ممیزی مصرف انرژی در صنعت تولید سرامیک و کاشی

energyenergy.ir

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه ۹

۱-۱. تحول، توسعه فنی، تکامل در روش های تولید ۹

۱-۱-۱. دستگاههای تهیه بدنه سرامیک ها ۱۰

۱-۱-۲. دستگاههای فرم دهی ۱۲

۱-۱-۳. دستگاههای لعاب سازی ۱۲

۱-۱-۴. کوره ها ۱۳

۱-۱-۴-۲. سیر تحولی کوره ها از نظر ساختمان ۱۵

۱-۱-۴-۳. کوره در ایران ۱۵

۱-۱-۵. روش های نقش دهی و تزئینات ۱۷

۱-۱-۶. ابزارهای اندازه گیری درجه حرارت ۱۸

۱-۲. میزان تولید و مصرف محصولات سرامیکی ۱۸

۱-۲-۱. وضعیت جهانی صنعت کاشی و سرامیک ۱۹

فصل دوم : شناسایی و بررسی روشهای بازیافت حرارت از کوره های محصولات سرامیکی ۲۱

۲-۱. فرآیند تولید محصولات سرامیکی ۲۱

۲-۱-۱. مواد اولیه ۲۱

۲-۱-۲. آماده سازی مواد ۲۱

۲-۱-۳. شکل دادن ۲۲

۲-۱-۳-۱. شکل دادن در حالت پلاستیک ۲۳

۲-۱-۳-۲. شکل دادن به روش ریخته گری دوغاب ۲۳

۲-۱-۳-۳. شکل دادن به روش پرس ۲۳

۲-۱-۳-۴. پخت ۲۳

۲-۱-۴. درجه بندی و بسته بندی ۲۴

۲-۱-۵. آماده سازی لعاب ۲۴

۲-۲. مطالب تکمیلی در مورد صنعت تولید ظروف چینی و چینی بهداشتی ۲۵

۲-۲-۱. صنعت تولید ظروف چینی ۲۵

۲-۲-۲. فرآیند تولید ظروف چینی ۲۶

۲-۲-۲-۱. مرحله اول برای آماده سازی مواد در تکنولوژی سنتی ۲۶

۲-۲-۲-۲. مرحله اول برای آماده سازی مواد در تکنولوژی مدرن ۲۶

۲-۲-۲-۳. مرحله دوم برای شکل دادن مواد در تکنولوژی سنتی ۲۶

۲-۲-۲-۴. مرحله دوم برای شکل دادن مواد در تکنولوژی مدرن ۲۷

۲-۲-۲-۵. مرحله سوم - پخت ۲۷

۲-۲-۳. صنعت تولید چینی بهداشتی ۲۹

۲-۲-۴. فرآیند تولید چینی بهداشتی ۲۹

۲-۲-۴-۱. مرحله اول - آماده سازی مواد ۲۹

۲-۲-۴-۲. مرحله دوم - شکل دادن ۳۰

۲-۲-۴-۳. مرحله سوم - پخت ۳۰

۲-۲-۴-۴. مرحله چهارم ۳۱

energyenergy.ir

۲-۳. تقسیم بندی کوره های محصولات سرامیکی **۳۲**
۲-۳-۱. انواع کوره های محصولات سرامیکی ۳۳
۲-۳-۱-۱. کوره متناوب ۳۳
۲-۳-۱-۲. کوره نیمه مداوم ۳۴
۲-۳-۱-۳. کوره مداوم ۳۵
۲-۳-۲. تقسیم بندی کوره های پخت بر اساس حالت شعله ۳۵
۲-۳-۳. تقسیم بندی کوره های پخت بر اساس نوع سوخت مصرفی ۳۶
۲-۳-۴. تقسیم بندی کوره های پخت بر اساس نوع کاربرد ۳۶
۲-۳-۵. تقسیم بندی کوره های پخت بر اساس مسیر شعله ۳۶
۲-۳-۵-۲. کوره با مکش به سمت بالا ۳۶
۲-۳-۵-۳. کوره با مکش افقی ۳۷
۲-۳-۵-۴. کوره با مکش به سمت پائین ۳۷
۲-۳-۶. دسته بندی کوره های سرامیک بر اساس شکل کوره ۳۸
۲-۳-۶-۱. کوه تونلی و میکرو ۳۸
۲-۳-۶-۲. کوره غلطکی یا رولری ۴۱
۲-۳-۶-۳. کوره الکتریکی ۴۱
۲-۴. جمع آوری اطلاعات مربوط به کوره های موجود در کشور **۴۴**
۲-۴-۱. روش پخت کاشی در کشور ۴۵
۲-۴-۱-۱. تولید به روش دو پخت ۴۵
۲-۴-۲. روش پخت ظروف چینی در کشور ۴۸
۲-۴-۳. روش پخت چینی بهداشتی در کشور ۵۱
۲-۵. پیشنهاد روشهای بازیابی انرژی با بررسی اولیه کوره ها **۵۲**
۲-۵-۱. مصرف انرژی در صنعت سرامیک ۵۲
۲-۵-۲. پیشنهاد روشهای بازیابی انرژی در بررسی اولیه کوره های سرامیکی ۵۳
فصل سوم : بررسی تجربیات کشورهای مختلف در خصوص روشهای بازیابی انرژی در صنعت سرامیک و کاشی ۵۶
۳-۱. گردآوری اطلاعات مربوط به شدت مصرف انرژی در کوره های تولید محصولات سرامیکی **۵۶**
۳-۲. اقدامات کشورهای دیگر در خصوص بازیافت انرژی **۶۱**
۳-۲-۱. اقدامات انجام گرفته در کشور انگلستان در خصوص بازیافت انرژی ۶۱
۳-۲-۲. اقدامات انجام گرفته در کشور آمریکا در خصوص بازیافت انرژی ۶۲
۳-۳. ارزیابی اولیه در خصوص میزان سرمایه گذاری مورد نیاز و میزان صرفه جویی **۶۳**
۳-۳-۱. راهکارهای بدون هزینه ۶۳
۳-۳-۲. راهکارهای کم هزینه ۶۴
۳-۳-۳. راهکارهای پرهزینه ۶۴
فصل چهارم : ارائه راهکارهای کاهش وبازیافت انرژی درکوره ها ودسته بندی آنها درکارخانه کاشی ۶۵
۴-۱. مدیریت انرژی و ضرورت تشکیل آن در کارخانه کاشی **۶۵**
۴-۲. راهکارهای مدیریتی صرفه جویی انرژی در کارخانه کاشی **۶۵**
۴-۲-۱.راهکارهای کم هزینه مدیریتی ۶۵
۴-۲-۲. راهکارهای پرهزینه مدیریتی ۶۶
۴-۳. راهکارهای فنی صرفه جویی انرژی در کارخانه کاشی **۶۶**

۴-۳-۱. راهکارهای بهینه سازی محیط فرآیندی ۶۶
۴-۳-۲. راهکارهای بهینه سازی تجهیزات ۶۶
۴-۳-۳. راهکارهای فرآیندی ۶۷
۴-۴. راهکارهای افزایش راندمان کوره ها در کارخانه کاشی ۶۷
۴-۴-۱. کاهش اتلاف حرارت از بدنه ۶۸
۴-۴-۲. کاهش درصد هوای اضافی ۶۸
۴-۴-۳. کاهش درصد هوای اضافی از طریق تبدیل درفت طبیعی به درفت اجباری ۷۰
۴-۴-۴. انتخاب مشعل مناسب برای کوره ۷۲
۴-۴-۵. عایق کاری مناسب ۷۴
۴-۴-۶. راه اندازی سیستم اندازه گیری و مونیتورینگ ۷۵
۴-۴-۷. کنترل اتوماتیک ۷۶
۴-۵. دسته بندی راهکارها به راهکارهای بدون هزینه، کم هزینه و پر هزینه ۷۶
۴-۵-۱. راهکارهای بدون هزینه ۷۶
۴-۵-۲. راهکارهای کم هزینه ۷۷
۴-۵-۳. راهکارهای پر هزینه ۷۷
فصل پنجم : ارائه راهکارهای بازیافت حرارت و بررسی هزینه لازم ۷۸
۵-۱. ارائه طرحهای بازیابی حرارتی ۷۸
۵-۱-۱. پیش گرمایش هوای ورودی ۷۹
۵-۱-۲. تولید آب داغ برای مصرف پرسنل کارخانه ۸۷
۵-۱-۳. پیش گرمایش مواد خام ۸۸
۵-۱-۴. گرمایش سالن تولید ۸۹
۵-۱-۵. جایگزینی کوره های تونلی با رولری ۸۹

energyenergy.ir

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱. پتک های ضربه ای اولیه چینیان جهت خرد کردن فلدسپارها ۱۱
شکل۱-۲. نمای ساده یک دستگاه پاگمیل ۱۱
شکل۱-۳. شکل یک کوره بدوی در افریقا ۱۴
شکل۱-۴. شمای یک کوره باستانی یونانی ۱۴
شکل۱-۵. نمای خارجی و برش داخلی یک کوره بطری شکل ۱۵
شکل۱-۶. شمای یک کوره کندویی از نوع کشش تحتانی ۱۶
شکل۱-۷. نمایی از یک کوره تونلی ۱۷
شکل۲-۱. فرآیند تولید کاشی ۲۵
شکل۲-۲. فرآیند تولید ظروف چینی ۲۸
شکل۲-۳. فرآیند تولید چینی بهداشتی ۳۲
شکل۲-۴. کوره شاتل با واگن حمل مواد با درب متصل ۳۴
شکل۲-۵. طرز استفاده از حرارت هر محفظه برای گرم کردن محفظه های بعد ۳۵
شکل۲-۶. مسیر شعله و گردش حرارت در کوره های از نوع مکش به سمت (۱) بالا (۲) افقی (۳) پائین ۳۶
شکل۲-۷. کوره دو طبقه با مکش به سمت بالا ۳۷
شکل۲-۸. کوره نیوکاسل ۳۷
شکل۲-۹. کوره مستطیلی با مکش به سمت پایین ۳۸
شکل۲-۱۰. ساختار کوره تونلی ۳۸
شکل۲-۱۱. استفاده از دیوارهای مشبک در مقابل مشعل های گازوئیلی ۳۹
شکل۲-۱۲. محل استقرار کانال شن در زیر لبه های واگن برای جلوگیری از انتقال حرارت به زیر واگن ۴۰
شکل۲-۱۳. تصویر کوره رولری ۴۱
شکل۲-۱۴. نمونه هایی از کوره های برقی پرتابل ۴۲
شکل۲-۱۵. منحنی پخت کاشی ۴۷
شکل۲-۱۶. منحنی دما و فشار در مقطع طولی از کوره تونلی ۴۹
شکل۳-۱. مراحل فرایند تولید محصولات صنعت سرامیک ۵۶
شکل۳-۲. معرفی حامل های انرژی در فرآیند تولید کاشی ۵۷
شکل۳-۳. معرفی حامل های انرژی در فرآیند تولید ظروف چینی ۵۸
شکل۳-۴. معرفی حامل های انرژی در فرآیند تولید چینی بهداشتی ۵۹
شکل۳-۵. شماتیک فرایند تولید به کمک شیشه ۶۳
شکل۴-۱. بررسی اثرات هوای اضافی بر اتلاف سوخت کوره ۶۹
شکل۴-۲. تاثیر هوای اضافی بر راندمان ۷۰
شکل۵-۱. درصد صرفه‌جویی در مصرف سوخت در اثر پیشگرم کردن هوای احتراق ۸۰
شکل۵-۲. نمونه ای از سیستم پیشگرم کن هوای احتراق از نوع ری جنراتور ۸۱
شکل۵-۳. شماتیک نمونه ای از رکوپراتورهای تشعشعی ۸۲
شکل۵-۴. شماتیک نمونه ای از رکوپراتورهای جابجایی ۸۳
شکل۵-۵. سیستم پیش گرمایش هوای احتراق با دو فن ۸۴

energyenergy.ir

شکل۵-۶. سیستم پیش گرمایش هوای احتراق با یک فن..... ۸۴
شکل۵-۷. استفاده از گردش سیال واسطه مانند روغن برای پیش گرمایش هوای احتراق..... ۸۵
شکل۵-۸. بازیافت حرارت از گازهای خروجی اگزاست کوره پخت کاشی جهت پیشگرم هوای احتراق..... ۸۵
شکل۵-۹. دمای نقطه شبنم اسید سولفوریک حاصل از احتراق سوخت گاز..... ۸۶
شکل۵-۱۰. نمودار تغییرات راندمان کوره (کاهش تلفات) با دمای دود خروجی..... ۸۷
شکل۵-۱۱. شماتیک یک نمونه از بویلرهای بازیافت حرارت ۸۸
شکل۵-۱۲. بازیافت حرارت از گاز خروجی اگزاست کوره پخت کاشی ۸۹

energyenergy.ir

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۱-۱. وضعیت تولید، مصرف و بازار کاشی و سرامیک در جهان..... **۲۰**
جدول۲-۱. روشهای بازیابی حرارتی..... **۵۴**
جدول۳-۱. شدت مصرف انرژی کوره های مراحل مختلف تولید ظروف چینی..... **۶۰**
جدول۳-۲. شدت مصرف انرژی مربوط در کوره های تولید چینی بهداشتی طی فرآیند تک پخت..... **۶۰**
جدول۳-۳. شدت مصرف انرژی در کوره های پخت کاشی..... **۶۱**
جدول۴-۱. مقادیر شاخص هوای اضافی مورد استفاده در کوره ها و بویلرها با سوختهای متفاوت..... **۶۹**
جدول۴-۲. مشخصات نمونه ای از یک کوره قبل و بعد از تبدیل سیستم درفت طبیعی به اجباری..... **۷۱**
جدول۴-۳. میزان تولید NOX در مشعلهای استاندارد و مشعلهای Low NOX..... **۷۴**

energyenergy.ir

چکیده

سرامیکها یکی از سه دسته بزرگ مواد جامد مهندسی هستند. دو دسته دیگر را فلزات و پلیمرها تشکیل می‌دهند. از نظر شیمیایی، سرامیکها مواد معدنی و غیر فلزی هستند که به خصوص با حرارت دادن مواد طبیعی یا پودرهای فرآوری شده مصنوعی تولید می‌شوند. در فصل دوم گزارش حاضر به مسائل مربوط به فرآیند تولید محصولات سرامیکی و شناسایی روشهای بازیافت حرارت از کوره های محصولات سرامیکی پرداخته می‌شود. در فصل بعدی اطلاعات مربوط به شدت مصرف انرژی به صورت مجزا برای همه‌ی مراحل آماده سازی سرامیک و کاشی آورده شده است. در ادامه این فصل به بررسی تجربیات کشورهای مختلف در خصوص روشهای بازیابی انرژی در صنعت سرامیک و کاشی پرداخته شده است. در فصل چهارم بر روی مسائل مربوط به ارائه راهکارهای کاهش وبازیافت انرژی درکوره ها ودسته بندی آنها درکارخانه کاشی تمرکز شده است. به طور کلی راهکارهای موجود در راستای صرفه جویی مصرف انرژی در کارخانه کاشی شامل دو بخش مدیریتی و فنی میشود. در این فصل ابتدا به بیان راهکارهای کلی مدیریتی کم هزینه و پر هزینه در صنعت سرامیک پرداخته و سپس فرصتهای کم هزینه و پرهزینهٔ تکنیکی و فنی به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت ارائه راهکارهای بازیافت حرارت و بررسی هزینه لازم برای به کارگیری آنها بر اساس ظرفیت کارخانه کاشی مورد بررسی قرار می‌گیرد. اکثر فرآیندها و تجهیزات صنعتی در اغلب موارد برای تامین انرژی لازم، نیاز به دریافت انرژی دارند، لیکن از آنجا که امکان تبدیل تمام انرژی ورودی به کار مفید وجود ندارد، بخشی از این انرژی به شکلهای مختلف نظیر حرارت تلف می‌شود. از این رو به منظور استفاده مجدد از این حرارت تلف شده و صرفه جویی در مصرف سوخت، سیستم های متعددی توسعه یافته اند که به طورگسترده در صنایع مورد استفاده قرارمی‌گیرند.

