

بهینه سازی مشعل کوره‌های پریودیک پخت کاشی و سرامیک

حسین احمدی کیا^۱، عباس فدایی^۲

گروه مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی سینا
ahmaadikia@basu.ac.ir

چکیده

کیفیت احتراق، چگونگی انتقال حرارت در کوره و فرایند زمانی پخت، نقش زیادی در کاهش مصرف سوخت، کاهش ضایعات و افزایش کیفیت محصولات سرامیکی و کاشی دارند. تغییرات زمانی دمای کوره و دبی سوخت برای پخت کاشی خام و لعاب در یک کارخانه اندازه‌گیری شده و مشخصات هندسی، عملکرد حرارتی، آلودگی زیست محیطی و مزایا و معایب آن مورد ارزیابی قرار گرفته است. سپس با توجه به موازنه حرارتی یک کوره پریودیک سنتی در همدان و تعیین میزان مصرف سوخت، دبی هوا، تلفات حرارتی و بازده گرمایی، یک مشعل مدرن اتوماتیک خاص این نوع کوره‌ها طراحی و ساخته شده است. مشعل ساخته شده در شرایط مختلف کوره مورد آزمایش قرار گرفته است. این مشعل هیچ محدودیتی در استفاده برای کوره‌های پخت کاشی و سرامیک مختلف ندارد. استفاده از این مشعل موجب صرفه‌جویی سوخت به میزان ۲۷ تا ۳۷ درصد و کاهش زمان پخت به اندازه ۷۲٪ شده است. همچنین ضایعات کاهش یافته و کیفیت تولید بالا رفته است.

واژه‌های کلیدی: سرامیک- کوره- مشعل- احتراق.

۱- مقدمه

کوره‌های پخت سفال و سرامیک از جمله ابزارهای اولیه بشر محسوب می‌شوند. ظهور اولین کوره به ۸۰۰۰ سال پیش از میلاد مسیح بر می‌گردد. در ایران تعداد زیادی کارخانه تولید کاشی و سرامیک وجود دارند که بیشتر در اطراف تهران، اصفهان، شیراز، همدان، رشت و یزد متمرکز شده‌اند. استان همدان یکی از مراکز مهم تولید سفال، سرامیک و کاشی در ایران می‌باشد. طبق اطلاعات شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی همدان، ماهانه بیش از شش میلیون لیتر سوخت نفت گاز صرف ۲۸ واحد تولیدی صنعتی و بیش از ۵۰۰ واحد تولیدی سنتی شهر همدان می‌شود. این در حالی است که تمامی کوره‌های تولید سرامیک در این استان (و بسیاری از واحدهای کوچک و متوسط تولید کاشی و سرامیک در مناطق دیگر کشور) از نوع سنتی بوده و مصرف سوخت بالایی دارند. سادگی و ارزان بودن کوره‌ها و مشعلهای فعلی و نیز پایین بودن هزینه سوخت نسبت به مخارج دیگر موجب شده است تا تولید کنندگان تمایلی به بهینه سازی مشعل‌ها و کاهش مصرف سوخت نداشته باشند. هرچند طبق اطلاعات جمع آوری شده، حدود ۱۰ تا ۴۰ درصد ضایعات (و در نتیجه افزایش مصرف سوخت) در این واحدها وجود دارد که عمدتاً بخاطر عدم توزیع مناسب دما و شعله و تغییرات دمای نامناسب در طی زمان پخت می‌باشد.

در این مقاله به منظور بهینه سازی و افزایش بهره‌وری در فرایند پخت سرامیک و کاهش مصرف سوخت، یک مشعل مناسب برای کوره‌های پخت سرامیک طراحی و ساخته شده است. همچنین برای کاهش ضایعات (و در نتیجه کاهش مصرف سوخت)، سیستم اتوماسیون برای کنترل فرایند پخت طراحی و ساخته شده است. برای این منظور فرایند پخت قطعات سرامیکی و کاشی و تغییرات زمانی دما، تغییرات زمانی دبی سوخت، نحوه انتشار شعله و نیز آنالیز حرارتی کوره‌ها با آزمایش

بدست آمده است. هدف از این مقاله ارائه نتایج طراحی و ساخت یک مشعل تحت فشار به منظور بهبود احتراق و نیز زمان‌بندی مناسب فرایند پخت و افزایش راندمان مشعل‌ها برای کاهش مصرف سوخت و کاهش ضایعات کوره‌های پخت سرامیک و کاشی می‌باشد.

