ممیزی انرژی در کارخانه شیشه همدان

عباس عباسی[۱]، امید شاکری[۲]، قاسم عرب[۲]

۱ـ دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲ – سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور

چکیده

در سالهای اخیر روند مصرف انرژی در کشور با رشد قابل ملاحظه‌ای همراه بوده است. لزوم بررسی عوامل مختلف مؤثر در افزایش تقاضای حامل‌های مختلف انرژی، دستگاه‌های اجرایی کشور را به تناسب حوزه فعالیتشان به عرصه موضوع وارد نموده است. در این راستا سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنایع با سیاستگذاری و حمایت‌های مالی از کارخانجات، گامهای بسیار ارزنده‌ای در کاهش مصرف انرژی برداشته است.

از سوی دیگر توجه صنایع مختلف به امر بهینه سازی مصرف انرژی در سال‌های اخیر و همچنین سیاست‌های دولت در این زمینه سبب افزایش حساسیت کارخانجات مختلف به کاهش مصرف انرژی گردیده است. مقاله حاضر نتیجه پروژه ممیزی انرژی در کارخانه شیشه همدان می‌باشد[۱] که از طرف سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور و کارخانه شیشه همدان در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی در این کارخانه، تعریف گردید.

مقدمه

در پروژه ممیزی انرژی در کارخانه شیشه همدان، ابتدا جهت تعیین مصرف ویژه انرژی الکتریکی و حرارتی، اقدام به جمع‌آوری مستندات مربوط به مصارف انرژی شامل قبوض برق و گاز و نیز مستندات تولید شامل مذاب تولیدی و محصول نهایی در ماههای مختلف سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ گردید. نحوه تسهیم انرژی‌های مصرفی هر یک از خطوط تولید بر اساس اطلاعات مذکور و همچنین نتایج اندازه‌گیری‌ها صورت گرفته است. بر این اساس نحوه تغییرات مصرف ویژه انرژی بر حسب کشش مذاب در ماه‌های مختلف بدست آمده و امکان مقایسه مقادیر ماهیانه مصرف ویژه انرژی با مقادیر متوسط سالیانه و نیز نرم‌های جهانی به منظور کمی کردن میزان انحراف از مصرف ویژه بهینه فراهم می‌آید. در مرحله ممیزی انرژی، ابتدا مشخصات فنی و اطلاعات عملکردی موجود تجهیزات انرژی‌بر جمع‌آوری شد و سپس سیستم‌های اندازه‌گیری و کنترلی فرآیندها و تجهیزات انرژی‌بر در کارخانه مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس اطلاعات مذکور تحلیل‌های ابتدایی جهت تعیین موازنه انرژی صورت گرفته و نواقص اطلاعات مورد نیاز تعیین گردید. سپس با توجه به موارد مذکور نقاط و پارامترهای مورد نیاز جهت اندازه‌گیری مشخص و اندازه‌گیری‌های مورد نیاز صورت گرفت. با تکمیل شدن اطلاعات مذکور مقادیر انرژی اتلافی در هر یک از حوزه‌های مورد بررسی و تجهیزات انرژی‌بر آن بدست آمده و الگوی جریان انرژی شامل انرژی مفید و انرژی‌های اتلافی(به تفکیک هر یک از موارد اتلاف انرژی) ترسیم گردید. به این ترتیب علاوه بر شناسایی تجهیزات انرژی‌بر، نقاط اتلاف انرژی شناسایی شده و میزان انرژی اتلافی نیز بدست می‌آید که این اطلاعات پیش نیاز انجام مطالعات فنی و اقتصادی لازم برای تعیین راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی و نهایتاً تعریف و اجرای پروژه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی خواهد بود.