energyenergy.ir

فصل اول

مقدمه

۱-۱. تحول، توسعه فنی، تکامل در روش های تولید

ریشه کلمه سرامیک برگرفته از واژه یونانی کراموس[۱] و به معنای «گل رس کوزه گری» یا «گل رس پخته شده و سفال» است. خود این واژه نیز ریشه سانسکریت داشته و به معنای « سوختن و پختن» است. بنابراین یونانی های پیشین این عبارت را هنگامی‌که منظورشان اشاره به محصولات پخته شده و از جنس خاک بوده به کار می‌بردند.

یکی از قدیمی‌ترین مواد شناخته شده برای بشر خاک رس است. مردم دارای فرهنگ های کهن، کشف کرده بودند که این ماده را هنگامی‌که نرم است، می‌توان به صورت های مختلف قالب گیری کرده و شکل داد، اما هنگامی‌که به وسیله آتش حرارت داده شود کاملاً سخت شده و دیگر به شکل اولیه بر نمی‌گردد. ساخت ابتدایی ترین سفال شناخته شده که به منظور نگهداری آب یا دانه های خوراکی و پختن غذا به کار می‌رفته به ۱۰.۰۰۰ سال پیش از میلاد مسیح برمی‌گردد و اولین قطعات سرامیک که در ایران بدست آمده، سفالهای متعلق به هزاره هشتم قبل از میلاد می‌باشد. اولین دگرگونی مهم در این صنعت اختراع چرخ سفالگری است (احتمالاً قدیمی‌ترین ماشین بشر) که باستان شناسان اختراع آن را در حدود هزاره پنجم قبل از میلاد می‌دانند. بسیاری از مراجع در جهان، ساکنان فلات مرکزی ایران را اولین مخترعین چرخ سفالگری می‌دانند. بدینگونه تاریخچه موادی که ما آنها را «سرامیک» می‌نامیم آغاز گشته که طی زمان غنی تر شده و پیشرفتهای بسیاری کرده است.

سرامیکها یکی از سه دسته بزرگ مواد جامد مهندسی هستند. دو دسته دیگر را فلزات و پلیمرها تشکیل می‌دهند. از نظر شیمیایی، سرامیکها مواد معدنی و غیر فلزی هستند که به خصوص با حرارت دادن مواد طبیعی یا پودرهای فرآوری شده مصنوعی تولید می‌شوند. بنابراین صنعت سرامیک، علم شناخت، ساخت و کاربرد اشیاء جامدی است که اجزاء اصلی تشکیل دهنده آنها مواد معدنی غیر فلزی و یا مواد اولیه مصنوعی می‌باشند. این تعریف باعث شده که به فارسی نیز معادل «صنعت کانی‌های غیر فلزی» برای صنعت سرامیک پیشنهاد گردد که طبق این تعریف، صنایع شیشه، سیمان و امثالهم نیز جزء صنایع سرامیک محسوب می‌شود. تعریف اخیر در ممالک آمریکای شمالی رایج است ولی در دیگر نقاط جهان و عمدتاً اروپا، صنعت سرامیک تا اندازه ای محدودتر تعریف می‌گردد. طبق این تعریف، سرامیکها عبارتند از اشیاء جامدی که اجزاء اصلی تشکیل دهنده آنها مواد معدنی غیر فلزی بوده و نیز ابتدا شکل گرفته و سپس درحرارت سخت می‌گردند. بنابراین صنایع سیمان و شیشه را جزء صنعت سرامیک به شمار نمی‌آورند.

امروزه برای بیشتر مردم، واژه سرامیک مفاهیمی‌چون ظروف غذا خوری، مجسمه ها و سفالهای تزئینی را در

۱-Keramos

ذهن تداعی می‌کند. این فرآورده ها بیانگر محصولاتی به نام «سرامیکهای سنتی» هستند. انواع نسوزها و دیر گـدازها، انواع آجرها، لوله های فاضلاب، انواع سفالهای سقف و کف، انواع کاشیهای کف و دیـواری، ظـروف خـانگی سـرامیکی، سرامیکهای بهداشتی، مقره ها و عایقهای الکتریکی از جمله این فرآورده ها محسوب می‌گردنـد. از سـوی دیگـر، طـی پنج دهه اخیر دسته تازه ای سرامیک ها که «سرامیکهای پیشرفته» نامیده می‌شوند، پدیدار شده و نقش عمـده ای را در کاربردهای صنایع نوین ایفا کرده اند. سرامیک های پیشرفته را با عبارتهای گوناگونی چون سـرامیکهای تکنیکـی و سرامیک های مهندسی یا سرامیک های ظریف (در ژاپن) نیز تعریف می‌کنند. این فـرآورده هـای پیچیـده عمـدتاً در ارتباط با پیشرفت و تکامل صنایع دیگر مطرح گردیده انـد. ایـن سـرامیک هـا از لحـاظ ویژگـی هـایی چـون خـواص مکانیکی، حرارتی، الکتریکی، نوری، مغناطیسی و مقاومت آنها در برابر خوردگی یا اکسیداسیون بسیار برتر از سرامیک های سنتی است. کاربردهای سرامیکهای پیشرفته، زمینه های وسیع و گونـاگونی را از جملـه پزشـکی (بیوسـرامیکها) هوا فضا، انرژی هسته ای، نیروگاههای برق، خودروسازی، حفاظت از محیط زیست (مبـدلهای کاتالیتیـک اتوماتیـک)، تجهیزات دفاعی ارتش ساخت محصولات و قطعات الکترونیکـی ماننـد کامپیوترهـای شخصـی، تلفنهـای خورشـیدی، ارتباطات بوسیله فیبرهای نوری و ساخت ابر رساناهای دما بالا را در بر می‌گیرد.

برخی از روشهای تولید سرامیک ها به سختی از ۵۰۰۰ سال قبل تا کنون بدون تغییـر مانـده در حالیکـه برخـی دیگر کاملاً بستگی به کشفیات شیمیو فیزیک مدرن دارند. شرح مختصری از مهمترین پیشرفتها و روشـهای مختلـف تولید در زیر خواهد آمد.

۱-۱-۱. دستگاههای تهیه بدنه سرامیک ها

بیشتر سرامیکها ترکیبات مواد معدنی غیر فلزی هستند. خاک رس یکی از قدیمی‌ترین مواد مصرفی بوده کـه در بیشتر بدنه ها استفاده می‌شده است. خـاک رس، فلدسـپارها (بـه طـور عمـده شـامل آلومینوسـیلیکات هـا)، ماسـه کوارتزی، سیلیکات اکسیدهای مختلف آهن، آلومینا، از مهمترین مواد اولیه سرامیکی هستند.

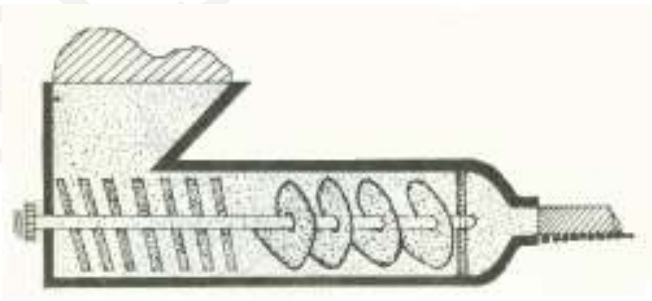
برای خرد کردن مواد اولیه از قبیل فلدسپارها، صنعتگران چین پتک های ضربه ای[۱] را اختراع کردند تا از قـدرت نیروی آب جهت متلاشی کردن قطعات درشت مواد معدنی سخت استفاده نمایند. جهت آسیاب مـواد نیـز از آسـیاب های سنگی استفاده می‌گردید. در حالیکه در قرن حاضر خرد کننده ها فکی[۲] و یـا چکشـی و دسـتگاههای بالمیـل[۳] جایگزین روش های قدیمی‌گردیده است.

۱- Stamp Mill
۲- jaw Crasher
۳- Ball Mill

شکل۱-۱. پتک های ضربه ای اولیه چینیان جهت خرد کردن فلدسپارها

تقریباً تا زمان معاصر برای مخلوط کردن و ایجاد حالت شکل پذیری در مـواد اولیـه اکثـراً از روش ورز دادن بـه وسیله دست یا پای انسان استفاده می‌شد. عمل ورز دادن همواره زمان زیادی را بـه خـود اختصـاص مـی‌داد و عامـل کاهش سرعت تولید محسوب می‌شد. استفاده از نیروهای غیر انسانی نه تنها باعث بالا رفتن کمیت تولید می‌شد بلکـه فرصتی به صنعتگران می‌داد تا بتوانند نیروی خود را صرف کارهای فکری و خلاقیت کرده و کیفیـت محصولاتشـان را بهبود بخشند.

جهت یکنواختی و افزایش چسبندگی مواد درون خمیر گل، دستگاه پاگ میل[۱] که با نیروی اسب بـه حرکـت در آمده و ابتدا در نیو انگلند [۲] متداول شده باعث گردید که بخشی از این عمل را تسهیل نماید.



شکل۱-۲. نمای ساده یک دستگاه پاگمیل

۱- Pug Mill
۲- New England

بعدها ماشین های ورزدهی گل در صنایع پرسلین [۱] و نیز دستگاههای پاک میل و اگور [۲] برای تهیه مواد اولیه سرامیک ها به وسیله نیروی بخار قدرت بازدهی فراوانتری یافتند. پیشرفت دیگر کوره های مخصوص خشک کردن دوغاب بود که به جای ظروف و حوضچه های تبخیری طبیعی آفتابی مورد استفاده قرار گرفت. دستگاههای فیلتر پرس [۳] و اتومایزر [۴] نیز در قرن اخیر استفاده جهانی پیدا کرده و به جای روش قبل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در هفتاد و پنج سال گذشته به طور کلی تغییرات و تحولات اساسی کمی‌در خصوص ماشین آلات اولیه مخصوص تهیه بدنه سرامیک ها به وقوع پیوسته به جز آنکه به جای چرخ دنده ها در ساختمان ماشین های پرس و سایر دستگاهها از قدرت هیدرولیکی و روش های کمپرسی استفاده بیشتری می‌شود.

۱-۱-۲. دستگاههای فرم دهی

تمام ظروف اولیه به وسیله دست شکل می‌گرفتند که در این روشها عمدتاً از رشته و یا لوله کردن گل و چسباندن آنها به یکدیگر و نیز ورقه کردن گل و فشار آن در قالب های سفالین استفاده می‌شده است. چرخ ظرف سازی و یا کوزه گری در حدود ۳۵۰۰ سال قبل از میلاد مسیح در مصر و خاورمیانه و در ۱۶۰۰ سال قبل میلاد نیز در کرت و یونان مورد استفاده قرار گرفت. در سال ۱۸۲۰ چرخهائی که به وسیله نیروی بخار به حرکت در می‌آمدند باعث تولیدات بیشتری شدند ولی بهره گیری از آنها در تولید کم غیر ممکن بود.

بعد از آن چرخهای برقی که با محرک کوچکی به حرکت در می‌آمدند به تدریج متداول شده و جانشین چرخهای پائی شدند. از آنجا که تهیه و ساخت ظروف چینی به علت آنکه گل آن چسب ندارد به طریق چرخهای معمولی مشکل است، دستگاه جی گر [۵] در سال ۱۸۲۵ با استفاده از قالب های گچی به وجود آمد که به کمک آن می‌توان قطعات متعدد و مشابه تولید کرد. حدود صد سال طول کشید تا اینکه این دستگاهها به صورت خودکار در آمد. بخش های صنعتی امروزه بیشتر از ماشین رولر [۶] و دستگاههای پودر پرس استفاده می‌کنند.

۱-۱-۳. دستگاههای لعاب سازی

مواد اولیه لعاب ها اکثراً از مواد معدنی سخت است که در هنگام استفاده بایستی کاملاً نرم و یکنواخت باشند. جهت خرد و نرم کردن مواد خام برای لعاب سازی ابتدا از هاون های سنگی برای خرد کردن و از آسیاب های دو کفه ای سنگی جهت نرم کردن آنها استفاده می‌شد. استفاده از آسیابهای گلوله ای در اواخر قرن نوزدهم تحولی بزرگ و پیشرفت قابل توجهی در تکنیک ساخت لعاب و بدنه پدیدار ساخت. روشهای لعاب دهی بر روی ظروف و اشیاء نیز گوناگون بوده اند. پس از روش غوطه ور ساختن شیء در دوغاب لعاب مدتها در انگلستان از روش ریختن گرد خشک شده لعاب بر روی ظروف و اشیایی که قبلاً در آب خیس خورده بودند. استفاده می‌شد که این روش لعاب یکنواختی

۱- Porcelain
۲- Augers
۳-Filter press
۴- Auto Mizer
۵-Jigger
۶-Roller

در سطح اشیاء ایجاد می‌کرد. این روش پس از مدتی به علت آزاد شدن ذرات ریز لعاب در هوا و خطرناک بودن آن جهت استنشاق به تدریج متروک گردید. استفاده از طریقه پاشیدن لعاب بر روی ظروف به وسیله اسپری کردن، روشی است که از اوائل قرن اخیر متداول شده است ولی قبلاً صنعتگران ایرانی و چینی در مواقع خاص اکسیدهای مختلف را به وسیله نی و دمیدن درون آن بر روی ظروف سرامیکی می‌پاشیدند.