۲- ساختمان کوره و مشعل کوره‌های پر بودیک پخت سرامیک

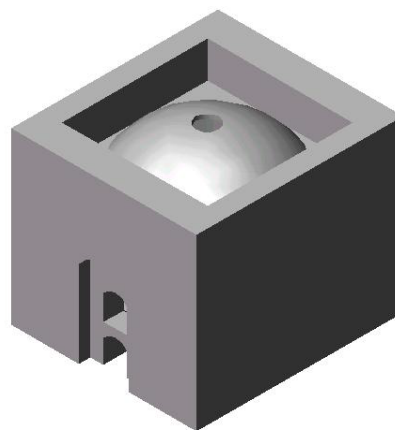
مطابق با اکثر ساختمان‌های سنتی ایران، کوره‌های پخت سنتی کاشی و سرامیک نیز حالت گنبدی شکل و ساده را دارند. در مرجع [۱] تعداد زیادی از کوره‌های پخت سرامیک بررسی شده است. کوره باید دارای فونداسیونی مناسب بوده و بر روی یک زمین سخت ساخته شود. برای جلوگیری از اتلاف حرارتی دیوارها، کوره‌ها در مجاورت هم ساخته می‌شوند. کوره‌ها معمولاً از آجر و رس پخته شده ساخته شده و دارای دیواره ضخیمی هستند. بر خلاف اکثر کوره‌ها که از ملات نسوز یا آجر نسوز استفاده می‌کنند، در کوره‌های سنتی ایران تنها از آجر و رس پخته شده استفاده می‌شود. در شکل (۱) شماتیک نمای بیرونی یک کوره سنتی نشان داده شده است. کوره‌ها دودکش بلندی ندارند و معمولاً محصولات احتراق از دریچه بالای کوره و مسیرهای کوچک قرار داده شده در گوشه‌های کوره خارج می‌شوند. در قاعده یا پای کوره، دریچه‌ای قرار گرفته است که داخل آن مشعل جای می‌گیرد. هوای مشعل از دالانی در زیر کف کوره تغذیه می‌شود.

توزیع مناسب دما در کلیه قسمت‌های کوره و نیز زمان‌بندی مناسب دما در طول فرایند پخت، می‌تواند در کاهش ضایعات سرامیک و در نتیجه کاهش مصرف سوخت کمک نماید. با کوتاه کردن زمان پخت (با توجه به نوع محصول تولیدی) نیز می‌توان تولید را افزایش و در نتیجه مصرف سوخت را کاهش داد. بنابراین مهمترین عامل در مصرف سوخت، کاهش ضایعات و افزایش کیفیت محصولات تولیدی، طرح مناسب مشعل می‌باشد.

مشعل‌های موجود در کوره‌های پخت سرامیک، مکانیزم بسیار ساده‌ای داشته و علی‌رغم عدم وجود فن و پمپ، کارایی نسبتاً مناسبی دارند (شکل ۲). در این نوع مشعل سوخت گازوئیل از ارتفاع زیاد وارد استوانه دو جداره شده و از طریق سوراخ‌های فلکه زیرین مشعل خارج می‌شود. با احتراق سوخت و افزایش دما، گازوئیل به شکل بخار خارج شده و احتراق کامل می‌گردد. مکانیزم ساده و قیمت پایین این نوع مشعل‌ها موجب شده است که اغلب واحدهای تولیدی از این نوع مشعل استفاده نمایند. اما این مشعل‌ها به دلیل ثابت بودن ساختار آنها، انعطاف پذیری کمی داشته و جوابگوی نیاز کلیه کوره‌ها نمی‌باشند. همچنین اندازه و جهت انتشار شعله و نیز ثابت بودن خصوصیات نازل‌های سوخت از مشکلات دیگر این نوع مشعل‌ها می‌باشد. به دلیل مصرف بالای سوخت واحدهای تولیدی، افزایش راندمان مشعل سوخت بسیار مهم می‌باشد.



شکل ۲- مشعل فعلی کوره‌های پخت سرامیک و کاشی



شکل ۱- نمای شماتیک یک کوره پخت سرامیک سنتی

یکی دیگر از مشکلات مهم مشعل‌های فعلی، عدم کنترل مناسب آنها به جهت زمان‌بندی لازم برای پخت و تغییرات دما در طی فرایند پخت می‌باشد. بدیهی است فرایند پخت سرامیک بسته به نوع محصول وابستگی زیادی به دما و تغییرات آن در طی زمان پخت دارد که با استفاده از مشعل‌های موجود این امر میسر نیست و در نتیجه باعث کاهش کیفیت و افزایش ضایعات و نیز مصرف زیاد سوخت می‌شود. از مشکلات دیگر مشعل‌های فعلی روش شدن آنها به صورت دستی می‌باشد که با توجه به پیش گرم شدن سوخت و تبخیر آن به سختی انجام می‌شود. بنابراین برای کاهش ضایعات و کوتاه کردن زمان پخت (در نتیجه کاهش مصرف سوخت) و نیز ساده روش شدن مشعل، ایمنی و سیستم اتوماسیون برای کنترل مشعلها لازم می‌باشد.

۳- آنالیز حرارتی کوره

از نقطه نظر مهندسی، یک کوره پرپودیک را باید ماشینی با راندمان حرارتی کم تلقی نمود، زیرا از کل انرژی داده شده به آن، مقدار بسیار کمی از حرارت کوره صرف گرم کردن محصولات سرامیکی می‌شود و قسمت اعظم حرارت صرف گرم کردن خود کوره شده و یا از طریق دودکش، دیواره‌ها و غیره از بین می‌رود. در واحد تولیدی مورد آزمایش، معمولاً ۲۰۰ متر مربع کاشی (معادل ۲۵۰۰ کیلوگرم) تولید می‌شود. رطوبت بیسکویت کاشی حدود ۲٪ است. از این میزان کاشی، حدود ۲۰٪ ضایعات (و حتی تا ۴۰٪ ضایعات)، حدود ۲۰٪ کاشی درجه ۱، ۵۰٪ درصد کاشی درجه ۲ و ۳۰٪ درصد کاشی درجه ۳ تولید می‌شود (درجه بندی کاشی‌ها بر اساس تولید کارخانه است). دمای اولیه کاشی بر اساس دمای محیط اطراف کوره است که حداقل آن را صفر درجه سلسیوس در نظر می‌گیریم.