مصرف ویژه انرژی الکتریکی و حرارتی

کارخانه شیشه همدان دارای دو کوره می‌باشد. کوره یک از نوع ریژنراتوری sideport می‌باشد، که در مردادماه ۱۳۸۱ خاموش و پس از انجام تعمیرات اساسی از آبان‌ماه ۱۳۸۳ مجدداً راه‌اندازی شده است. کوره دوم از نوع ریژنراتوری endport بوده که در فروردین‌ماه ۱۳۷۸ راه‌اندازی گردیده و عمر آن حدود شش سال است.

در جدول (۱) متوسط ماهیانه مصرف انرژی الکتریکی این کارخانه در ساعات اوج بار، ساعات عادی، ساعات کم‌باری و ضریب قدرت و ماکزیمم دیماند در سالهای ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ ارائه شده است. با توجه به جدول مذکور ضریب بار الکتریکی کارخانه مذکور در سال ۱۳۸۲، شش ماهه اول سال ۱۳۸۳ و آذرماه تا انتهای اسفند ماه ۱۳۸۳ به ترتیب ٦٥٪ ، ٦٨٪ و ٨٦٪ بدست می‌آید. لازم به ذکر است که علت تفکیک سال ۱۳۸۳ به یک بازه شش ماهه اول سال و بازه آذرماه تا انتهای اسفند ماه ۱۳۸۳ به منظور محاسبه ضریب بار، آن است که کوره شماره یک این کارخانه در آبان‌ماه سال۱۳۸۳ راه‌اندازی شده و در نتیجه محاسبه ضریب بار بر اساس اطلاعات سال ۱۳۸۳ ، ارزیابی صحیحی از ضریب بار در این کارخانه بدست نمی‌دهد.

جدول ۱ـ انرژی الکتریکی مصرفی به تفکیک ساعات اوج بار(kWh)، ساعات عادی(kWh)، بی‌باری(kWh)، ضریب قدرت و ماکزیمم دیماند(kW)

۱۳۸۲					۱۳۸۳				
اوج بار	ساعات عادی	کم‌باری	ضریب قدرت	ماکزیمم دیماند	اوج بار	ساعات عادی	کم‌باری	ضریب قدرت	ماکزیمم دیماند
۱۵۲۲۳۹ (متوسط ماهیانه)	٤٧٩٢٤٨ (متوسط ماهیانه)	۳۰٤٦۲۳ (متوسط ماهیانه)	۰,۹۹ (متوسط سالیانه)	۱۹٦۳ (ماکزیمم سالیانه)	بر مبنای شش ماه اول سال ۱۷۱۳۵۱	بر مبنای شش ماه اول سال ۵۵٤۳۸٦	بر مبنای شش ماه اول سال ۳۳۸۷٤۹	۰,۹۹ (متوسط شش ماهه)	۲۱۱۹ (ماکزیمم شش ماهه)
					بر مبنای آذر ماه تا انتهای اسفند ۳٤۳٦۳۰	بر مبنای آذر ماه تا انتهای اسفند ۱۰۱۱۲۱۷	بر مبنای آذر ماه تا انتهای اسفند ٦٦۲٤۹۷	۰,۹۵ (متوسط سه ماهه)	۳۲٦۰ (ماکزیمم سه ماهه)

متوسط مصرف ماهیانه گاز طبیعی در کارخانه شیشه همدان در سال ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ در جدول(۲) ارائه شده است. لازم بذکر است که اطلاعات جدول مذکور در سال ۱۳۸۲ و شش ماه اول سال ۱۳۸۳ عملاً نشان دهنده مصرف گاز طبیعی کوره دو می‌باشد.