۱-۱-۴. کوره ها

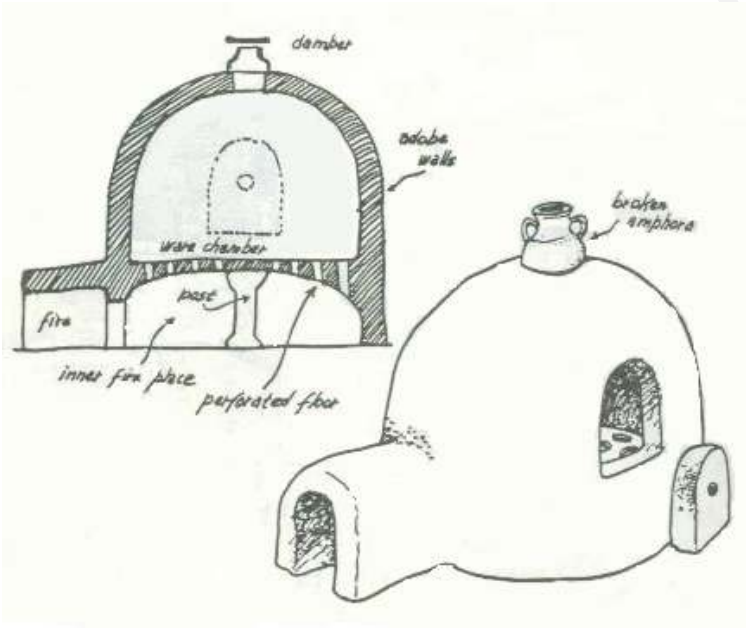
سیر تحولی کوره ها جهت حرارت دادن اشیاء سرامیکی یکی از مراحل اساسی و پایه های پیشرفت و توسعه در صنعت ساخت این اجسام می‌باشد. در ۸۰۰۰ سال قبل از میلاد، بشر اولیه کشف کرد که اشیاء گلی می‌توانند در مجاورت آتش پخته و سخت گردند. در طی هزاران سال این افراد با گود نمودن زمین و انباشتن قطعات سفال بر روی بستری از چوب های خشک اشیاء ساخته شده را حرارت می‌دادند.

معمولاً در هر بار آتش افروختن روی اجسام را با تکه های شکسته سفال پوشانده تا حرارت به تدریج به ظروف منعکس و در آخر نیز با پوشاندن آنها در خاکستر چوب تدریجاً آنها را سرد می‌کردند. بدنه اشیائی که از خاکهای قرمز رنگ ساخته شده بودند معمولاً بر اثر کربن فراوان به رنگ سیاه تبدیل شده و تنها روش تزئین نیز کندن و یا صیقل دادن آنها بوده است.

توسعه بعدی در این خصوص ایجاد کوره هایی با دیوارهای کوتاه است که تا حدودی حرارت را در خود محفوظ نگه می‌داشتند. در آن زمان کوزه گران به تدریج آموختند که با کندن قسمتی از تپه ها و ایجاد دیوارهایی می‌توانند حرارت بیشتری تولید کنند و به تدریج محلی جهت افروختن آتش در قسمت پائین و نیز بخشی برای انباشتن خاکسترهای چوب تعبیه کردند و به این ترتیب اساس اولین ساختمان کوره ها به وجود آمد.

امکان ساختن کوره های امروزی تا زمانیکه اصول طاقهایی ضربی شناخته شد وجود نداشت. شاید چینی ها اولین کسانی بودند که این گونه ساختمان را در کوره های خود به کار گرفتند. و قبل از آنها نیز مصریان قدیم و یونانیان از کوره های گنبدی شکل بهره می‌بردند. این نوع کوره ها دارای نیم سقف ضربی ولی دائمی‌بودند و درب ورودی که در اطراف آن تعبیه می‌گردید از مشخصات اصلی آنها بود. این طرح به تدریج منجر به ساخت کوره های کندوئی شکل با آتشخانه های متعدد در قسمت تحتانی گردید. نوع بطری شکل این کوره ها نیز طرحی پیشرفته تر داشتند.

شکل۱-۳. شکل یک کوره بدوی در افریقا



شکل۱-۴. شمای یک کوره باستانی یونانی

شکل۱-۵. نمای خارجی و برش داخلی یک کوره بطری شکل

۱-۱-۴-۲. سیر تحولی کوره ها از نظر ساختمان

به طور کلی ساختمان کوره از نظر علمی‌بر اساس محل قرار گرفتن آتشخانه و هوای ورودی نسبت به دودکش و گازهای خروجی به سه شکل کشش فوقانی[۱]، کشش تحتانی[۲] و کشش افقی[۳] تقسیم می‌شوند.

کشش فوقانی عبارت است از زمانی که حرارت از قسمت پایین کوره وارد شده و سپس به وسیله نیروی کشش طبیعی، گازها از قسمت فوقانی آن خارج می‌گردد. نقص عمده این نوع کوره ها در اینست که حرارت فراوانی در خود ایجاد نمی‌کنند و دسترسی به درجات حرارتی بالا در آنها محتاج مواد سوختنی بسیار زیادی است. کوره های بطری شکل و یا کندوئی از این نوع هستند.

کشش تحتانی عبارتست از زمانیکه حرارت از پائیین کوره وارد آن گردیده و در محیط داخلی آن دوران نماید و سپس به وسیله دودکش دوباره از قسمت پائین آن به بیرون برود. این نوع کوره نسبت به کوره های کشش فوقانی سوخت کمتری مصرف می‌کند و حرارت بیشتری را در خود نگه می‌دارد و اکثراً از سوختهای تمیز و بدون کربن در آنها استفاده می‌شود. نوع سوم مدل کوره های کشش افقی است که حرارت همواره از یک سمت وارد کوره گردیده و از قسمت دیگر خارج می‌گردد.

۱-۱-۴-۳. کوره در ایران

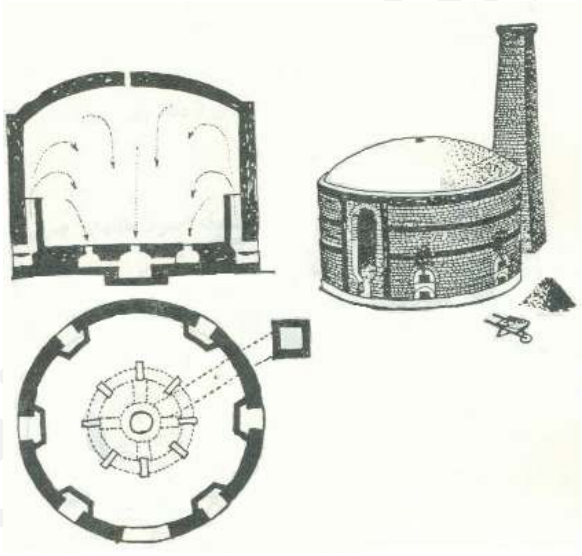
آثار سفالین بدست آمده از کاوشهای باستان شناسی حاکی از آن است که صنعتگران ایرانی در ساخت کوره های

۱-Up draft
۲-Down draft
۳-Cross draft

مخصوص پخت سفال با لعاب نمک های سربی از لحاظ چگونگی نحوه کنترل کیفی حرارتی و افزایش میـزان بـازدهی کوره از لحاظ پخت محصولاتی با مرغوبیت فراوان در مرحله ای از تاریخ به پیشرفتهای زیادی دست پیدا کردند. نمونه کوره هایی که از اوائل تاریخ متداول بوده ابتدا از نوع روباز و نیز اغلب با سـقفی غیـر دائـم الگـوئی اسـت کـه پـس از طرحهای اولیه مورد توجه صنعتگران واقع گردیده است.

در مدل اولیه این نوع کوره ها، محل درب ورودی و نیز دودکـش هـر دو در سـقف قـرار داشـته و دود از همـان محلی که اشیاء را داخل کوره می‌چیدند از آن خارج می‌گردیده است که به علت افزایش ایزولاسـیون اطـراف کـوره و تعدیل در میزان مصرف سوخت این نوع کوره ها در داخل زمین حفر می‌شده است. این طرح به تدریج کامل گشـته و کوره هایی با دیوارهای قطور، افزایش تعداد سوراخهای بیشتر جهت خروج دبی اکسید کربن در سقف و اطراف کوره و نیز جدا نمودن دودکش از مدخل ورودی معمول شده است.

بعد از آن در مراکز سنتی سرامیک از کوره های ناقص کندونی استفاده می‌کردند. بعـدها بـه دلیـل تغییـر مـواد سوختنی از چوب به مشتقات نفت و سهولت در مصرف سوختهای مایع، سیستم کوره هـای کنـدوئی و بطـری شـکل انگلیسی که معمولاً از نوع کشش فوقانی بود با تعبیه چندین هواکش در قسمت پائین کوره بـه نـوع کشـش تحتـانی مبدل شد.



شکل۱-۶. شمای یک کوره کندویی از نوع کشش تحتانی

در حال حاضر نیز به علت نیاز به تولیدات انبوه در کارخانجات تولیدی کاشی، چینی و پرسلین که با کـوره هـای پیش ساخته احداث گردیده است تماماً از سیستم های پخت مداوم[۱] به صورت کـوره هـای تـونلی و معـدودی از نـوع حرارت سریع[۲] بهره برداری می‌گردد.

قرار دادن ظروف در معرض حرارت به طور مستقیم تا قبل از اختراع کوره های دو جداره به وسـیله درسـلر [۳] در

1-Continuse kiln
2-Fast Firing kiln
3- Dressler

سال ۱۹۲۱ عملاً میسر نبود. تا قبل از این دوره ظروف و سایر اشیاء که در تهیه آنها وقت فراوانی به کار رفته بودند اکثراً درون محفظه هایی از نوع خاکهای دیر گداز به نام ساگر[1] قرار می‌گرفتند تا از برخورد مستقیم آتش در امان باشند.

با کشف و توسعه الکتریسیته و ایجاد کوره های برقی، عملاً مراکز حرارتی دو جداره کنار گذاشته شد. امروزه در برخی از کشورها که دارای آبشارها و توربین های آبی هستند و قیمت الکتریسیته نسبت به سوختهای جامد- مایع و گازی از لحاظ اقتصادی ارزان تر تمام می‌شود تمام صنایع سرامیک حتی با تولیدات انبوه از کوره های برقی استفاده می‌کنند.

پس از جنگ جهانی دوم، کوره های تونلی، به دلیل کاهش میزان مصرف سوخت، افزایش تولید و کاهش ضایعات مورد توجه قرار گرفته و شروع به کار کردند. نوع حرارت سریع [2] نیز از انواع دیگر این طرح می‌باشد.

شکل۱-۷. نمایی از یک کوره تونلی

۱-۱-۵. روش های نقش دهی و تزئینات

قدیمی‌ترین روش جهت تزئین اشیاء سرامیکی کشیدن خطوط به وسیله قلم مو و یا ایجاد شیار بر روی ظروف بوده است. رواج و بهره برداری از تکنیک لعاب نه تنها جهت پوشش اشیاء و افزایش استحکام آنها به کار رفته بلکه شفافیت و تلألو لعاب، خود وسیله ای جهت تزئین اشیاء بوده و کیفیت زیبائی و استاتیکی آن را افزایش می‌دهد.

محصولات سرامیکی به علت آنکه اکثراً دارای انحناء بوده و تهیه استین های رنگی مخصوص اشیاء سرامیکی بسیار مشکل و اکثراً گران قیمت می‌باشد بدین لحاظ متد تزئین اشیاء در طی قرون متمادی و تا قبل از قرن بیستم تحول بسیار کمی‌نموده است. در طی این زمان در جوار استفاده از قلم مو برخی اوقات از روش مهر و غلطک زنی نیز بهره برداری می‌شده است.

1-Sagger
2- Fast Fireing kiln

در صنعت کاشی سازی استفاده از استنسیل[1] جهت کاربرد یک طرح به دفعات متعدد به خصوص نزد سفالگران ایرانی بسیار مرسوم بوده است. همین طور با پیشرفت متد چاپ به طریقه سیلک اسکرین [2] باعث گردید که محصولاتی که دارای سطح افقی صاف هستند بدین طریق تزئین شوند. امروزه این متد کاملاً اتوماتیک شده و در مورد اشیاء استوانه ای شکل نیز به کار برده می‌شود. تکامل متد لیتوگرافی [3] در طی سالیان متمادی و سپس روش چاپ افست در عصر حاضر بر روی کاغذهائی که دارای یک پوشش ژلاتینی هستند موجب اختراع دکالز [4] یا عکس برگردان های سرامیکی گردید. رواج و بهره برداری از دکالزها در صنایع سرامیک موجب گردید که طرحهایی که در ماههای متمادی بر روی اشیاء نقاشی می‌شدند در کمتر از چندین دقیقه بر روی ظروف با کیفیت برتر منتقل شوند.

۱-۱-۶. ابزارهای اندازه گیری درجه حرارت

برای تعیین و تخمین درجه حرارت در زمان حرارت دادن اجسام درون کوره، در چین باستان گروههای متخصص کوره برای این کار تعیین شده بودند و برای روشن کردن و تنظیم درجه حرارت از یک کارگاه به کارگاه دیگر سفر می‌کردند. حرارت داخل کوره ها معمولاً به وسیله چشم و بر اساس تجربیات تخمین زده می‌شد که البته دقت کامل نداشت. یکی از پیشرفتهای اساسی در مورد تعیین درجه حرارت کوره ها تخمین دمای کوره از طریق اندازه گیری میزان انقباض برای مواد معدنی در درجه حرارت ویژه ای می‌باشد.