با استفاده از کنتور گازوئیل و فلومتر، دبی حجمی سوخت برای یک کوره ۴۵۰ lit برای پخت بیسکویت و ۴۰۰ lit برای پخت لعاب اندازه گیری شده است. اندازه گیری دبی حجمی هوا برای ما امکان پذیر نمی‌باشد، اما می‌دانیم که با کاهش میزان هوا، در صورتی که احتراق کامل باشد، دما افزایش می‌یابد. با توجه به دمای پخت کاشی و لعاب که حداکثر 1000°C می‌باشد و با توجه به مشخصات حرارتی گازوئیل تولیدی ایران [۲] و استفاده از روابط احتراق و نیز با توجه به دمای گازهای خروجی بدست آمده از ترموکوپل (که حدود 1200°C می‌باشد) و با فرض احتراق با تلفات حرارتی حدود ۲۰٪ انرژی کل سوخت، نسبت جرمی سوخت به هوا با فرض احتراق کامل، حدود ۳/۰۲ بدست می‌آید [۳]. بنابراین در ماکزیمم دبی سوخت مصرفی، ۴۰ lit/hr (دبی جرمی ۳۳/۲ kg/hr)، دبی جرمی هوا با ۵۰٪ هوای اضافه حدود ۱۵۰ kg/hr بدست می‌آید.

در لحظات اولیه پخت، دمای خروجی از دودکش اصلی (که مستقیماً بالای مشعل می‌باشد) معادل با دمای گاز است. در کارکرد اصلی کوره و پیک گرم، دمای گازهای خروجی از دودکش اصلی 950°C بدست آمده است. جنس کوره مورد آزمایش تماماً از آجر و خاک رس می‌باشد و ارتفاع آن ۳۶۰ m و قطر آن ۳۸۰ cm است (برای جزئیات بیشتر به مرجع [۴] رجوع شود). دیواره‌های کوره مقادیر زیادی حرارت جذب می‌کنند و زمان پخت و خنک شدن را طولانی می‌کند و برای مواردی که زمان پخت سرامیک زیاد نباشد بسیار مضر است، اما برای فرایند پخت طولانی مدت، دیواره‌های ضخیم کارایی مناسبی دارند [۵].

با استفاده از آزمایشات انجام شده برای یک کوره خاص با تولید حدود 200 m^2 کاشی در طی حدود ۱۱ ساعت پخت، نتایج زیر بدست آمده است [۴]:

- گرمای ایجاد شده توسط سوخت: ۳۷۷۴۰۰۰ kcal

- گرمای محسوس سوخت: ۲۶۲ MJ

- گرمای مصرف شده در قطعات خام کوره: ۲۲۱۳ MJ

- گرمای خروجی با گازهای احتراق خروجی: ۱۸۰۰ MJ

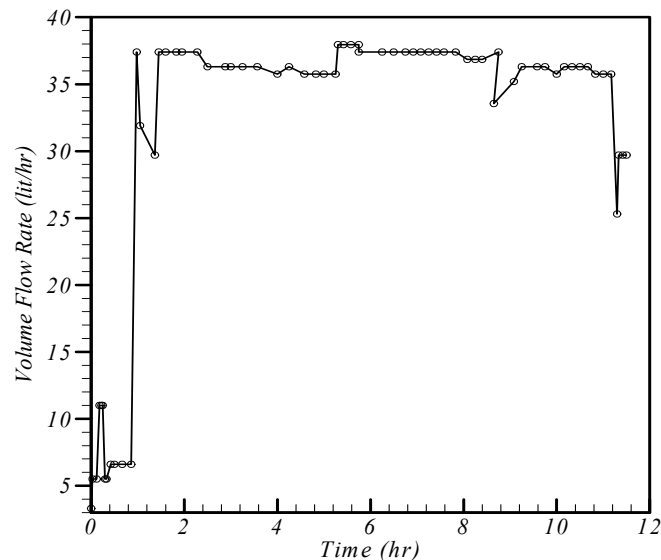
- گرمای ذخیره شده در مصالح کوره: ۱۰۰۰۰ MJ

به دلیل قرار گرفتن کوره‌ها در مجاورت هم، از دیواره‌های جانبی گرمایی تلف نمی‌شود و انرژی تنها از دیواره‌های جلو و عقب، سقف و کف تلف می‌شود که محاسبه آن دشوار است. با توجه به بکارگیری لایه‌ای از هوا در دیواره‌های جانبی، میزان تلفات حرارت کم شده است.

با توجه به گرماهای محاسبه شده فوق‌الذکر، بازده حرارتی حدوداً ۱/۴٪ بدست می‌آید. این در حالی است که در کوره رولری مورد استفاده در کارخانه جم بروجرد ۱۲٪ بدست آمده است. بنابراین در این کوره تقریباً حدود ۲۵٪ گرما از دودکش خارج شده و حدوداً ۶۵٪ از انرژی سوخت، بخاطر تلفات حرارتی دیواره‌ها و گرم شدن کوره می‌باشد. بقیه نیز برای تبخیر رطوبت، احتراق ناقص و غیره تلف می‌شود.

