688,000	1,381,014 1,381,014 334653(lit/year) 1,269,200	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 لرکس ۷- طرح استفاده از گازهای دودکش کوره های واحد لرکس و لرکس در تأمین آب گرم مورد نیاز کارخانه
<u>1.3</u> 1.8	<u>11.5</u> 15	<u>12008</u> 15868	977,624	1,047,676,560	7,366,601	استفاده از شرکت های داخلی مجموع استفاده از شرکت های خارجی

* هر دلار معادل ۹۲۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.

۴-۲- نتایج بررسی راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی

در این بخش خلاصه نتایج راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی قابل توصیه به کارخانه شیشه مورد مطالعه ارائه شده است. در جدول ۸ نتایج راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی همراه با برآورد صرفه جویی و میزان کاهش هزینه های سالیانه انرژی الکتریکی ارائه شده است.

جدول ۸- 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 و بررسی قبض های برق	-	۲۷۴/۳	بدون هزینه
	مجموع	۲۸۳۹۸۲۴	۹۸۲/۷۵	-

۵- نتیجه گیری

همانطوریکه ملاحظه می شود با اجرای کلیه راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی حرارتی سالیانه حدود ۷۳۶۶۶۰۰ مترمکعب گاز طبیعی معادل با یکصد میلیون تومان 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 می آید. بنابراین پیش بینی می شود بعد از اجرای راهکارهای بهینه سازی پیشنهادی، مصرف ویژه حرارتی کوره واحد یک از ۴۳۲۴/۸ به ۳۰۷۰/۶ ($kcal/kg.MG$) و مصرف ویژه حرارتی کوره واحد دو از ۵۶۲۴/۶ به ۳۶۰۰ ($kcal/kg.MG$) کاهش می یابد.

همچنین در بخش انرژی الکتریکی، اجرای کلیه راهکارهای توصیه شده حدود ۲۸۰۰ مگا وات ساعت در سال معادل با ۳۰ درصد مصرف کل انرژی الکتریکی در سال ۸۲ صرفه جویی انرژی الکتریکی حاصل خواهد شد. از سوی دیگر تأثیر اجرای راهکارها در کاهش هزینه های انرژی الکتریکی کارخانه حدود ۹۸۰ میلیون ریال در سال بر آورد شد که با توجه به هزینه پایین عمده راهکارهای پیشتهادی، توجه و برنامه ریزی جهت اجرای آنها توسط مدیریت کارخانه ، بسیار حائز اهمیت خواهد بود.

مراجع

- [1]. "The Challenge of Conventional Furnace design", Melting Technology, www.Sorg.de, oct,2004.
- [2]. "Proceeding International Congress on glass" Vol.1, Edinburgh Scotland, Jul.2001.
- [3]. "Energy Efficiency at Gostomel: Recommendation and Energy Audit Report for Gostomel Glass Plant", Oct.1997.DOE.
- [4]. "Glass Industry", Output of a seminar on Energy Conservation in Glass Industry, UNIDO, 1993.