روش دیگر توسعه دماسنج های مخروطی [5] است که به نام کن[6] معروف هستند که از ترکیبات مختلف اکسیدها و خاکها به نسبت های دقیق درست شده اند. برای هر درجه حرارتی یک نوع کن ساخته می‌شود. در هر بار آتش کردن کوره تعدادی از آنها را در داخل کوره گذاشته و زمانی که دمای آن به حد تعیین شده رسید بر اثر حرارت مخروط مزبور به طرفی خم می‌شود و به وسیله روزنه ای که بر درب کوره قرار دارد می‌توان این تغییر را مشاهده و حرارت را قطع کرد. بعدها دماسنج های نوری مورد استفاده قرار گرفت و نوع متکامل آن به منحنی نگار نیز مجهز گردید که با سیستم کاملاً خودکار در صنایع سرامیک از آن استفاده می‌شد.

از نقصهای دماسنج های الکتریکی نسبت به مخروط های سرامیکی در اینست که هنگامیکه دمای کوره کاهش می‌یابد حرارت اجسام درون کوره به سرعت اتمسفر کوره، کاهش نمی‌یابد. لذا دمای واقعی اجسام داخل کوره توسط دماسنج های سرامیکی و نوسانات اتمسفر نیز توسط دماسنج های الکتریکی یا نوری تخمین زده می‌شود.

۱-۲. میزان تولید و مصرف محصولات سرامیکی

وجود منابع غنی و سرشار معدنی و کانی های فلزی و غیر فلزی باعث گردیده که بسیاری سرمایه گذاریهای

۱-Stencil
۲-Silks Creen
۳-Lithography
۴- Decals

5-Pyrametric Cones
6- Cone

جدید به صنایع کانی فلزی و غیر فلزی گرایش یابند. تولید کاشی و سرامیک نیز از جمله صنایعی می‌باشند که به علت سهم بالای منابع داخلی در قیمت تمام شده آنها از جایگاه ویژه ای برخوردار گردیده و از طرف دیگر سوخت ارزان که از فاکتورهای بسیار مهم در تولید اقتصادی این محصول می‌باشد. نیز عامل دیگری است که تولید کاشی و سرامیک را توجیح می‌کند.

۱-۲-۱. وضعیت جهانی صنعت کاشی و سرامیک

به اختصار وضعیت جهانی صنعت کاشی و سرامیک طی سال ۲۰۰۴ میلادی (جدول۱-۱) در ذیل آورده شده است:

- تولید جهانی ۶/۰۳۰ میلیون متر مربع
- مصرف جهانی ۵/۷۲۴ میلیون متر مربع
- مازاد جهانی ۳۰۶ میلیون متر مربع در سال ۲۰۰۴
- صادرات جهانی ۱/۵۰۵ میلیون متر مربع در سال
- صادرات جهانی ۲۶/۳ درصد کل مصرف جهانی می‌باشد.
- صادرات ۱۵ کشور اول صادر کننده ۲۴/۶ درصد مصرف جهانی می‌باشد.
- صادرات ایتالیا و اسپانیا ۵۰ درصد صادرات جهانی و ۱۳/۲ درصد مصرف دنیا است.
- واردات ۲۱ کشور عمده وارد کننده ۱۴/۶ درصد مصرف جهانی است
- ایران رتبه ۱۶ دنیا در مصرف کاشی و سرامیک را دارد
- ایران رتبه ۱۰ دنیا را در تولید کاشی و سرامیک دارد
- مواجه شدن کشور ایتالیا و اسپانیا با کاهش تولید و صادرات
- برزیل با تولید ۵۳۴ میلیون متر مربع و صادرات ۱۰۰ میلیون متر مربع چهارمین رتبه دنیا را در دست دارد.
- چین با تولید ۱۹۵۰ میلیون متر مربع و مصرف ۱۷۰۰ میلیون متر مربع مقام اول تولید و مصرف را در دنیا دارا می‌باشد و با ۲۰۶ میلیون متر مربع صادرات مقام سوم دنیا را کسب نموده است.
- کشور برزیل، ترکیه، روسیه، هلند، اندونزی، تایلند، هند، ویتنام، مراکش، کاستاریکا با سرمایه گذاری های انجام شده در حال توسعه و افزایش تولید می‌باشند.
- کشورهای صادر کننده توانسته اند حضور خود را در بازارهای جهانی به عنوان تولید کننده و توزیع کننده تثبیت نماید و این حضور به طور کلی ناشی از این است که آنها به مناطق مصرف نزدیک بوده و دارای نام تجاری معروف هستند.

جدول۱-۱. وضعیت تولید، مصرف و بازار کاشی و سرامیک در جهان

سال	۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴
تولید جهانی میلیارد متر مربع	۴/۵۹۲	۴/۸۲۳	۵/۰۷۱	۵/۲۲۶	۵/۷۵۰	۶/۰۳۰	۵/۹۵۰
مصرف جهانی میلیارد متر مربع	۴/۱۶۴	۴/۲۲۶	۴/۵۸۷	۴/۸۶۴	۵/۴۲۶	۵/۷۲۴	۶۰۰۰
مازاد	۴۲۸	۵۹۷	۴۸۴	۳۶۲	۵۴۶	۳۰۶	۵۰۰
درصد مازاد به تولید	۹/۳	۱۲/۳۸	۹/۵	۴/۹	۹/۵	۵/۳	۸/۳

واحد میلیارد متر مربع

energyenergy.ir

فصل دوم
فرآیند تولید محصولات سرامیکی و
شناسایی روشهای بازیافت حرارت از کوره های محصولات سرامیکی

۲-۱. فرآیند تولید محصولات سرامیکی

به طور کلی مواد و مصالح صنعتی را به سه گروه بزرگ تقسیم می کنند که سرامیکها یکی از این سه گروه هستند. دو گروه دیگر فلزات و پلاستیکها هستند. مشخصه اصلی سرامیک ها مقاومت بسیار زیاد آنها در برابر تأثیر مواد شیمیایی و دماهای بالاست. آجر و کاشی، آجر نسوز (از جمله در صنایع ذوب فلزات) ظروف چینی و سفالی، لعابها (برای استفاده به عنوان روکش فلزات و سرامیکهای دیگر)، آلومینا و باریم تیتانات (در صنایع الکترونیک)، دی اکسید اورانیوم (به عنوان سوخت هسته ای) و لعل (در لیزر)، بعضی از مواد و فرآورده های سرامیکی هستند. شیشه و سیمان نیز از مهمترین مواد سرامیکی اند. در ادامه به بررسی و شناخت فرایندهای موجود در صنعت کاشی (دیواری و کف)، ظروف چینی و چینی بهداشتی که در دسته بندی صنعت سرامیک، جزء سرامیک های سنتی محسوب می گردند، پرداخته خواهد شد. فرایند تولید این محصولات را می توان به طور کلی به چهار بخش اصلی و اساسی تقسیم نمود. (مطابق با بلوک دیاگرام زیر) هر یک از این بخش ها، بسته به نوع محصول تولیدی و نوع تکنولوژی تولید، از قسمت های مختلف تشکیل شده است. علاوه بر بخشهای اصلی ذکر شده، در کلیه این کارخانجات بخشی تحت عنوان آماده سازی لعاب وجود دارد که بخش جانبی مرتبط با فرایند محسوب می شود. در این مبحث، ابتدا مختصراً مواد اولیه مصرفی معرفی و سپس هر یک از بخش های اصلی ذکر شده به طور خلاصه تشریح می گردد.

۲-۱-۱. مواد اولیه

به طور کلی مواد اولیه سرامیکهای سنتی بر حسب نقش آنها در بدنه ها به سه دسته تقسیم می شود:

۱- مواد پلاستیک (شکل پذیر)

۲- پرکننده ها (فیلرها - Fillers)

۳- کمک ذوب ها یا گداز آورها (فلاکس ها - Fluxes)

۲-۱-۲. آماده سازی مواد

این بخش شامل آماده سازی مواد اولیه جهت تهیه بدنه می باشد. مراحل مختلف این بخش با توجه به تکنولوژی به کار رفته جهت شکل دادن محصول (تهیه بدنه) و همچنین با توجه به نوع محصول تولیدی متفاوت می

باشد.

بعد از تهیه مواد اولیه و توزین آنها طبق فرمولاسیون مورد نظر جهت تهیه بدنه هر محصول، مواد اولیه سخت، ابتدا خرد می گردند. عمل خرد کردن سنگها (مواد اولیه) به وسیله انواع سنگ شکنها و خرد کننده های فکی[۱]، غلطکی[۲] ، چرخشی[۳]، چکشی[۴] و دوار[۵] می تواند انجام گیرد.

در صنعت تولید کاشی، مواد اولیه به صورت پودر (گرانول) جهت تهیه بدنه استفاده می شود. تهیه پودر نیز خود به دو روش تر و خشک صورت می گیرد. در روش خشک، مواد اولیه بعد از خرد شدن، به صورت خشک در آسیاب‌های گلوله ای[۶] آسیاب شده و به صورت پودر در می آیند. اما در روش تر، مواد اولیه به همراه مقدار معینی آب و مواد روانساز به وسیله آسیاب های گلوله ای به صورت دوغاب در آمده و دوغاب بعد از هموژن شدن، توسط خشک کن های افشان یا پاششی[۷] به ذرات پودر تبدیل می گردد. در بعضی موارد خاص در صنعت تولید کاشی، از خمیر و یا اصطلاحاً از کیکهای پالایه بوسیله روش اکستروژن جهت تولید کاشی های خاص استفاده می شود.

در صنعت تولید ظروف چینی، با توجه به نوع تکنولوژی به کار گرفته شده، مواد اولیه به سه صورت خمیر (کیکهای پالایه)، دوغاب و پودر در آمده و جهت تهیه بدنه مورد استفاده قرار می گیرد. در تهیه خمیر، مواد اولیه به وسیله آسیابهای گلوله ای به دوغاب تبدیل و سپس توسط پالایه های فشاری[۸] ، به صورت خمیر در می آید که به خمیر حاصل اصطلاحاً کیک گفته می شود. دوغاب مورد استفاده در صنعت ظروف چینی، با استفاده از کیکهای پالایه (روش غیر مستقیم) تهیه می گردد. در این روش خمیر حاصل از مرحله پالایش (فیلتر پرس)، در داخل همزنهایی با آب مخلوط و دوغاب مورد نیاز حاصل می گردد. مواد پودر و یا گرانولهای مورد نیاز جهت تولید ظروف چینی، مانند صنعت کاشی، از خشک کردن دوغاب حاصل از آسیابهای گلوله ای، به وسیله اسپری درایرها تهیه می شود.

در صنعت تولید سرامیک های بهداشتی، مواد اولیه به صورت دوغاب جهت تهیه بدنه، استفاده می شود. به علت حجم زیاد دوغاب مورد نیاز، در این صنعت دوغاب حاصل از آسیابهای گلوله ای مستقیماً مورد استفاده قرار می گیرد.

۲-۱-۳. شکل دادن

روشهای شکل دادن در صنایع تولید کاشی، ظروف چینی و چینی بهداشتی کلاً به سه روش شکل دادن پلاستیک، شکل دادن به روش ریخته گری دوغاب و شکل دادن به روش پرس، تقسیم می شود.

---

۱ - Jaw crusher
۲ - Roller
۳ -Gyratory
۴- hammer
۵ - Rotary
۶ - Ball Mills
۷ - Spray dryer
۸- Filter press

energyenergy.ir

۲-۱-۳-۱. شکل دادن در حالت پلاستیک

در روشهای مختلف این نوع شکل دادن، مواد اولیه به صورت خمیر مورد استفاده قرار می گیرد. در صنعت تولید ظروف چینی، از روش پلاستیک، جهت تولید ظروف متقارن استفاده می گردد. در این روش ظروف توسط دستگاههای نیمه خودکار و تمام خودکار جیگر[۱] و جالی[۲] ساخته می شود. در تولید بعضی از کاشیهای کف، از روش اکستروژن یا شکل دادن بوسیله دستگاههای ورزدهنده (یکی از روشهای شکل دادن پلاستیک) استفاده می شود.

۲-۱-۳-۲. شکل دادن به روش ریخته گری دوغاب

در این روش، مواد اولیه، به صورت دوغاب در داخل قالبهایی به صورت بدنه مورد نظر در می آید. در روش ریخته گری دوغابی قدیمی، قالبها گچی بوده و در روش ریخته گری جدید موسوم به ریخته گری تحت فشار[۳] ، قالبها زرینی می باشد. به طور کلی ریخته گری دوغاب. در صنعت تولید ظروف چینی، جهت تولید ظروف نامتقارن نظیر قوری و غیره و حتی ظروف متقارن مثل دیس، و در صنعت تولید سرامیکهای بهداشتی، جهت تولید کلیه بدنه ها، مورد استفاده قرار می گیرد.

۲-۱-۳-۳. شکل دادن به روش پرس

در این روش، مواد اولیه به صورت پودر با دانه بندی مناسب در قالب قرار گرفته و تحت فشار به شکل مورد نظر در می آید. در مواردی که مقدار آب موجود در پودر بدنه (گرانول) بیشتر از حدود ۴ درصد باشد (و حداکثر تا ۹ درصد)، اصطلاح «پرس نیمه خشک» و یا مترادف آن اصطلاح «پرس پودر[۴]» را بکار می برند. در مواردی که مقدار آب موجود در پودر بدنه کمتر از ۴ در صد باشد، از اصطلاح پرس خشک [۵] استفاده می شود. روش پرس پودر در مجموع برای شکلهای نسبتاً ساده مورد استفاده قرار می گیرد. از این جهت در صنعت تولید کاشی (دیواری و کف) از این روش تولید استفاده می شود. روشهای تکامل یافته پرس خشک و نیمه خشک، پرسهای ایزواستاتیک[۶] و پرسهای سمی ایزواستاتیک[۷] می باشند که قطعات با تراکم زیاد، همگن و یکنواخت توسط آنها تولید می گردد. در صنعت مدرن تولید ظروف چینی، از روش سمی ایزواستاتیک برای تولید ظروف متقارن، استفاده می گردد.