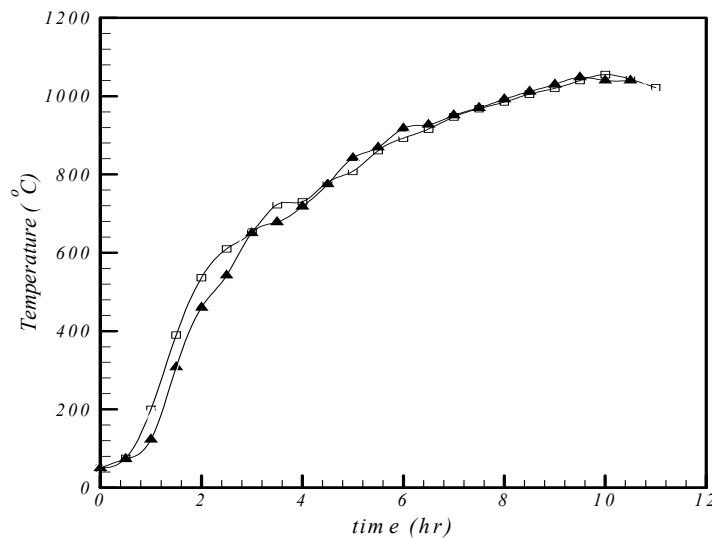
۴- تعیین خصوصیات کوره با مشعل قدیمی

تغییرات دبی سوخت در طول فرایند پخت لعاب کاشی با استفاده از روتامتر اندازه‌گیری شده و در شکل (۳) ترسیم شده است. مشاهده می‌شود که تغییرات ناموزنی در دبی سوخت وجود دارد که ناشی از کنترل شیر سوخت است.



شکل ۳- تغییرات دبی سوخت در کوره مورد آزمایش برای پخت کاشی با استفاده از مشعل قدیمی

تغییرات دمای کوره برای پخت لعاب کاشی دیوار در سه پرپود مختلف اندازه‌گیری شده و در شکل (۴) نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که در زمان راه‌اندازی به دلیل سرد بودن مشعل و عدم تبخیر سوخت، افزایش دمای کوره کند است. در این شرایط دود زیادی از دودکش کوره و دریچه ورودی به بیرون می‌آید. با افزایش دمای مشعل، شیر سوخت بازتر شده و سوخت بهتر می‌سوزد. در این حالت روند پخت کاشی سریع شده است، اما هیچ نشانی از روند کند شدن پخت کوره در دماهای بین ۵۷۰ تا ۶۰۰ درجه سلسیوس دیده نمی‌شود. در این محدوده دمایی سیلیس تغییر فاز داده و ضریب انبساط حرارتی زیادی دارد، بخش عمده‌ای از ضایعات در این قسمت بوجود می‌آید. البته به دلیل کند بودن کل فرایند، تا حدودی زمان کافی برای این محدوده دمایی ذکر شده وجود دارد. پس از رسیدن کوره به دمای حوالی 1070°C ، روند پخت آهسته‌تر شده و در حوالی ۱۰ ساعت پس از روشن شدن مشعل، کوره به سمت خاموشی پیش می‌رود و روند طبیعی سرد شدن انجام می‌شود.



شکل ۴- تاریخچه دمای یک کوره سنتی همدان در آزمایشات مختلف برای پخت کاشی

۵- طراحی و ساخت یک مشعل مدرن

مشعل‌های مدرن خوبی در بازار وجود دارند که بیشتر جهت دیگ‌های بخار طراحی و ساخته شده‌اند، بطوری که قیمت آنها نیز زیاد بوده و در کوره‌های پخت سرامیک به دلیل تعدد کوره‌ها مقرون به صرفه نیستند. همچنین خصوصیات خاص کوره‌های تناوبی استفاده از آنها را بسیار مشکل می‌کند. بدین جهت یک مشعل اتوماتیک مخصوص کوره‌های پخت سرامیک و کاشی طراحی و ساخته شده است. پارامترهای مهم در طرح مشعل مورد نیاز کوره‌های پخت سرامیک عبارتند از:

- ۱- قابلیت کنترل ساده دما
- ۲- کنترل ساده مصرف سوخت و هوای لازم
- ۳- قابلیت کنترل فشار سوخت به صورت دستی
- ۴- کم هزینه بودن و کارکرد مناسب در شرایط متنوع کاری
- ۵- قابلیت تبدیل به سوخت دوگانه سوز گاز و گازوئیل
- ۶- پخش مناسب شعله و پخش شعله به صورت عمودی
- ۷- آلودگی کم
- ۸- حمل و نقل ساده و نصب سریع و آسان
- ۹- دوره سرویس طولانی، اطمینان به کارکرد مداوم، ایمنی و سیستم خودکار روشن شدن مشعل

جزئیات طراحی و انتخاب اجزاء مشعل در مرجع [۴] ارائه شده است. در زیر مشخصات مشعل ارائه می‌شود.