جدول ۲ـ مصرف ماهیانه گاز طبیعی کارخانه شیشه همدان

سال	۱۳۸۲ (Nm^3)	۱۳۸۳ (Nm^3)
متوسط ماهیانه	۸۰٦۲۵۹	بر مبنای شش ماه اول سال ۸۲۹۸۸۱
		بر مبنای دی ماه تا انتهای اسفند ۱۸٤۵۱٦۱

میزان کشش مذاب، محصول تولیدی، نسبت میزان محصول تولیدی به کشش مذاب و مصرف ویژه انرژی الکتریکی و حرارتی بر مبنای میزان کشش مذاب در کوره دو و یک کارخانه شیشه همدان در جداول (۳) تا (۵) ارائه شده است. با توجه به آنکه کارخانه مذکور دارای واحد آرایش و خردایش می‌باشد، لذا مصرف ویژه انرژی الکتریکی در دو حالت که یکی بدون احتساب مصارف واحدهای خردایش و آرایش و دیگری با احتساب مصارف واحدهای مذکور می‌باشد، ارائه شده است. مصرف ویژه واحدهای خردایش و آرایش بر اساس اندازه‌گیریهای صورت گرفته ۲۸ kWh/ton molten glass می‌باشد. لازم بذکر است محاسبه مصرف ویژه انرژی الکتریکی هر کوره بر اساس نتایج اندازه‌گیری و مستندات مصرف انرژی الکتریکی کل کارخانه صورت گرفته است.

لازم به ذکر است که معیار جهانی مصرف ویژه انرژی حرارتی کوره‌های ریژنراتوری بسته به ظرفیت آن kcal/kg MGS ۲۱۰۰–۱۸۰۰ می‌باشد. بنابراین مشاهده می‌شود که مصرف ویژه انرژی حرارتی کوره‌های مذکور در محدوده معیارهای جهانی قرار دارد.

جدول ۳ـ متوسط ماهیانه کشش مذاب، محصول تولیدی و نسبت میزان محصول تولیدی به کشش مذاب در کوره دو و یک

شماره کوره	کشش مذاب (تن)		محصول تولیدی (تن)		نسبت محصول تولیدی به کشش مذاب (درصد)		درصد شیشه خرده مصرفی	
	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۲	۱۳۸۳
دو	**۳۳۴۱,۳۲**	**۳۵۳۵,۰۴**	**۲۵۸۰,۱۶**	**۲۷۳۵,۳۶**	**۷۷**	**۷۷**	**۳۰**	**۲۵**
یک	-	**۴۶۴۴,۸**	-	**۳۳۳۷,۹**	-	**۷۱,۹**	-	۲۸

جدول ۴ـ مصرف ویژه انرژی الکتریکی بر مبنای کشش مذاب در کوره دو و یک

شماره کوره	با احتساب مصارف واحد خردایش و آرایش (kWh/ton molten glass)		بدون احتساب مصارف واحد خردایش و آرایش (kWh/ton molten gass)	
	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۲	۱۳۸۳
دو	۲۸۰	۳۰۱	۲۵۲	۲۷۳
یک	-	۲۱۲	-	۱۸٤

جدول ۵ـ مصرف ویژه گاز طبیعی بر مبنای کشش مذاب در کوره دو و یک

شماره کوره	(Nm^3/ton molten glass)		(kcal/kg molten glass)	
	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۲	۱۳۸۳
دو	**۲۴۱**	**۲۳۵**	**۲۱۴۹**	**۲۰۹۱**
یک	-	**۲۱۹**	-	**۱۹۴۷**

راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی

۱ـ راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی

بر اساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های صورت گرفته بر روی مصرف‌کنندگان عمده انرژی الکتریکی (به تفکیک کوره یک و دو) راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی و میزان صرفه‌جویی انرژی ناشی از اجرای هر راهکار مشخص گردید که نتایج آن در جدول(٦) ارائه شده است[۱] .