۲-۱-۳-۴. پخت

این بخش شامل کلیه مراحل خشک کردن و پخت، اعم از پخت بدنه و پخت لعاب می باشد. لازم به ذکر است که در مراحل مختلف این بخش، عملیات مونتاژ و پرداخت نیز انجام می گیرد. در صنایع تولید کاشی، چینی

---

۱ - Jiggerin
۲ - Jolleying
۳- Pressure Casting
۴- Semidry Powder Pressing
۵- Dry Pressing
۶- Isostatic
۷- Semi Isostatic

بهداشتی و ظروف چینی، بسته به نوع محصول تولیدی و نوع تکنولوژی بکار گرفته شده، فرآیند تک پخت، دو پخت و سه پخت مورد استفاده قرار می گیرد.

تولید کاشی کف و چینی بهداشتی، در ایران و جهان بصورت فرآیند تک پخت[۱] موسوم به منوپروازا[۲] انجام می شود. همچنین آخرین تکنولوژی در تولید کاشی دیوار نیز، فرآیند تک پخت است که فعلاً در ایران موجود نمی باشد. در این فرآیند با توجه به همگونی درجه حرارت لازم جهت پخت بدنه و لعاب به کار رفته جهت آنها (معمولاً لعاب خام و یا لعاب ترکیبی)، کلیه مراحل پخت در یک مرحله صورت می گیرد.

فرآیند تولید کاشی دیوار در ایران، به صورت دو پخت انجام می شود. در این فرآیند، بدنه به علت نیاز به حرارت بالا جهت پخت و نیاز لعاب به کار رفته در آن (موسوم به فریت) به درجه حرارت پایین، پخت بدنه و لعاب در دو مرحله و در کوره های جداگانه با درجه حرارتهای مختلف، انجام می شود.

فرآیند تولید ظروف چینی (ظروف چینی سخت یا پرسلان)، به صورت سه پخت است. در این صنعت، با توجه به جنس بدنه مورد نیاز (سخت و دارای تخلخل صفر)، نوع لعاب بکار رفته در آن (لعاب خام) و داشتن تنوع رنگ در دکوراسیون ظروف چینی (نقوش روی ظروف چینی)، مراحل پخت به سه مرحله پخت بدنه یا بیسکویت، پخت لعاب و پخت دکور تقسیم می شود.

۲-۱-۴. درجه بندی و بسته بندی

این مرحله همانگونه که از نام آن پیداست، درجه بندی فرآورده های نهایی و بسته بندی جهت عرضه به بازار است که به دو روش دستی و یا اتوماتیک می تواند انجام گیرد.

۲-۱-۵. آماده سازی لعاب

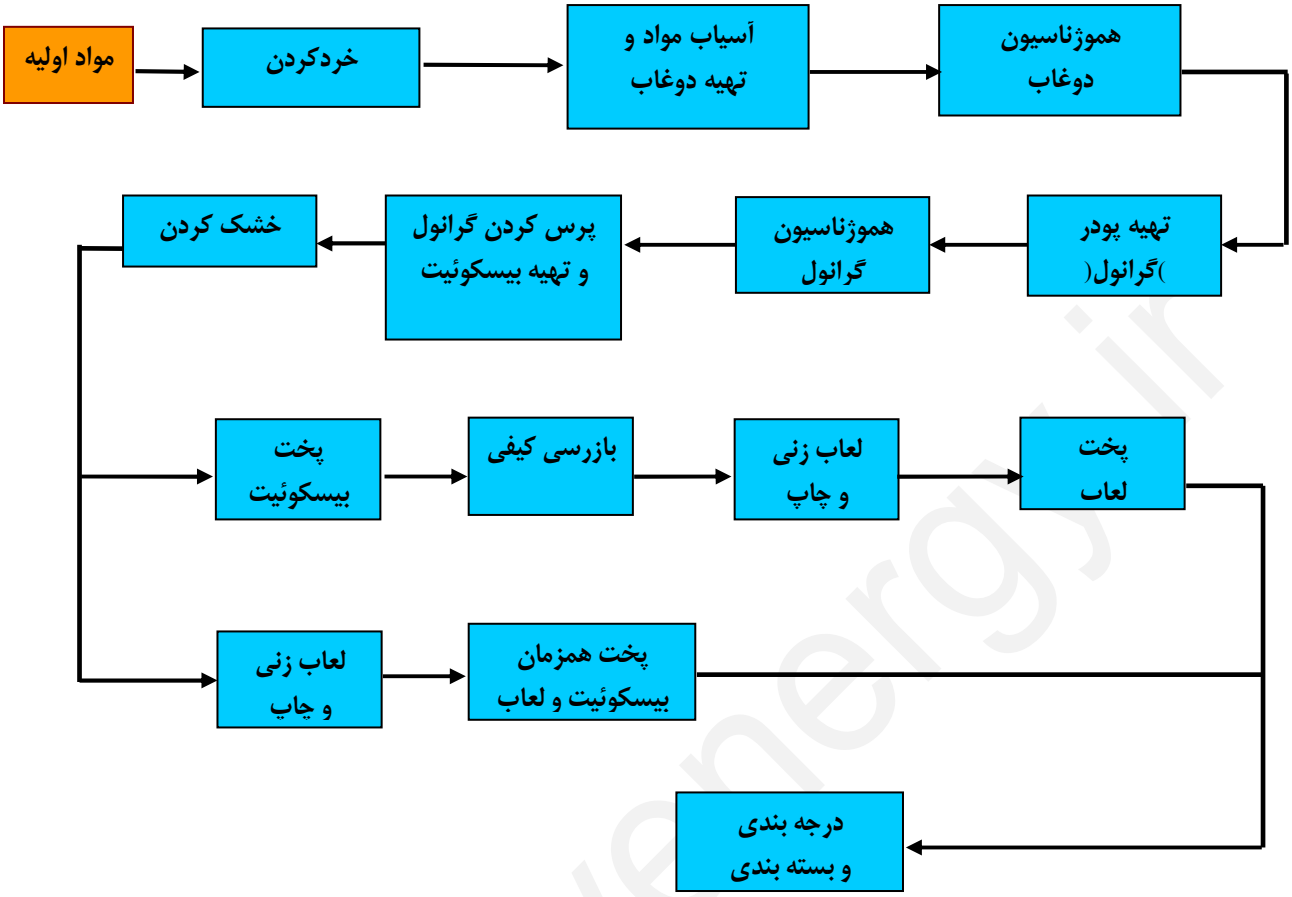
کلیه فرآورده های کاشی، ظروف چینی و سرامیکهای بهداشتی، از دو قسمت اصلی بدنه و لعاب تشکیل شده اند، لعاب، لایه شیشه ای نازکی است که سطوح بدنه های سرامیک را می پوشاند. با توجه به خصوصیات مکانیکی و مقاومت شیمیایی مورد انتظار از قطعه تولیدی، بطور کلی دو نوع لعاب در ساخت این فرآورده ها استفاده می شود، لعابهای خام و لعابهای فریت شده. در تولید کاشی کف، ظروف چینی و سرامیکهای بهداشتی، به علت نیاز به مقاومت شیمیایی بالای قطعه، از لعاب خام استفاده می شود. در تولید کاشی دیواری که نیاز به لایه لعابی با مقاومت کمتر داریم، از لعاب پخته و یا اصطلاحاً فریت شده، استفاده می شود.

مواد اولیه تشکیل دهنده لعابها همان سه دسته مواد اولیه تشکیل دهنده بدنه سرامیکهای سنتی هستند. منتها درصد و نوع ترکیبات مواد به کار رفته در آن متفاوت می باشد. مواد اولیه لعاب، با درصد مشخص بر طبق فرمولاسیون ابتدا خرد و سپس همراه آب و مواد روانساز در آسیابهای گلوله ای، به دوغاب تبدیل می شود. در صورت نیاز به رنگ در همزنهایی با رنگهای مخصوص و مورد نظر، مخلوط گشته و جهت خط لعاب زنی آماده می گردد.

۱-Once Fired

۲- Mono Prosa

فرآیند تولید کاشی در شکل۲-۱ نشان داده شده است.



شکل۲-۱. فرآیند تولید کاشی

۲-۲. مطالب تکمیلی در مورد صنعت تولید ظروف چینی و چینی بهداشتی

۲-۲-۱. صنعت تولید ظروف چینی

به طور کلی کلمه «چینی» در زبان فارسی، سابقاً به معنی کلیه ظروف صادر شده از کشور چین به کار می رفته است. در صنعت سرامیک، چینی بدنه ای است که باید سفید و متراکم بوده و پشت نمایی داشته باشد (نیمه شفاف باشد). در کشورهای اروپایی و همچنین در ایران، اصولاً به چینی (معمولاً انواع چینی سخت)، اصطلاح پرسلان[۱] نیز اطلاق می گردد.

ظروف چینی بر حسب درصد مواد به کار رفته در آن به دو دسته چینی های نرم و چینی های سخت، تقسیم می شوند. معمولاً ظروف چینی تولیدی در ایران از جنس چینی سخت است. بدنه و لعاب چینی مظروف، به علت کاربرد آن، باید دارای خصوصیات مکانیکی و مقاومت شیمیایی بالایی باشند. لعاب به کار رفته در این سرامیکها از انواع لعابهای خام است. فرآیند تولید ظروف چینی معمولاً به صورت سه پخت انجام می گیرد و دمای پخت در آن بالا

۱- Procelain

می باشد (°c ۱۴۵۰- ۱۳۵۰) در اکثر کارخانجات ایران ظروف چینی به روش قدیمی تولید شده و فقط در دو کارخانه، ظروف چینی با تکنولوژی نوین دنیا تولید می شود.

۲-۲-۲. فرآیند تولید ظروف چینی

فرآیند تولید چینی مظروف را می توان به چهار مرحله اصلی : آماده سازی مواد، شکل دادن مواد، پخت، درجه بندی و بسته بندی تقسیم نمود.

در این مبحث، فرآیند چینی به روش سنتی (قدیمی) و مدرن، در قالب چهار مرحله اصلی مذکور، تواماً تشریح می گردد.

۲-۲-۲-۱. مرحله اول برای آماده سازی مواد در تکنولوژی سنتی

این مرحله شامل تهیه مواد اولیه، خردایش، آسیاب مواد و تهیه دوغاب، مخلوط کردن کائولین و هموژناسیون دوغاب، تهیه خمیر یا کیک، ورز دادن و هواگیری خمیر و تهیه دوغاب ریخته گری از خمیر می باشد. مقداری از خمیر تولیدی توسط فیلتر پرس، جهت تهیه دوغاب ریخته گری مورد استفاده قرار می گیرد. در واقع فیلتر پرس در هنگام آب گیری، املاح مزاحم را نیز می گیرد و استفاده از این خمیر برای تهیه دوغاب، باعث تهیه دوغابی با کیفیت بالا و مطلوب جهت تولید بدنه ها می گردد. در این مرحله عمل مخلوط کردن مواد و آب توسط همزنهای زمینی انجام می گیرد.

۲-۲-۲-۲. مرحله اول برای آماده سازی مواد در تکنولوژی مدرن

در این تکنولوژی، به علت استفاده از گرانول و دوغاب جهت تهیه بدنه ها، کلیه مراحل آن شبیه آماده سازی مواد در صنعت کاشی می باشد. بنابراین از شرح مجدد آن خودداری می شود. این بخش شامل مراحل زیر می باشد.

۱- مواد اولیه

۲- خردکردن

۳- آسیاب مواد و تهیه دوغاب

۴- مخلوط کردن کائولن و هموژناسیون دوغاب

۵- تهیه پودر یا گرانول

تنها تفاوت پودر تولیدی در این تکنولوژی صنعت چینی با پودر تولیدی صنعت کاشی، میزان رطوبت گرانولهای خروجی است که در صنعت کاشی ۶-۵ درصدو در اینجا ۳-۲ درصد می باشد. همچنین در این تکنولوژی، در صورت استفاده از دوغاب برای تهیه بدنه (در روش ریخته گری تحت فشار) از دوغاب خروجی از مرحله ۴ استفاده می گردد.

۲-۲-۲-۳. مرحله دوم برای شکل دادن مواد در تکنولوژی سنتی

شکل دادن مواد و ساخت بدنه، بسته به شکل ظرف مورد نظر، به دو صورت ریخته گری دوغابی و شکل دادن

توسط دستگاههای جیگر و جولی، انجام می گیرد.

۲-۲-۲-۴. مرحله دوم برای شکل دادن مواد در تکنولوژی مدرن

با وجود پیشرفت تکنولوژی، هنوز قطعاتی نظیر قوری و تنگ فقط توسط ریخته گری دوغابی و با قالبهای گچی، تولید می گردند. در فرآیند مدرن تولید چینی مظروف، انواع مظروف (به غیر از قطعات پیچیده ذکر شده) هم توسط پرس سمی ایزواستاتیک و به روش پرس خشک (در بخش ۲-۱ به آن اشاره شده) و هم توسط ریخته گری تحت فشار تولید می شود.

- **پرس خشک**

به علت رطوبت پائین ذرات گرانول خروجی از اسپری درایر (۳-۲ درصد)، بدنه ها توسط روش پرس خشک تولید می گردند. سیستم کارکرد این پرسها از نوع سمی ایزواستاتیک می باشد. بدین صورت که پودر بدنه در داخل یک کیسه لاستیکی قرار داده شده و شکل گیری قطعه، در داخل فضای مایع، مثل روغن انجام می شود. به علت اینکه نیروهای اعمالی به نقاط مختلف سطوح بدنه یکسان نمی باشد، به آن سمی ایزواستاتیک اطلاق می گردد.

- **ریخته گری تحت فشار (Pressure Casting)**

در این روش دوغاب به داخل قالبهای زرینی با سوراخها و منافذ خیلی ریز تزریق گشته و آب دوغاب با تحت فشار قرار دادن قالبهای زرینی گرفته می شود و بدنه مورد نظر حاصل می گردد.

۲-۲-۲-۵. مرحله سوم - پخت

مراحل مختلف این بخش در هر دو نوع خط سنتی و مدرن مشابه می باشد و تنها تفاوت آن استفاده از کوره های تونلی مدرن و ماشین پرداخت اتوماتیک در خط مدرن می باشد. با توجه به یکسان نبودن دمای لازم جهت پخت بدنه، لعاب و دکور، پخت در سه مرحله و در سه کوره جداگانه انجام می شود.

پس به ترتیب شامل مراحل زیر می باشد.