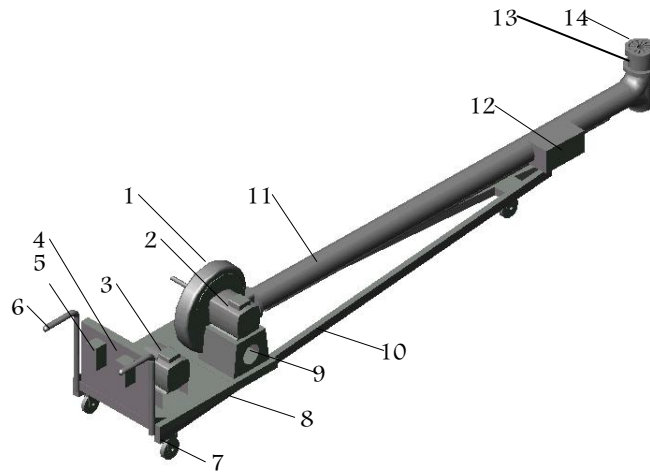
۱- ظرفیت مشعل: از نمودار شکل (۳) برای دبی ۴۰ lit/hr، ظرفیت مشعل حدود ۴۰۰ KW تعیین می‌شود. بعلاوه مستقیماً نیز می‌توان ظرفیت مشعل را بدست آورد.

۲- انتخاب نازل: مهمترین و حساس‌ترین جزء سیستم سوخت‌پاش و نیز مهمترین قسمت مشعل گازوئیل‌سوز، نازل سوخت می‌باشد. با استفاده از نمودارهای انتخاب نازل در مراجع [۶] و [۷] و مشخصات حرارتی کوره مورد آزمایش، نازل ۶۰^۰ شماره ۱۴ انتخاب گردیده است.

۳- قدرت مورد نیاز پمپ سوخت: با استفاده از رابطه برنولی، اختلاف فشار ۱۵ bar، در شرایط سیال تراکم ناپذیر و با در نظر گرفتن راندمانی برابر با ۸۵٪ و ضریب اطمینان لازم، قدرت پمپ ۳۰ W بدست می‌آید که ما از پمپ با قدرت ۱۰۰ W استفاده نموده‌ایم.

۴- ظرفیت دمنده: با استفاده از آنالیز حرارتی محصولات احتراق و دبی سوخت مصرفی، دبی دمنده $300 \text{ m}^3/\text{hr}$ محاسبه شده است.

بقیه اجزاء مشعل که طراحی یا انتخاب شده‌اند، عبارتند از: الکتروموتورهای دمنده و پمپ سوخت، فیلترهای سوخت، کلیدهای فرمان، سیستم چشم الکتریکی، فندک روشن شدن مشعل، مانومتر اندازه‌گیری فشار سوخت، ترموکوپلها، شعله پوش، سیستم کنترل فاصله شعله‌پوش تا نازل و فاصله شعله‌پوش از دهانه مشعل، سیستم مدار تاخیری، سیستم رست کننده، سیستم‌های استارت اتوماتیک، ترانس جرقه، مدار سیستم سوخت رسانی، سیستم برگشت سوخت، شیرهای مغناطیسی، شاسی و بدنه مشعل و ... این اجزاء در شکل (۵) نشان داده شده‌اند. جزئیات طراحی و انتخاب اجزاء در مرجع [۴] ارائه شده است.

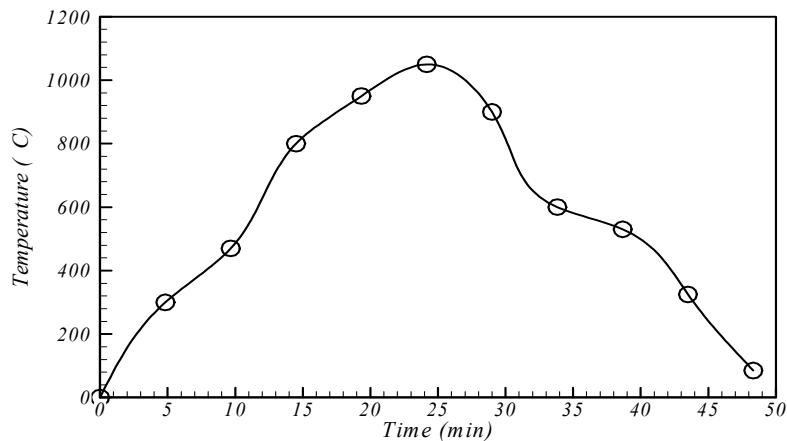


- | | | |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| ۱- فن و دمپر هوا | ۲- الکتروموتور فن | ۳- محل قرارگیری پمپ سوخت، فیلتر، مانومتر |
| ۴- دکمه روشن و خاموش فن | ۵- دکمه روشن و خاموش پمپ | الکتروموتور پمپ، کوپلینگ و شیر کنترل |
| ۶- دسته مشعل | ۷- چرخ | ۸- شاسی |
| ۹- پایه الکتروموتور | ۱۰- نگهدارنده لوله | ۱۱- لوله انتقال دهنده هوا و سوخت |
| ۱۲- ترانس جرقه | ۱۳- محل قرار گیری نازل و پایه متحرک | ۱۴- شعله گردان |
| | آن و الکترودها | |