جدول ۶ـ میزان صرفه‌جویی انرژی بکار گیری راهکارهای پیشنهادی الکتریکی

راهکار	نام تجهیز	میزان صرفه‌جویی انرژی (kWh/yr)	سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز	هزینه صرفه‌جویی شده در سال (میلیون ریال)	زمان بازگشت سرمایه (سال)
از مدار خارج نمودن ترانسفورماتور	T3	۸۷۵۰۰	-	۱٤	-
	T6	۷٤۰۰۰	-	۱۲	-
اصلاح سیستم روشنایی	-	۹۰۳٤۸۰	-	۱٤۸,٥	-
بهبود عملکرد تسمه‌های کمپرسورها	-	۱۰٥۰۰۰	-	۱۷	-
جمع		۱۱٦۹۹۸۰	-	۱۹۱,٥	-
استفاده از VSD جهت کنترل دور فن‌ها		۳۸٤۷۰۲۷	۷۹۱	٦۳۲	۱,۳
جمع کل	-	٥۰۱۷۰۰۷	-	۸۲۳,۳	-

۲- نمودار جریان انرژی در کوره شماره یک و دو

به منظور ترسیم نمودار جریان انرژی در کوره‌های ذوب شیشه و تعیین بازدهی انرژی آن، از روش غیر مستقیم و محاسبه تلفات حرارتی استفاده شده که مؤلفه‌های هر یک از تلفات مذکور عبارتند از [۱]:

الف- تلفات حرارتی محسوس ناشی از خروج گازهای احتراقی از دودکش(Q_1)

ب- تلفات ناشی از تبخیر آب تشکیل شده از هیدروژن موجود در سوخت(Q_2)

ج- تلفات حرارتی ناشی از تبخیر رطوبت موجود در هوای احتراق(Q_3)

د- تلفات حرارتی از منافذ و شکاف‌ها(Q_4)

ه- تلفات حرارتی از سطوح دیواره‌های جانبی(Q_5)

برای آنکه تصویری جامع از روند مصرف انرژی حرارتی در کوره شماره یک بدست آید، لازم است تا بازدهی انرژی این کوره به روش غیر مستقیم محاسبه شود.

در این روش کل انرژی حرارتی ورودی و تمام تلفات عمده ممکن در کوره بررسی و محاسبه می‌شود. جدول(۷)، خلاصه نتایج بدست آمده از محاسبه تلفات انرژی را در کوره یک و دو نشان می‌دهد.

جدول ۷ـ نتایج محاسبات تلفات حرارتی در کوره شماره یک

شرح	کوره یک	کوره دو
نرخ انرژی ناخالص ورودی به کوره	۹/۲۹۷ * ۱۰^۶ kcal/hr	۵/۹۹٤ * ۱۰^۶ kcal/hr
$\dot{Q}_1$	۱/۷۸ * ۱۰^۶ kcal/hr= مقدار تلفات انرژی ۱۹/۲٪ = درصد تلفات انرژی	۱/۷ * ۱۰^۶ kcal/hr= مقدار تلفات انرژی ۲۸/۳٪ = درصد تلفات انرژی
$\dot{Q}_2$	۱/۳ *۱۰^۶ kcal/hr= مقدار تلفات انرژی ۱۳/۹٪ = درصد تلفات انرژی	۰/۹ *۱۰^۶ kcal/hr= مقدار تلفات انرژی ۱۵٪ = درصد تلفات انرژی
$\dot{Q}_3$	۰/۰۹ * ۱۰^۶ kcal/hr= مقدار تلفات انرژی ۱٪ = درصد تلفات انرژی	۰/۰۹ * ۱۰^۶ kcal/hr= مقدار تلفات انرژی ۱/۵٪ = درصد تلفات انرژی
$\dot{Q}_4$	۰/۱٤ *۱۰^۶ kcal/hr= مقدار تلفات انرژی ۱/٦٪ = درصد تلفات انرژی	۰/۰٦ *۱۰^۶ kcal/hr= مقدار تلفات انرژی ۱٪ = درصد تلفات انرژی
$\dot{Q}_5$	۱/۲٦ × ۱۰^۶ kcal / hr= مقدار تلفات انرژی ۱۳/۵ ٪ = درصد تلفات انرژی	۱/۳ × ۱۰^۶ kcal / hr= مقدار تلفات انرژی ۲۱/٦ ٪ = درصد تلفات انرژی

به این ترتیب عملکرد حرارتی کوره شماره یک به صورت زیر جمع بندی می‌شود:

۹/۲۹۷ × ۱۰^۶ kcal/hr = انرژی حرارتی ورودی به کوره یک

٤/۵۷ × ۱۰^۶ kcal/hr = جمع کل تلفات انرژی

٤/۷۳ × ۱۰^۶ kcal/hr = انرژی حرارتی مفید

۵۰/۸ ٪ = بازدهی کوره

در گروه کوره‌های سوخت فسیلی، بازدهی فوق بازدهی قابل قبول و مطلوبی به شمار می‌آید چرا که بخش قابل توجهی از بازدهی از دست رفته، مربوط به سهم بسیار زیاد هیدروژن موجود در سوخت و نیز رطوبت موجود در هوا از کل اتلاف انرژی می‌باشد (جمعاً در حدود ۱/٤ میلیون کیلوکالری در هر ساعت معادل۱٤/۹ ٪ از کل تلفات انرژی حرارتی) که این امر مستقیماً ارتباطی به بهره‌وری عملکرد در واحد صنعتی ندارد. با این وجود در کوره شماره یک کارخانه شیشه همدان، در هر ساعت حدود ۳/۲ میلیون کیلو کالری انرژی حرارتی (معادل ۳٤/۳ ٪) از دودکش، سطوح خارجی کوره و ریژنراتورها و همچنین منافذ و شکافها به هدر می‌رود که می‌توان پتانسیل‌های صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای را در آن جستجو کرد. همچنین عملکرد حرارتی کوره شماره دو به صورت زیر جمع بندی می‌شود:

۱/۹۵ × ۱۰^۶ kcal/hr = انرژی حرارتی مفید

۳۲/۵ ٪ = بازدهی کوره

همانطور که ملاحظه می‌شود، بازدهی حرارتی کوره شماره دو کارخانه در مقایسه با کوره یک بطور قابل ملاحظه‌ای پایین‌تر است. جدول (۸)، تلفات حرارتی را در دو کوره با یکدیگر مقایسه می‌کند. این مقایسه دلایل پایین بودن نسبی بازدهی کوره دو را به روشنی نشان می‌دهد.

جدول ۸ ـ مقایسه درصد تلفات حرارتی در کوره‌های کارخانه شیشه همدان

ردیف	موارد اتلاف انرژی حرارتی	کوره ۱	کوره ۲
۱	خروج گازهای احتراقی خشک از دودکش	٪۱۹/۲	٪۲۸/۳
۲	بخار آب تشکیل شده از هیدروژن موجود در سوخت	٪۱۳/۹	٪۱۵
۳	رطوبت موجود در هوای احتراق	٪۱	٪۱/۵
٤	تلفات حرارتی از منافذ و شکاف‌ها	٪۱/٦	٪۱
٥	تلفات حرارتی از سطوح دیواره های جانبی	٪۱۳/٥	٪۲۱/٦

۳ـ پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی حرارتی/ مکانیکی

پتانسیل‌های صرفه‌جویی مصرف انرژی حرارتی و مکانیکی در نقاط مختلفی از فرآیند تولید کارخانجات شیشه وجود دارند.

پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی حرارتی/ مکانیکی در بخش‌های مختلف خط تولید کوره‌های شماره یک و دو نیز برای محاسبه اثربخشی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در جدول (۹) و (۱۰) آورده شده‌اند. یادآوری می‌شود که مبنای محاسبات، برآوردها و ارزیابی‌های به عمل آمده، وضعیت عملکردی خط تولید کوره‌ها در زمان انجام ممیزی انرژی بوده و این امکان وجود دارد که فرضیات مورد استفاده در محاسبه پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی در زیر بخش‌های مختلف فرآیند تولید، در طول زمان و در صورت بروز شرایط مختلف عملکردی، دستخوش تغییر گردند. ضمناً کاهش تلفات بچ مواد اولیه، نگهداری مستمر و در صورت لزوم نصب و جایگزینی حسگرهای از کار افتاده، تنظیم فشار بهینه کوره و کاهش فشار هوای فشرده تولیدی، رفع نشتی‌های هوای فشرده در مسیر توزیع و کاهش دمای هوای ورودی به کمپرسور نیز از جمله مواردی هستند که کنترل آنها منجر به صرفه‌جوئی انرژی خواهد شد[۱].