۱- خشک کردن و پرداخت

۲- پخت بیسکویت

۳- لعاب زنی

۴- پخت لعاب

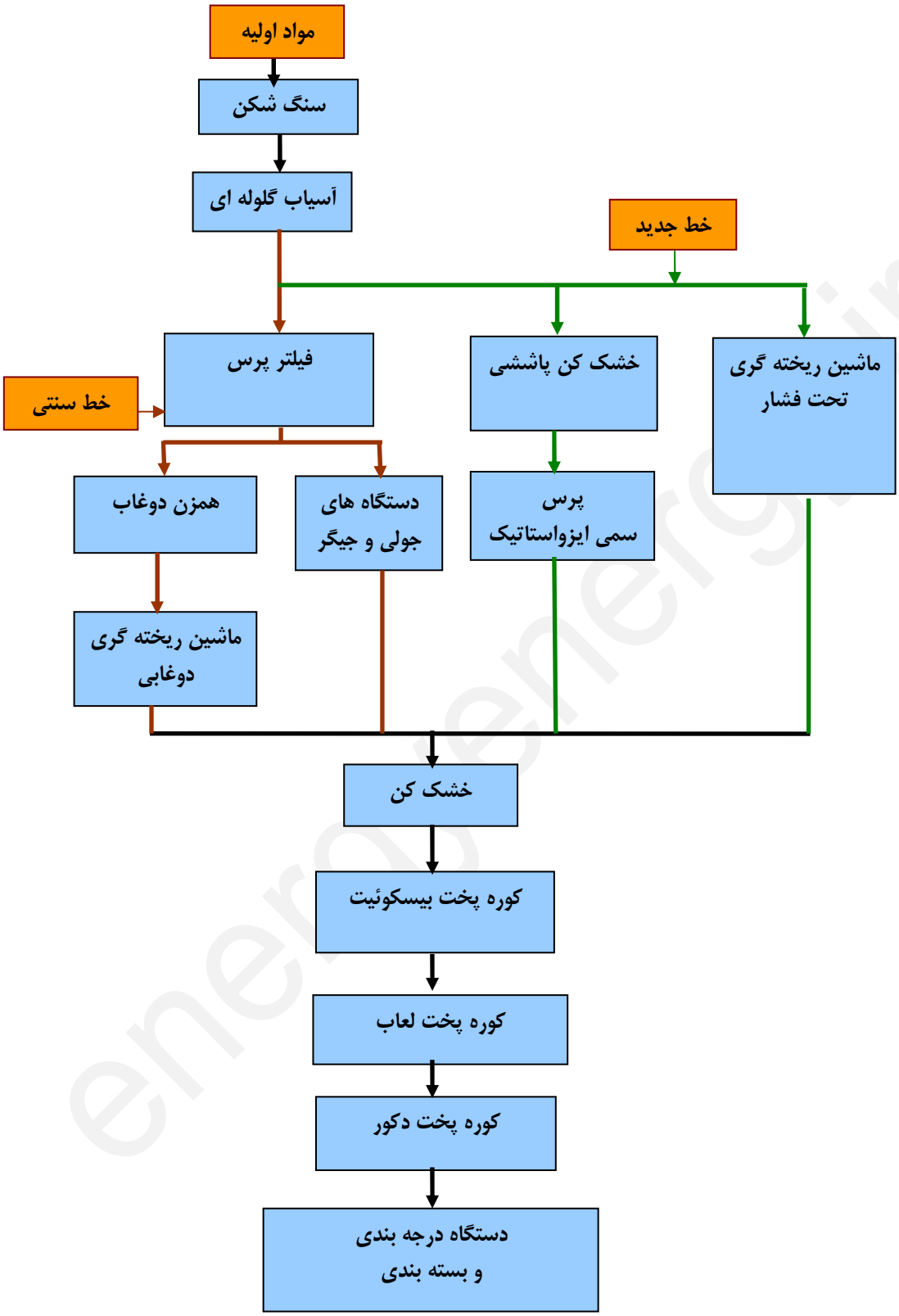
۵- کنترل کیفی

۶- دکوراسیون

۷- پخت دکور

فرآیند تولید ظروف چینی در شکل۲-۲ نشان داده شده است.

energyenergy.ir



شکل۲-۲. فرآیند تولید ظروف چینی

۲-۲-۳. صنعت تولید چینی بهداشتی

سرامیکهای بهداشتی[۱] که به طور کلی در ایران و در بین عامه به عنوان «چینی های بهداشتی» اطلاق می شود، انواع فرآورده هایی است که به صورت دستشویی و امثالهم می باشد. سرامیکهای بهداشتی مشترکاً در یک مرحله انجام می شود. جنس بدنه سرامیکهای بهداشتی از نوع چینی نرم بوده و درجه تخلخل در آنها تا ۰/۶ درصد مجاز می باشد. همچنین با توجه به ماهیت کاربرد آنها، این سرامیکها باید خصوصیات مکانیکی و مقاومت شیمیایی بالایی داشته باشند بنابراین لعاب به کار رفته در آن اصطلاحاً لعاب خام می باشد که مقاومتر است.

۲-۲-۴. فرآیند تولید چینی بهداشتی

فرآیند تولید این سرامیکها به چهار مرحله زیر تقسیم می گردد:

۱- آماده سازی مواد

۲- شکل دادن مواد

۳- پخت

۴- مونتاژ

۵- درجه بندی و بسته بندی

۲-۲-۴-۱. مرحله اول - آماده سازی مواد

این مرحله شامل تهیه مواد اولیه، خردکردن، آسیاب مواد و تهیه دوغاب، مخلوط کردن مواد و هموژناسیون دوغاب نهایی است.

تهیه مواد اولیه[۲]

با توجه به قرار گرفتن این سرامیکها در دسته بندی چینی های نرم، درصد فلدسپات به کار رفته بیشتر و درصد کائولین مصرفی در آن کمتر است. در نتیجه دمای پخت پایین می آید. فرمول عمومی مواد اولیه به کار رفته در بدنه این سرامیکها به صورت تقریبی، ۴۰ درصد کائولین و بال کلی، ۳۵ درصد فلدسپات و ۲۵ درصد کوارتز می باشد.

خردکردن[۳]

مواد اولیه ذخیره شده در انبارها، ابتدا توسط سنگ شکن فکی به قطعات حدود ۲ cm ، تبدیل می شود. در صورت مرطوب بودن مواد، رطوبت سطحی آنها در این مرحله توسط یک خشک کن دوار[۴] گرفته می شود. سپس در سنگ شکن چکشی به ذرات و قطعات ریزتر تبدیل می گردند. در انتها، قطعات ریزتر از ۲mm توسط الک لرزشی

۱- Sanitary Ware
۲- Raw Material Preparting
۳- Crushing
۴- Rotary Drier

جدا شده و ذرات بزرگتر به ابتدای سنگ شکن چکشی منتقل می گردد.

آسیاب مواد و تهیه دوغاب

مواد خارج شده از الک لرزشی در سیلوها ذخیره و بعد از توزین، با نسبتهای معینی آب، روانساز و گلوله، به درون آسیاب گلوله ای ریخته می شوند. درصد بارگیری آسیابهای گلوله ای، مشابه صنعت کاشی می باشد. تعداد دفعات به کارگیری در روز، بستگی به حجم آسیاب گلوله ای تعبیه شده، سرعت گردش آسیاب، اندازه ذرات مواد و جنس مواد ورودی به آن دارد و معمولاً زمان سایش و آماده سازی دوغاب بین ۱۵-۱۰ ساعت می باشد.

مخلوط کردن مواد و هموژناسیون دوغاب نهایی

در این مرحله، انواعی از مواد اولیه که احتیاجی به گذراندن مرحله خرد شدن و آسیاب کردن ندارند (مانند بال کلی ها و کائلینهای تخلیص شده) به دوغاب حاصل از آسیاب گلوله ای که از الک و آهن ربا عبور داده شده، اضافه گشته و در همزنهایی که معمولاً در زیر زمین تعبیه می شوند، با هم مخلوط و هموژن می گردند. دوغاب نهایی به مدت حداقل ۴۸ ساعت در مخازن زمینی انبار می شود تا خواص آن به حد مطلوب برسد. در واقع با نفوذ آب به داخل ذرات، بسیاری از خواص دوغاب از جمله گرانروی آن بهتر می شود.

۲-۲-۴-۲. مرحله دوم - شکل دادن

ریخته گری دوغابی

شکل دادن این فرآورده ها، به صورت ریخته گری دوغابی انجام می گیرد که در روش قدیمی و معمول در ایران، این مرحله با استفاده از تزریق دوغاب به یک سری قالبهای گچی که در یک محور و پشت سرهم قرار گرفته اند صورت می گیرد. ریخته گری توسط این نوع قالبها به ریخته گری تجمعی[۱] موسوم می باشد. پس از تزریق دوغاب و پر شدن قالبها، آب اضافی دوغاب توسط قالبهای گچی در طی زمانی نسبتاً طولانی، گرفته شده و قطعه مورد نظر در داخل آن شکل می گیرد. سپس قالبها باز شده و قطعه از آن خارج می گردد. بعد از جدا نمودن قطعه از قالب، پرداخت اولیه جهت حذف قسمتهای اضافی بدنه صورت می گیرد.

۲-۲-۴-۳. مرحله سوم - پخت

این مرحله شامل خشک کردن، پرداخت، لعاب زنی و پخت می باشد.

خشک کردن و پرداخت[۲]

قطعات بعد از جدا سازی از قالب بر روی سکوهایی جهت خشک شدن کامل قرار می گیرند. گرمای مورد نیاز جهت خشک کردن، بوسیله کانالهای هوای داغ تعبیه شده در سقف این قسمت تأمین می گردد. معمولاً این هوای داغ از بازیافت هوای خروجی از کوره پخت تأمین می گردد. بعد از خشک شدن، بدنه این سرامیک ها را بصورت

۱- Batery Casting
۲- Drying & Finishing

دستی و یا اتوماتیک ساب زده و پرداخت می کنند.

لعاب زنی

لعاب مورد نیاز، در قسمت لعاب سازی آماده و به این قسمت منتقل می گردد. سرامیکهای بهداشتی به روش پاشیدن لعاب بر روی آنها، لعابکاری می شوند. این عمل یا بوسیله دستگاه پاشنده دستی و کارگر ورزیده انجام می گیرد و یا به وسیله دستگاههای پاشنده خود کار و مجهز به چشم الکترونیکی انجام می شود. زیرا یکنواختی سطح لعاب بر روی بدنه مهم می باشد و فاصله دستگاه پاشنده از سطح بدنه همواره باید ثابت باشد.

پخت

این فرآورده ها به صورت تک پخت و در رنج دمایی ^{oc} ۱۳۰۰-۱۲۰۰، پخته می شوند. نوع کوره های مورد استفاده در این صنعت، از نوع کوره های تونلی می باشد. بدنه های خام بر روی سطوح نسوز چیده شده و به کوره منتقل می گردند. سطوح نسوز ذکر شده و یا اصطلاحاً میزهای نسوز، بر روی ریلهایی که به کوره منتهی می گردد قرار دارند و توسط آنها در داخل کوره حرکت می کنند. مناطق مختلف کوره پخت در صنعت کاشی به تفضیل توضیح داده شده است و تنها تفاوت، دمای منطقه پخت می باشد که در اینجا بین ^{oc} ۱۲۰۰ الی ۱۳۰۰ است.

۲-۲-۴-۴. مرحله چهارم

۹- مونتاژ، درجه بندی و بسته بندی

در این مکان، سرامیکهای بهداشتی آماده شده در صورت نیاز مونتاژ و سپس از نظر کیفیت لعاب و دیگر خصوصیات ظاهری، به صورت دستی و یا ماشین خودکار کنترل و درجه بندی و در نهایت در داخل یونولیت بسته بندی و به انبار منتقل می گردد.

- **قالبسازی**

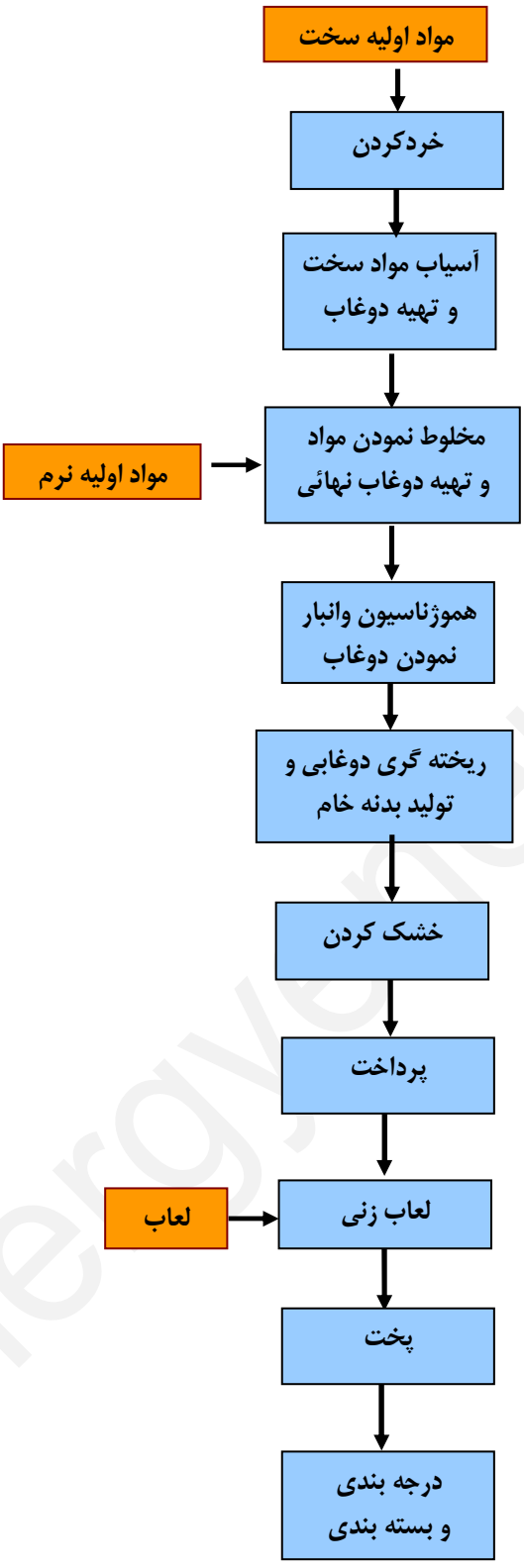
یک بخش جانبی در این کارخانجات، بخش طراحی و ساخت قالبهای گچی می باشد. قالبهای گچی مورد نیاز واحد ریخته گری دوغابی، در این واحد مدلسازی و سپس تهیه می گردد.