شکل ۵- شکل شماتیک مشعل جدید ساخته شده

۶- نتایج آزمایشات تعیین تغییرات زمانی دمای کوره با استفاده از مشعل جدید

در مشعل‌های فعلی زمان مورد نیاز برای پخت بیسکویت کاشی بین ۱۱ تا ۱۶ ساعت و پخت لعاب کاشی بین ۸ تا ۱۱ ساعت است. این در حالی است که در کوره‌های رولری، زمان کل فرایند پخت کمتر از یک ساعت می‌باشد. بنابراین هرچند سرامیست‌های سنتی اعتقاد دارند روند سریع پخت کاشی و سرامیک موجب پایین آمدن کیفیت آنها می‌باشد، اما به اعتقاد ما باید بتوان زمان پخت کاشی در کوره‌های سنتی را کاهش داد. زیرا که در کوره‌های رولری زمان کل فرایند پخت یک ساعت می‌باشد. برای مثال نمودار تغییرات زمانی دما در کوره رولری کارخانه کاشی جم بروجرد اندازه‌گیری شده و در شکل (۶) نشان داده شده است. طبیعی است با توجه عدم کنترل منحنی دمایی در کوره‌های سنتی، کاهش این زمان معمولاً با افزایش ضایعات و کاهش کیفیت محصول همراه بوده است. بنابراین با توجه سیستم کنترل مناسب مشعل‌های ساخته شده، می‌توان منحنی پخت کاشی و سرامیک‌ها را تغییر داد که این امر علاوه بر دانش پخت، نیاز به روش آزمون و خطا دارد.



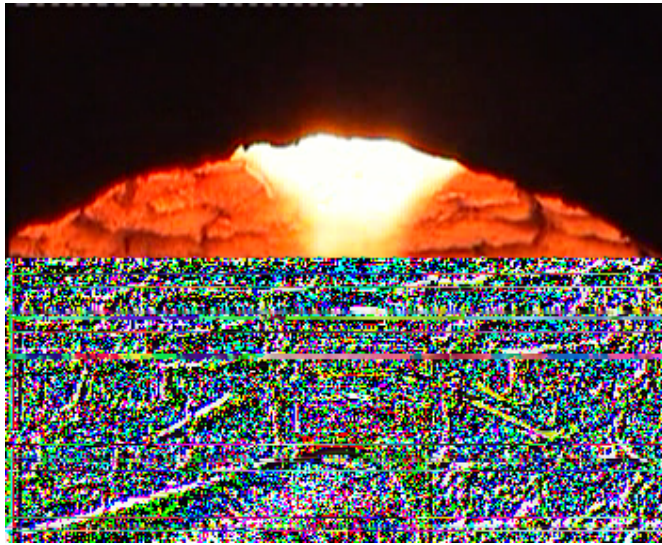
شکل ۶- تغییرات زمانی دمای پخت لعاب کاشی کوره رولری کاشی جم بوجود

مشعل ساخته شده برای یک کوره پخت کاشی یا سرامیک در کارخانه بهار سرام همدان آزمایش شده و منحنی شکل (۷) برای تغییرات زمانی دمای داخل کوره بدست آمده است که با منحنی بدست آمده از مشعل قدیمی مقایسه شده است. از شکل (۷) مشاهده می‌شود که روند تغییرات دمایی در کوره با مشعل جدید خیلی سریعتر انتخاب شده است (یادآوری می‌کنیم که در مشعل‌ها قدیمی این روند سریع پخت امکان پذیر نیست). این امر موجب می‌شود تا زمان پخت کاهش یابد. همچنین در کوره‌های قدیمی در زمان روشن بودن مشعل، دمای کوره تماماً به صورت صعودی است. در حالی که در مشعل جدید بعد از حدود ۱/۵ ساعت، دمای پخت در ۸۹۵ درجه سلسیوس ثابت نگاه داشته شده و مدت زمان بیشتری نسبت به مشعل‌های قدیمی در این دما نگاه داشته شده است. در این حالت انرژی داده شده سوخت دقیقاً برابر با اتلاف حرارتی از کوره است. پس از ۲/۵ ساعت ثابت بودن دما در شرایط ماکزیمم، مشعل به آرامی به سمت خاموش شدن هدایت شده است. این در حالی است که کوره با مشعل قدیمی تنها در مدت زمان کمی در دمای ماکزیمم قرار دارد و دما تماماً صعودی است (شکل ۷).

بنابراین مشاهده می‌شود که زمان روشن بودن مشعل جدید حدود ۶/۵ ساعت کمتر از مشعل‌های قدیمی است. هرچند در کوره‌های رولری می‌توان زمان پخت را به ۵۰ دقیقه نیز رساند، اما به دلیل کم بودن کیفیت خاک، رطوبت غیر کنترل شده در خاک و مهمتر از همه اتلاف حرارتی زیاد و ذخیره زیاد انرژی در بدنه کوره (به دلیل حجیم بودن کوره و ظرفیت حرارتی زیاد آن)، این زمان افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته است.

تغییرات دبی سوخت در طول فرایند پخت لعاب کاشی در مشعل قدیمی و جدید اندازه‌گیری شده و در شکل (۸) ترسیم شده است. در مشعل قدیمی تغییرات ناموزنی در دبی سوخت وجود دارد. پرش‌های ناگهانی در این منحنی معرف باز یا بسته شدن شیر سوخت می‌باشد. ماکزیمم دبی سوخت، ۳۶/۵ lit/hr بوده و با انتگرال گیری عددی از این منحنی، کل مصرف سوخت ۴۶۵/۵ لیتر بدست آمده است.