جدول ۹ـ پتانسیل‌های صرفه‌جوئی انرژی

راهکار صرفه‌جوئی انرژی	درصد صرفه جوئی	
	کوره شماره یک	کوره شماره دو
کاهش تلفات دودکش	٪۵	٪۱۰
کاهش تلفات حرارتی جابجایی / تشعشعی از سطح کوره	٪۱۰	٪۱۵
کاهش سطح منافذ و شکاف‌های دیواره‌های جانبی کوره، گلوگاه، ریفاینر و ...	٪٤۰	٪٤۰
کاهش ضایعات و ارتقاء بهره‌وری تولید	٪۱۰	٪۵
کاهش زمان ماند مذاب در کوره	٪۷	٪۷
کاهش وزن محصولات تولیدی به حداقل ممکن	٪٤	٪٦
افزایش مقدار شیشه خرده مصرفی	٪۵	٪۱۰
بهبود راندمان بازیافت حرارت در ریژنراتورها	٪۵	٪۱۵

ارزیابی سود آوری‌های صرفه‌جویی انرژی در کوره شماره یک و دو

هرچند جمع کل صرفه‌جویی در هزینه سالانه انرژی مصرفی در کوره شماره یک ناشی از اجرای راهکارهای فوق معادل ٤٣٩ میلیون ریال بدست می‌آید، اما با توجه به آنکه اجرای برخی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی بر پتانسیل صرفه‌جویی انرژی بر دیگر بخش‌ها تاثیر می‌گذارد و با احتساب ضریب همزمانی اثر راهکارهای پیشنهادی معادل ۰/۷(که بر اساس محاسبات اثرگذاری اجرای راهکارهای ارائه شده بر یکدیگر بدست می‌آید) مقدار سودآوری سالانه ناشی از صرفه‌جویی انرژی در کوره شماره یک کارخانه شیشه همدان حداقل معادل ۳۰۷ میلیون ریال پیش بینی می‌شود.

با توجه به اینکه جمع کل صرفه‌جویی در هزینه سالانه انرژی مصرفی در کوره شماره دو نیز ناشی از اجرای راهکارهای فوق معادل ٤٣٧ میلیون ریال بدست آمده است، اما با توجه به آنکه اجرای برخی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی بر پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در دیگر بخش‌ها تاثیر می‌گذارد و با احتساب ضریب همزمانی اثر راهکارهای پیشنهادی معادل ۰/۷ مقدار سودآوری سالانه ناشی از صرفه‌جویی انرژی در کوره شماره دو کارخانه شیشه همدان حداقل معادل ۳۰٦ میلیون ریال پیش بینی می‌شود[۱].

در این ارزیابی برای محاسبه هزینه انرژی صرفه‌جویی شده از دیدگاه بنگاه اقتصادی (کارخانه / مصرف کننده انرژی)، قیمت هر متر مکعب گاز مصرفی در سال ۱۳۸۳، به طور متوسط حدود ۱٤۰ ریال و قیمت برق مصرفی نیز بطور متوسط Rial/kWh ۱۵۰ در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۰ـ فهرست کلی راهکارهای کم هزینه بهینه‌سازی مصرف انرژی در خطوط تولید کارخانه شیشه همدان[۱]

پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی		نحوه تحقق پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی	کوره یک		کوره دو		جمع کل	
			مقدار صرفه‌جویی انرژی (kcal/hr)	هزینه صرفه‌جویی شده (سال/ میلیون ریال)	مقدار صرفه‌جویی انرژی (kcal/hr)	هزینه صرفه‌جویی شده (سال/ میلیون ریال)	مقدار صرفه‌جویی انرژی (kcal/hr)	هزینه صرفه‌جویی شده (سال/ میلیون ریال)
کوره	کاهش تلفات دودکش	– تنظیم نسبت سوخت به هوای کوره – تنظیم مشعل‌ها – افزایش بازدهی احتراق	٤٦٥٠٠٠	٦٣	٥٩٩٠٠٠	٨١	١٠٦٤٠٠٠	١٤٤
	کاهش تلفات حرارتی جابجایی/ تشعشعی از سطح کوره	– نگهداری مستمر – بکارگیری عایق‌های نسوز مناسب‌تر – عایق‌کاری اصولی	٨٨٥٠٠	١٢	١١٩٠٠٠	١٦	٢٠٧٥٠٠	٢٨
	کاهش سطح منافذ و شکاف‌ها در دیواره‌های جانبی ساختمان کوره	- رفع منافذ بین جداره‌های آجرها - رفع ریختگی اجرها - حذف فاصله هوایی اطراف مشعل‌ها - بستن دریچه‌های بازدید	٥٥٨٠٠	٧,٦	٢١٣٠٠	٢,٩	٧٧١٠٠	١٠,٥
	کاهش تلفات بچ مواد اولیه	- نگهداری بهینه سیستم شارژ مواد اولیه - تنظیم بهینه فشار کوره	×	×	×	×	-	-
	نگهداری مستمر و تعویض حسگرهای از کار افتاده	- کنترل صحت عملکرد حسگرها - کالیبره کردن حسگرها - تعویض حسگرها	×	×	×	×	-	-
	تنظیم فشار بهینه کوره	- عملکرد بهینه فن تنظیم فشار - تنظیم دمپر خروجی محصولات احتراقی	×	×	×	×	-	-

ادامه جدول (۱۰)

	پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی	نحوه تحقق پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی	کوره یک		کوره دو		جمع کل	
			مقدار صرفه‌جویی انرژی (kcal/hr)	هزینه صرفه‌جویی شده (سال/ میلیون ریال)	مقدار صرفه‌جویی انرژی (kcal/hr)	هزینه صرفه‌جویی شده (سال/ میلیون ریال)	مقدار صرفه‌جویی انرژی (kcal/hr)	هزینه صرفه‌جویی شده (سال/ میلیون ریال)
فرآیند	کاهش ضایعات و ارتقاء بهره‌وری تولید	- بهبود کیفیت مواد اولیه و شیشه خرده - توزیع بهینه دما در لهر - عملکرد صحیح ماشین‌های IS - انبارداری مناسب	۹۳۰۰۰۰	۱۲۶,۳	۳۰۰۰۰۰	۴۱	۱۲۳۰۰۰۰	۱۶۷,۳
	کاهش زمان ماند مذاب در کوره	- بهبود کیفیت مواد اولیه - افزایش درصد شیشه خرده - عملکرد کارآمد ماشین‌های IS	۸۸۰۰۰۰ m^3gas/yr	۱۲۳	۶۵۴۰۰۰ m^3gas/yr	۹۱,۶	۱۵۳۴۰۰۰ **m^3gas/yr**	۲۱۴,۶
	کاهش وزن محصولات تولیدی	- طراحی بهینه محصولات - افزایش کیفیت مذاب - عملکرد کارآمد ماشین‌های IS	۴۸۸۰۰۰ m^3gas/yr	۶۸,۴	۵۶۵۰۰۰ m^3gas/yr	۷۹,۱	۱۰۵۳۰۰۰ **m^3gas/yr**	۱۴۷,۵
فرآیند	افزایش مقدار شیشه خرده مصرفی	- عملکرد بهتر واحد خردایش شیشه - تامین شیشه خرده بیشتر	۹۳۰۰۰	۱۲,۶	۱۲۰۰۰۰	۱۶,۳	۲۱۳۰۰۰	۲۸,۹
	افزایش کشش مذاب در کوره	- بهبود کیفیت مذاب - عملکرد بهینه ماشین‌های IS - تعمیر و نگهدار مستمر	*	*	۴۶۶۰۰۰ (m^3gas/yr)	۷۱,۷	**۴۶۶۰۰۰ (m^3gas/yr)**	۷۱,۷
سیستم هوای فشرده	کاهش فشار هوای تولیدی	- تنظیم فشار کمپرسورها - رفع نشتی‌های هوا - اصلاح شبکه توزیع	*	*	*	*	-	-
	رفع نشتی‌های هوای فشرده در مسیر توزیع	- انجام تست نشتی یابی هوا - رفع نشتی‌های موجود	▲	▲	▲	▲	-	-
	کاهش دمای هوای ورودی به کمپرسور	- کانال‌کشی هوای خنک بیرون به ورودی کمپرسور - تهویه فضای کمپرسورخانه	▫	▫	▫	▫	-	-
ریژنراتورها	بهبود راندمان بازیافت حرارت در ریژنراتورها	- رفع گرفتگی‌های مسیر دود و هوا - حذف منافذ و شکاف‌های دیواره‌های جانبی - نگهداری مستمر عایق‌ها	۱۹۱۰۰۰	۲۵,۹	۲۷۹۰۰۰	۳۷,۸	۴۷۰۰۰۰	۶۳,۷
	ارزیابی سودآوری‌های صرفه‌جویی انرژی در کارخانه شیشه همدان		۳۰۷ میلیون ریال		۳۰۶ میلیون ریال		۶۱۳ میلیون ریال	