- **آماده سازی لعاب**

لعاب مورد نیاز این سرامیکها از نوع لعاب خام می باشد که فرآیند تهیه آن در صنعت کاشی به تفصیل آمده است.

فرآیند تولید چینی بهداشتی در شکل۲-۳ نشان داده شده است.

energyenergy.ir



شکل۲-۳. فرآیند تولید چینی بهداشتی

۲-۳. تقسیم بندی کوره های محصولات سرامیکی

محصولات و ظروف سرامیکی در کوره های مختلف با عملکردهای گوناگون پخته می شوند. این کوره ها از نظر طراحی، نوع سوخت، اتمسفر و دمای کوره، میزان حرارت، نوع بارگیری، ظرفیت کوره، مسیر شعله و نوع کاربرد انواع

و اقسام مختلفی دارند که در ادامه به تفضیل به آن می پردازیم.

۲-۳-۱. انواع کوره های محصولات سرامیکی

انواع کوره هایی که امروزه جهت پخت سرامیک مورد استفاده قرار می گیرند بر اساس روش کار به سه دسته تقسیم می شوند.

الف - کوره متناوب[۱] یا مرحله ای

ب - کوره نیمه مداوم

ج- کوره مداوم

۲-۳-۱-۱. کوره متناوب

کوره های متناوب کوره هایی هستند که عمل پخت در آنها به طور متناوب صورت می گیرد. به عبارت دیگر پس از بارگیری، کوره جهت پخت مواد روشن می شود و پس از گرم شدن و رسیدن به دمای کافی، عمل پخت صورت می گیرد. سپس حرارت کوره را پایین می آورند تا به تدریج خاموش و سرد شود. اینگونه کوره ها برای پخت لوله های فاضلاب سرامیکی، ظروف و محصولات توخالی، آجرهای نما و آجرهای ساختمانی و ظروف غذا و محصولات زینتی و آجرهای نسوز بسیار مرغوب که امروزه مصرف زیادی پیدا کرده اند، مورد استفاده قرار می گیرند.

از مزایای این کوره هزینه سرمایه گذاری اولیه پایین و انعطاف پذیری از نظر میزان دمای کوره می باشد. این نوع کوره با انواع سوختها نیز قابل استفاده می باشد و به ابعاد گوناگونی ساخته می شود. از آنجا که معمولاً حجم و فضای داخلی این کوره بزرگ است، و محصولات روی هم چیده می شوند، بارگیری و تخلیه کوره باعث اتلاف وقت زیادی می شود. در صورت استفاده از جعبه های سرامیکی[۲] نیز مسئله شکستن و صدمه دیدن این جعبه ها پیش می آید که باز بر هزینه کار می افزاید.

برای رفع این مشکل دو نوع کوره به نامهای کوره کلاهکی و کوره محفظه ای واگن دار ساخته شدند. در کوره کلاهکی[۳] به جای اینکه مواد به تدریج به داخل کوره منتقل شده و روی هم چیده شوند، توسط یک واگن به زیر کلاهک منتقل شده و پس از پایین آمدن کلاهک کوره و بسته شدن آن، عمل پخت انجام می شود. درکوره محفظه ای واگن دار[۴]، واگن های حامل مواد به داخل کوره منتقل شده و درب کوره بسته می شود و عمل پخت ادامه می یابد، این دو روش باعث صرفه جویی در وقت شده و امکان این را فراهم می سازد که بارگیری و تخلیه مواد در بیرون کوره صورت گیرد بدون اینکه کار کوره متوقف شود.

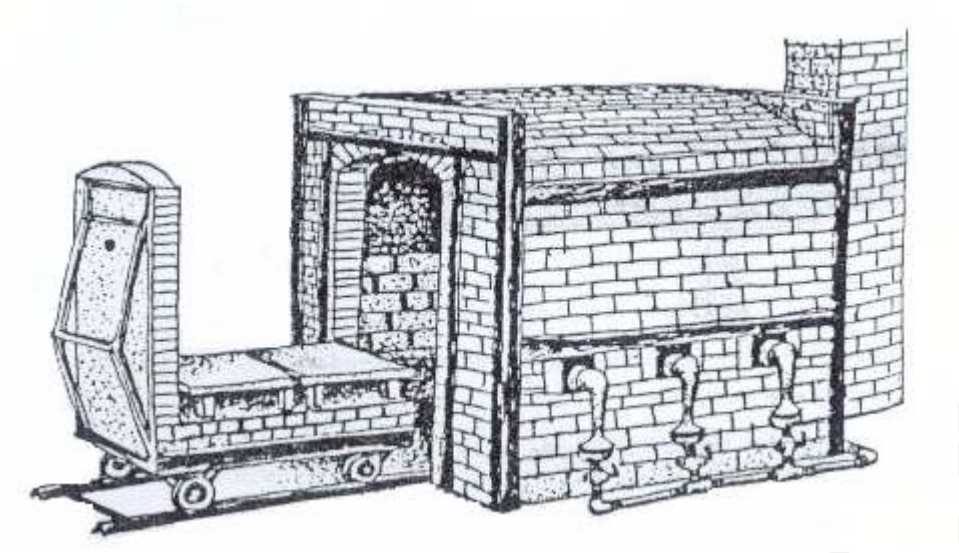
---

۱ - Periodic kiln (intermitten kiln)

۲ - saggar

۳ - hool - type - furnace

۴ - shuttle - kiln



شکل۲-۴. کوره شاتل با واگن حمل مواد با درب متصل

۲-۳-۱-۲. کوره نیمه مداوم

از آنجائیکه در کوره های متناوب بخش عمده گاز خروجی تلف مـی شـود. گرمـای انباشـته شـده در سـاگارها و قطعات پخته شده نیز پس از باز شدن در به هدر می رود. برای جلوگیری از این افتهای گرمایی تونل طویلی که گاهـاً آن را به چندین محفظه تقسیم می کنند ساخته شد. برای این کوره دودکش ساخته نشده است و مکش توسط شیب کوره ایجاد می شود. نسل جدید این کوره ها که به کوره های بالارو معروف هستند بر اساس شـکل محفظـه و میـزان شیب به چندین نوع دسته بندی می شوند که انواع آن عبارتند از :

- کویو[۱] (نوع قدیمی)
- هونگیو گاما[۲] (نوع اصلی)
- ماروگاما[۳] (نوع گرد)
- کیوگاما [۴](نوع کیوتو[۵])
- ماشیکوگاما[۶] (نوع ماشیکو)

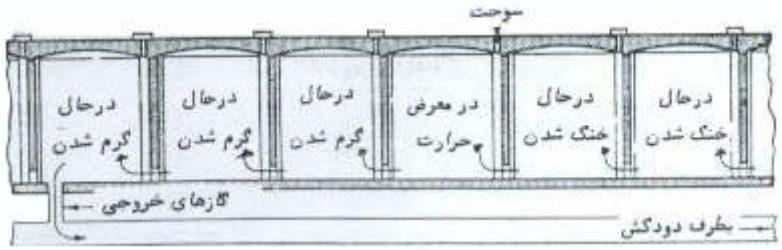
تعداد محفظه های احتراق کوره بالارو بین ۳ تا ۲۰ متغیر است امـا نـوع ۴ تـا ۷ محفظـه ای آن خیلـی متـداول است. شیب کوره به وسیله نسبت ارتفاع پله یک محفظه دیگر و طول کف محفظه بیان می شود. هنگامی که پخت در محفظه نخست پایان یافت، پخت در محفظه دوم انجام می شود. بدین ترتیب فرایند در محفظه های بعدی تکرار مـی

۱- Koyoh
۲ - Hongyo Gama
۳ - Maru Gama
۴ - Kyo Gama
۵ - kyoto
۶- Mashiko Gama

شود تا به آخرین محفظه برسد.

۲-۳-۱-۳. کوره مداوم

کوره های مداوم کوره هایی هستند که عمل پخت در آنها به طور مداوم و بدون انقطاع در طول روزها و ماهها و با دمای نسبتاً ثابت انجام می گیرد و جز در هنگام بروز حادثه یا اشکال، خاموش نمی شوند. این کوره ها نیز بر حسب شکل و ساختمان به انواع مختلفی تقسیم می شوند. در واقع ایده کوره های دائمی از کنار هم قرار گرفتن چند کوره محفظه ای متناوب حاصل شد. به این صورت که مطابق شکل۲-۵ چند اطاقک به دنبال یکدیگر قرار گرفته و عمل حرارت دادن و پخت در هر اتاقک پس از اطاقک دیگر شروع می شود و گرمای حاصل از احتراق در هر محفظه صرف پیش گرم کردن محفظه بعدی می گردد.



شکل۲-۵. طرز استفاده از حرارت هر محفظه برای گرم کردن محفظه های بعد

در صورتیکه تعداد اتاقک ها زیاد باشد و به صورت یک حلقه گرد یا بیضی به دنبال یکدیگر قرار گیرند، به طوری که این اتاقها به طور پیوسته در حال گرم شدن و سرد شدن باشند، یک کوره دائمی حلقه ای ایجاد خواهد شد. در این سیستم گازهای ناشی از احتراق به جای اینکه مستقیماً به دودکش اصلی منتهی شوند، به اتاقک بعدی منتقل شده و پس از استفاده از گرمای آن، سرانجام به دودکش فرستاده می شوند.

برای ایجاد مکش در کوره های جدید از فن استفاده می شود که سرعت گازهای خروجی را افزایش می دهد. مزیت مهم این کوره ها کاهش اتلاف حرارتی از طریق دیوارها و سقف کوره و کاهش میزان مصرف سوخت می باشد. کوره های مداوم مانند کوره های متناوب گرم و سرد نمی شوند و کمتر در معرض استهلاک قرار می گیرند و به علاوه پس از راه اندازی اولیه، تنظیم و اپراتوری آن آسانتر از کوره های محفظه ای است. در عوض هزینه اولیه برای کوره های مداوم چند محفظه ای بیشتر از کوره های محفظه ای متناوب است. اما می توان از گرمای حاصله جهت خشک کردن محصولات و گرم کردن فضای کارخانه استفاده نمود.

۲-۳-۲. تقسیم بندی کوره های پخت بر اساس حالت شعله

کوره های پخت را بر اساس حالت شعله به صورت زیر دسته بندی کرد.

- ✓ کوره با شعله مستقیم
- ✓ کوره با شعله غیر مستقیم

۲-۳-۳. تقسیم بندی کوره های پخت بر اساس نوع سوخت مصرفی

کوره های پخت سرامیک بر اساس نوع سوخت مصرفی متفاوت می باشند که عبارتند از:

- کوره چوب سوز
- کوره زغال سنگ سوز
- کوره نفت سوز
- کوره گاز سوز
- کوره الکتریکی

۲-۳-۴. تقسیم بندی کوره های پخت بر اساس نوع کاربرد

کوره های پخت سرامیک را بر اساس نوع کاربرد به سه دسته زیر تقسیم بندی می کنند:

۱. کوره خام پخت (بیسکویت)
۲. کوره لعاب پخت
۳. کوره پخت تزئینات

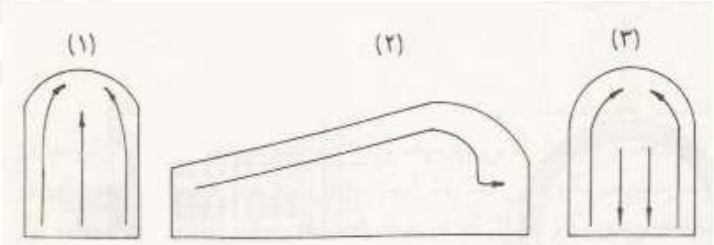
۲-۳-۵. تقسیم بندی کوره های پخت بر اساس مسیر شعله

کوره های پخت سرامیک از نظر مسیر شعله نیز متفاوت می باشند. این نوع کوره ها که از سری کوره های متناوب هستند به صورت زیر دسته بندی می گردند:

الف - کوره با مکش به سمت بالا

ب- کوره با مکش افقی

ج- کوره با مکش به سمت پائین



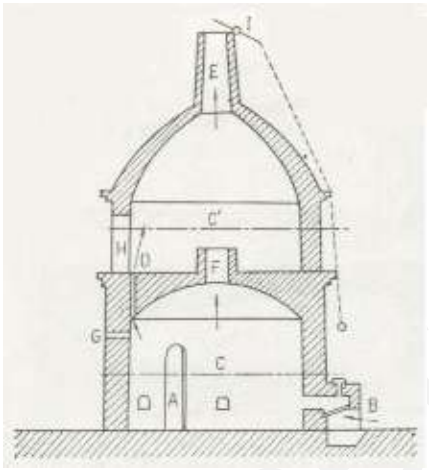
شکل۲-۶. جهت مسیر شعله و گردش حرارت در کوره های از نوع (۱) مکش به سمت بالا (۲) مکش افقی (۳) مکش به سمت پائین

۲-۳-۵-۲. کوره با مکش به سمت بالا

مزیت اصلی این کوره کم بودن هزینه ساخت و تعمیر و نگهداری است. شعله ای که در این نوع کوره در محفظه

احتراق تولید می شود از پیرامون قطعات به سمت بالا می رود و از طریق دودکش خارج مـی شـود. عیـب ایـن کـوره دشواری یکنواخت کردن دما و محیط کوره (از لحاظ اکسایش و احیا) از بالا تا پایین محفظه احتراق است. رسیدن بـه دمای ^{c}° ۱۱۵۰ در ایـن کـوره بـه آسـانی ممکـن اسـت امـا بـرای رعایـت ایمنـی پخـت را در دمـای کمتـری انجـام می دهند. لذا این کوره برای پخت چینی که به دمای ^{c}° ۱۳۰۰ نیاز دارد مناسب نیست.

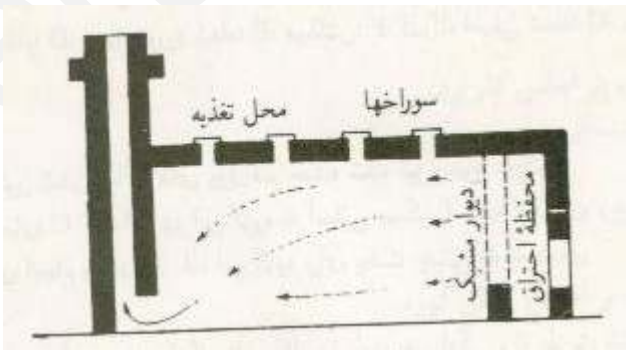
نمونه ای از کوره دو طبقه با مکش به سمت بالا در نشان داده شده است.