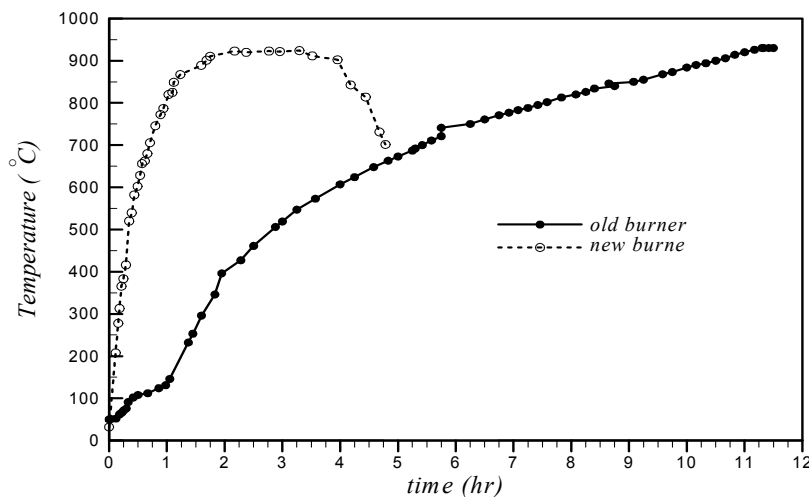
داده‌های اندازه‌گیری دبی در مشعل جدید (شکل ۹) نوسانات زیادی دارد و آن نیز به خاطر خطای اندازه‌گیری در ارتفاع سطح گازوئیل مخزن می‌باشد. ماکزیمم دبی مصرفی با استفاده از مشعل جدید ۴۴ lit/hr می‌باشد که البته کمی بیشتر از مشعل قدیمی است و این بدین دلیل سرعت زیاد دادن گرما توسط مشعل است. پس از آنکه مشعل به دمای ماکزیمم رسید، دبی کاهش یافته است. با این وجود مقدار کل سوخت مصرفی با استفاده از مشعل جدید ۳۴۳ لیتر می‌باشد که ۲۷٪ کمتر از مشعل قدیمی است و این به دلیل کاهش زمان پخت می‌باشد. البته باید توجه داشت که می‌توان مصرف سوخت را باز هم کاهش داد. با آزمایشات بیشتر و کمی مقاوم کردن خاک می‌توان دمای کوره را به ۱۰۰۰ درجه سلسیوس رسانده و زمان پخت را کاهش داد. از طرفی حجیم بودن کوره و در نتیجه ظرفیت حرارتی زیاد آن موجب افزایش زمان پخت شده است. بنابراین با استفاده از مشعل جدید در کیفیت محصول مشابه (و حتی بهتر)، سوخت کمتر شده و آلودگی محیط زیست نیز کاهش قابل توجهی یافته است.



شکل ۸- انتشار شعله در مشعل ساخته شده (نازل ۱۵ با زاویه پاشش ۶۰°)



شکل ۷- مشعل اتوماتیک ساخته شده در حال آزمایش



شکل ۹- مقایسه تغییرات زمانی دمای داخل کوره برای یک کوره با مشعل قدیمی و مشعل جدید

۷- نتیجه گیری

- هرچند کوره‌های متناوب پخت کاشی و سرامیک سنتی بسیار ساده و کم هزینه می‌باشند، اما مصرف بالای انرژی آن و نیز کیفیت بد محصولات تولیدی ایجاب می‌کند که یا به سمت کوره‌های مدرن رولری برویم و یا آنها را بهبود بخشیم. بدیهی است که کوره‌های رولری بسیار مناسب هستند، اما در بسیاری موارد به دلیل هزینه بالا، تولیدکنندگان نمی‌توانند از آن استفاده نمایند. بدین منظور مشعل مدرن برای این نوع کوره‌ها طراحی و ساخته شد که نتایج زیر را به دنبال داشته است.
- ۱- مشعل ساخته شده اتوماتیک بوده و در آن سیستم‌های کنترل دبی سوخت، فشار سوخت، کنترل دبی هوا، فن‌دک و ... نصب شده‌اند. وجود چشم الکتریکی و سیستم‌های متعدد، ایمنی مشعل را زیاد کرده است.
 - ۲- کاهش مصرف سوخت حدود ۲۷٪ برای پخت لعاب کاشی و ۳۸٪ برای بیسکویت کاشی. البته باز نیز می‌توان مصرف سوخت را کاهش داد.
 - ۳- کاهش زمان پخت قطعات سرامیکی و در نتیجه افزایش ظرفیت تولید.

۴- آلودگی کم زیست محیطی به دلیل کاهش مصرف سوخت و عملکرد بهتر احتراق در لحظات اولیه روشن شدن مشعل.
 ۵- بر خلاف مشعل‌های موجود در بازار که شعله آنها افقی است، این مشعل شعله عمودی دارد. در حالت شعله عمودی، سوخت به سیستم مرکزی و فرمان دهنده شعله پاشش می‌کند، اما در مشعل ساخته شده به دلیل دور بودن نازل از سیستم مرکزی این مشکل وجود ندارد.