× اجرای این راهکار بطور مستقیم تأثیر چندانی بر کاهش مصرف انرژی ندارد، اما بطور غیر مستقیم از طریق بهینه‌سازی عملکرد کوره، افزایش عمر کوره و ریژنراتور و بهبود بازدهی ریژنراتور بر صرفه‌جویی مصرف انرژی تأثیر می‌گذارد.

* اطلاعات عملکردی برای بررسی این مورد کافی نبوده‌اند(کوره یک در آبانماه ۸۳ پس از انجام تعمیرات سرد مورد بهره‌برداری آزمایشی قرار گرفته است).

▲ انجام این مورد بدلیل آنکه برآورد میزان نشتی هوای فشرده به روش عملی مستلزم توقف کوتاه مدت خط تولید است، مورد بررسی قرار نگرفته است.

◘ با توجه به اقلیم سرد منطقه و نیز تهویه طبیعی مناسب فضای کمپرسورخانه، انجام این راهکار صرفه‌جویی انرژی، چندان مؤثر به نظر نمی‌رسد.

نتیجه‌گیری

با توجه به پتانسیل‌های شناسایی شده صرفه‌جویی انرژی کارخانه شیشه همدان مشاهده می‌شود که تمامی پتانسیل‌های ذکر شده از نوع بهینه‌سازی عملکرد در هنگام بهره‌برداری بوده و عمدتاً از طریق تنظیم بهینه پارامترهای عملکردی با هزینه ناچیز محقق می‌گردند. در جدول (٦) و (١٠) فهرست کلی راهکارهای بدون هزینه و کم هزینه بهینه‌سازی مصرف انرژی در خطوط تولید کارخانه شیشه همدان از بعد فنی و اقتصادی نشان داده شد.

در خصوص راهکارهای پرهزینه صرفه‌جویی انرژی، ذکر این نکته حائز اهمیت است که انجام این گونه راهکارها صرفاً در زمان تعمیرات سرد کوره‌ها امکان پذیر است و عمدتاً شامل تأمین عایق‌ها و نسوزهای کوره و نیز آجرهای چکر ریژنراتورها می‌شود.

منابع

١- عباس عباسی، "ممیزی انرژی در کارخانه شیشه همدان"، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور، خردادماه ١٣٨٤