۶- عمر مشعل ساخته شده بسیار زیاد بوده و حتی می‌تواند روزها به صورت مداوم کار نماید.

۷- با توجه به تعداد زیاد کوره‌های پخت در یک کارخانه و متفاوت بودن کوره‌ها، متفاوت بودن نوع خاک و نیز فرایندهای مختلف پخت انواع محصولات سرامیکی، مشعل طوری ساخته شده است که قابلیت انعطاف زیادی داشته و در محدوده وسیعی از دماهای مختلف فعالیت نماید (این امر در مشعل‌های فعلی با بزرگ و کوچک شدن ابعاد مشعل و نازل‌های سوخت به صورت سعی و خطا انجام می‌پذیرد).

۸- با توجه به آنکه معمولاً یک کوره سه روز یکبار بارگیری می‌شود (یک روز برای شارژ و پخت و دو روز برای سرد شدن و تخلیه)، مشعل طوری ساخته شده است که بتواند به راحتی جابجا شود. در این صورت یک مشعل می‌تواند برای سه کوره مورد استفاده قرار گیرد.

۹- مشعل ساخته شده قابلیت تبدیل به دوگانه سوزی (گازوئیل و گاز طبیعی) را دارد.

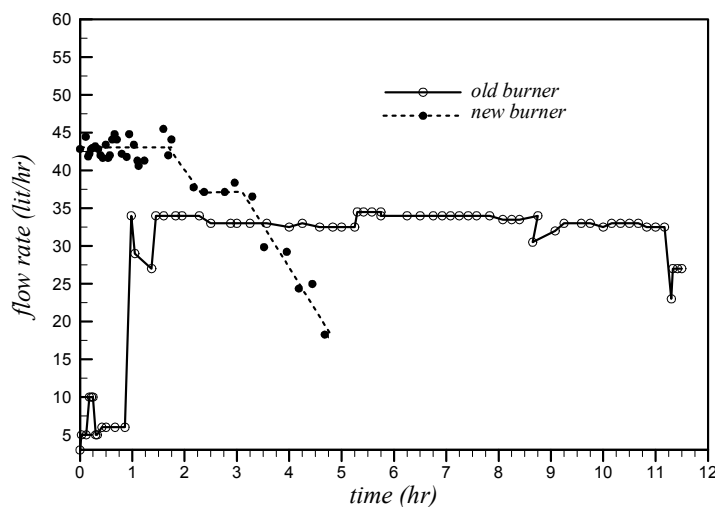
۱۰- با تغییر در روند پخت می‌توان کیفیت محصولات تولیدی را افزایش داد، این در حالی است که در مشعل‌های فعلی این امکان بسیار کم است.

علی‌رغم مزیت‌های فوق‌الذکر، استفاده از این مشعل در کارخانجات سرامیک سنتی مشکلاتی داشته که تا حدودی موجب عدم استقبال شده است. این مشکلات عبارتند از:

۱- به دلیل یارانه داده شده برای سوخت و ارزان بودن آن، انگیزه‌ای برای کاهش مصرف سوخت در این کوره‌ها نیست.
 ۲- از مشکلات مهم ذکر شده در استفاده از مشعل اتوماتیک جدید، برقی بودن آن است. بنابراین این کارخانجات نیاز به ژنراتورهای برق در لحظات خاموشی دارند.

۳- هزینه اولیه مشعل مدرن ساخته شده بیشتر از مشعل‌های ساده قدیمی است.

۴- منحنی پخت سرامیک و کاشی طی سالیان دراز به صورت تجربی برای کوره‌بانان و سرامیست‌های سنتی بدست آمده است و این تجربیات تماماً متکی به رنگ شعله، رنگ کوره، انتشار شعله و ... می‌باشد. بنابراین استفاده از مشعل جدید این تجربیات را به هم ریخته و سرامیست‌ها مجدداً باید تجربیات جدیدتری برای استفاده از مشعل‌های جدید کسب نمایند.



شکل ۱۰- مقایسه تغییرات زمانی دبی سوخت برای یک کوره با مشعل قدیمی و مشعل جدید

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور انجام یافته است. بدینوسیله نگارندگان از این سازمان و کارخانه‌های بهارسرام همدان و جم بروجرد که آزمایشات در آنجا انجام یافته است، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

مراجع

- 1- Trinks, W., and Mahinney, M.H., Industrial Furnaces, 1967.
- ۲- مشخصات استاندارد فرآورده‌ها، مدیریت تأمین و توزیع، مهندسی فرآورده‌ها، شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران، ۱۳۷۷.
- 3-Sontag, R.E., Borgankke, C. and Van Wylen, G., Fundamentals of Thermodynamics, John Wiley, 1998.
- ۴- احمدی کیا، ح و فدایی، ع، بهینه سازی و اتوماسیون مشعل کوره‌های پخت سرامیک، گزارش طرح تحقیقاتی، سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور، ۱۳۸۳.
- 5- Coulter, K.E., Safe Furnace Design and Operation, CEP, Nov. 1976
- ۶- مدرس اول، ج، مکانیزم مشعل‌های گازوئیل سوز، انتشارات افست چهر، آذر ۱۳۶۴.
- ۷- ساعد، ک، مبانی و اصول کار مشعل‌های حرارتی، انتشارات مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۰.