شکل۲-۷. کوره دو طبقه با مکش به سمت بالا، A : راهرو، B : محفظه احتراق، C: محفظه پخت لعاب، C´: محفظه پخت بدنه خام، D: سوراخ ورود شعله، E: دودکش، F:گذرگاه اصلی شعله، G: دریچه بازدید، H: راروی بالایی

۲-۳-۵-۳. کوره با مکش افقی

در این نوع کوره شعله ایجاد شده در محفظه احتراق به صورت افقی در اطراف قطعات جریان پیدا مـی کنـد و از دودکش خارج می شود. اختلاف دما در این کوره تقریباً زیـاد اسـت، نزدیـک محفظـه احتـراق دمـا بـالاتر و نزدیـک دودکش پائینتر است. کوره نیوکاسل از نوع کوره های با مکش افقی می باشد که در شکل۲-۸ نشان داده شده است.

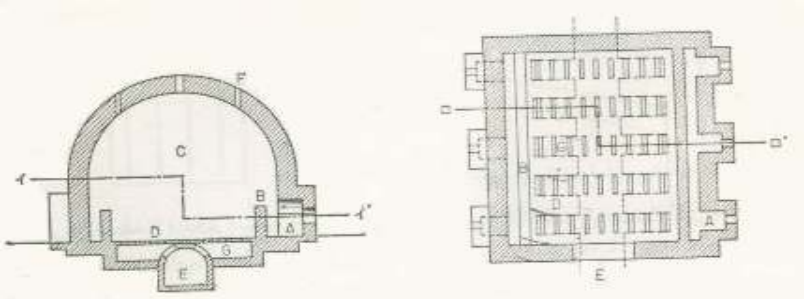


شکل۲-۸. کوره نیوکاسل

۲-۳-۵-۴. کوره با مکش به سمت پائین

شعله از میان شکاف بین دیواره کوره و دیواره سد کننده به سـمت سـقف هـدایت مـی شـود و سـپس از میـان قطعات عبور کرده، به سمت مجرای خروج در کف کوره کشیده شده، از دودکش خارج می شود. از این نوع کـوره بـه

دلیل مصرف سوخت کم و یکنواختی دما و محیط آن به صورت گسترده ای استفاده می شود. نمونه ای از کوره مستطیلی با مکش به سمت پایین در شکل۲-۹ ارائه شده است.

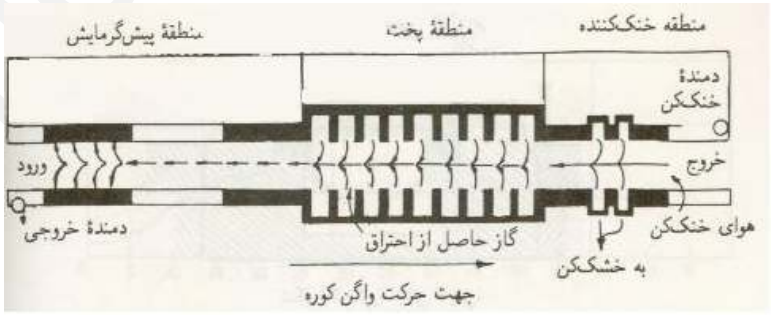


شکل۲-۹. کوره مستطیلی با مکش به سمت پایین، A: سوراخ مشعل، B: دیوار سد کننده، C: محفظه پخت، D: مجرای مکش، E: دودکش اصلی، F: سوراخ(برای خنک کردن)، G: دودکش فرعی

۲-۳-۶. دسته بندی کوره های سرامیک بر اساس شکل کوره

۲-۳-۶-۱. کوه تونلی[1] و میکرو

کوره های مداوم تونلی جدید ترین و اقتصادی ترین کوره جهت پخت محصولات سرامیکی است. تجربه نشان می دهد که هزینه تولید محصولات سرامیکی و بررسی در این کوره ها کمتر از کوره های دیگر است. کوره های تونلی در ابعاد مشخصی ساخته می شوند و امکان پخت قطعات بزرگ در آنها وجود ندارد. کوره های تونلی به صورت یک تونل یا محفظه طویل ساخته می شوند که مواد از یک طرف توسط واگن وارد کوره می شوند و در طول مسیر از مراحل مختلف کوره می گذرند. بالاترین درجه حرارت در وسط کوره می باشد و درست در خلاف جهت حرکت واگنها، هوای خنک از دهانه خروجی به طرف دهانه ورودی دمیده می شود. مواد پس از پخت خنک می شوند و پس از خروج از کوره، با دمای محیط تفاوت اندکی دارند. شکل۲-۱۰ ساختار این کوره را نشان می دهد.



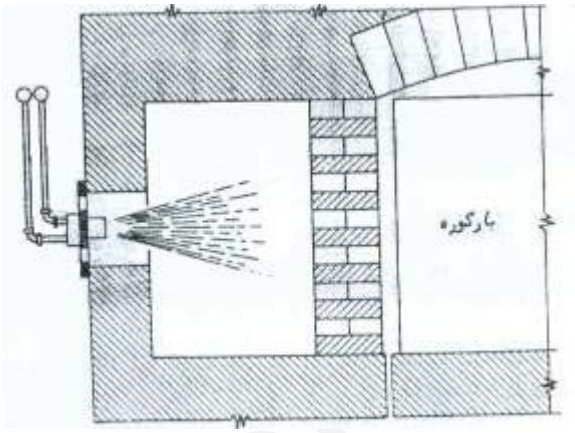
شکل۲-۱۰. ساختار کوره تونلی

کوره های تونلی جدید در حدود ۳ متر ارتفاع، چندین متر عرض و معمولاً ۵۰ تا ۱۰۰ متر طول دارند. کف کوره توسط واگن اشغال می شود و واگن ها روی ریل حرکت می کنند. درجه حرارت داخل کوره از دهانه ورودی به تدریج

۱- Tunnel Kiln

افزایش می یابد تا در وسط کوره به حداکثر دما برسد. در منطقه پخت محصولات به مدت چند ساعت باقی می مانند و سپس خنک شده و خارج می شوند.

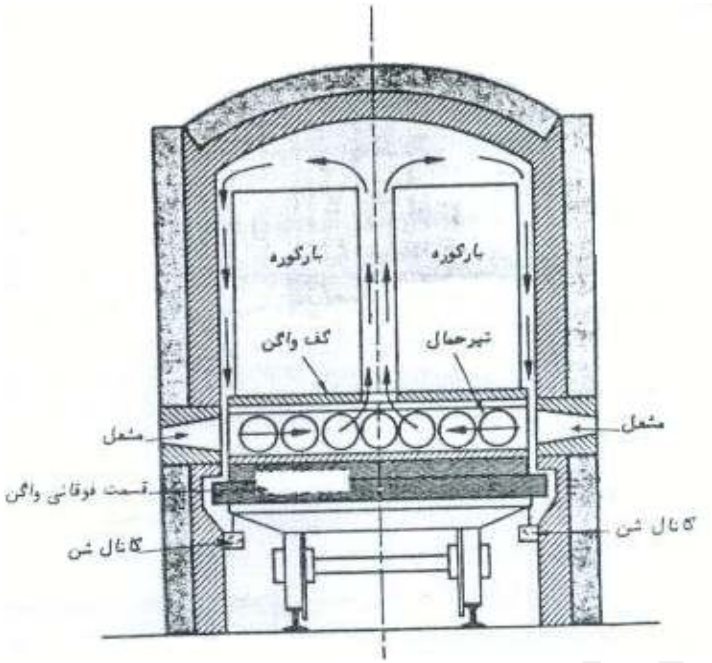
این کوره ها معمولاً با سوختهایی نظیر گاز طبیعی، گاز شهری، بوتان، پروپان و نفت سفید می سوزند و اگر از سوختهای سنگین استفاده شود بایستی از دیواره های پوششی[1] در طول کوره استفاده شود که سبب کاهش بازده حرارتی شعله و غیر یکنواخت کردن درجه حرارت کوره خواهد شد. استفاده از دیوارهای مشبک در مقابل مشعلهای گازوئیلی کوره های تونلی الکتریکی بیشتر برای دماهای پایین و برای پخت محصولات دکوراتیو که درجه حرارت بالایی نیاز ندارند، مورد استفاده قرار می گیرند.



شکل۲-۱۱. استفاده از دیوارهای مشبک در مقابل مشعل های گازوئیلی

به علت اهمیت زیاد کوره های تونلی و مراحل پخت آن، معمولاً یک سیستم کنترل برای تنظیم عملیات پخت در کنار کوره در نظر گرفته می شود. درجه حرارت پخت توسط منحنی های پخت تعیین شده و در قسمتهای مختلف کوره تنظیم می شود. در سیستم های جدید کنترل، مراحل پخت به طور اتوماتیک و با سیستم های مجهز و پیشرفته انجام می شود. مواد جهت پخت روی واگنهایی چیده می شوند و با سرعت ثابت و تنظیم شده از داخل کوره عبور می کنند. با ورود یک واگن از دهانه ورودی، یک واگن از مواد پخته از دهانه خروجی به بیرون می رود. این واگن ها روی ریل هایی که در کف کوره قرار گرفته اند، حرکت می کنند. جهت محافظت اسکلت فلزی واگن و ریلها از حرارت زیاد، در دو طرف کوره کانالهای شن[2] در نظر گرفته می شود، به طوری که آبروهای واگن به هنگام حرکت از دو طرف در داخل شن های سیلیسی قرار گرفته و به جلو می روند. به این ترتیب از رسیدن حرارت به زیر واگنها و ریل ها و قطعات فولادی دیگر جلوگیری می شود.

۱- Muffle
۲- sand - seal



شکل۲-۱۲. محل استقرار کانال شن در زیر لبه های واگن برای جلوگیری از انتقال حرارت به زیر واگن

مزایای کوره های تونلی نسبت به کوره های دیگر از این قرار است:

۱) سهولت چیدن مواد و تخلیه آنها از واگن در بیرون کوره

۲) پایین بودن هزینه تعمیر و نگهداری

۳) با کوچک کردن مقطع کوره و بالابردن دمای آن، امکان پخت سریع فراهم می شود.

۴) امکان استفاده از حرارت گازهای خروجی جهت گرم کردن محیط یا خشک کردن محصولات

۵) استفاده از گرمای اتلافی از راه دیوار و سقف جهت پیش گرم کردن هوای ثانویه

با این وجود، کوره های تونلی دارای معایب و محدودیت هایی به شرح زیر می باشند.

۱- این کوره ها حجم و فضای زیادی را اشغال می کنند.

۲- هزینه اولیه ساخت آنها زیاد است.

۳- پس از راه اندازه کوره، باید به طور شبانه روز بار کوره تأمین شود و این بدان معنی است که میزان تولید و ظرفیت کارخانه باید متناسب با ظرفیت کوره باشد. این کوره ها را برای ظرفیت کم نمی توان راه اندازی کرد.

۴- این کوره ها انعطاف پذیری کمی دارند و سرعت واگنها و دمای کوره تقریباً یکنواخت است و نمی توان زمان پخت را برای محصولات کوچکتر و بزرگ تر کم و زیاد کرد.

۵- هزینه تعمیر و نگهداری واگنها زیاد است زیرا این واگنها دائماً در حال سرد و گرم شدن هستند.

۶- عدم حرارت دهی یکنواخت به کاشی و در نتیجه افت کیفیت محصول

امروزه با توجه به معایب ذکر شده و از طرفی توسعه تکنولوژی، از کوره های تونلی کمتر استفاده می شود و این

کوره ها جای خود را به کوره های رولری (غلطکی) داده اند که در ادامه به توضیح آن می پردازیم.

کوره میکرو نوع جدیدی از کوره تونلی است. در این کوره چرخ واگن حذف شده است و بدنه کوره به صورت پیش ساخته عرضه می شود و مشتری می توان بر اساس نیازش هر طولی از آن را انتخاب کند. بهره برداری از کوره به طور خودکار انجام می شود.

۲-۳-۶-۲. کوره غلطکی یا رولری

در این کوره به جای واگن از کف غلتکی استفاده می شود. غلتکها از فولاد زنگ نزن و نوار نقاله ها از زنجیر فولادی ساخته شده اند. در دماهای بالاتر از غلتکهای چینی استفاده می شود. بنابراین علاوه بر امتیازهای کوره تونلی، این کوره امتیاز دیگری هم دارد و آن تعمیر و نگهداری آسان است. تصویر این کوره در شکل۲-۱۳ نشان داده شده است.

شکل۲-۱۳. تصویر کوره رولری

۲-۳-۶-۳. کوره الکتریکی

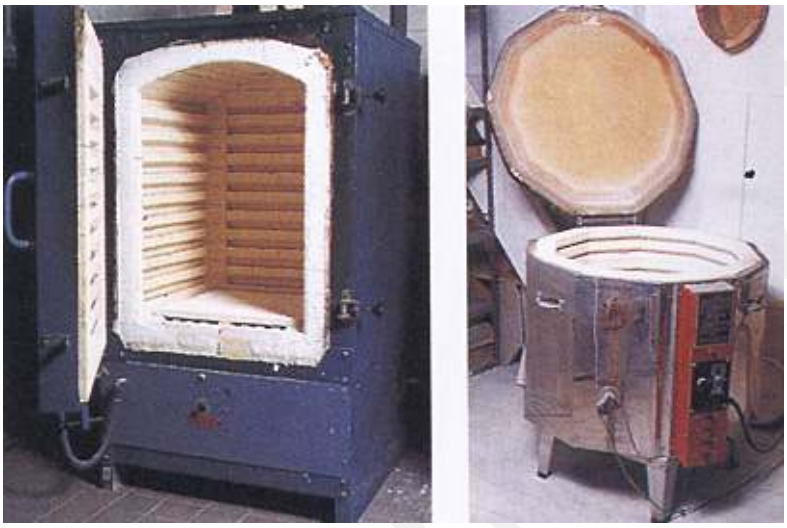
مزایای کوره های الکتریکی عبارتند از :

۱) به محفظه احتراق و دودکش نیاز ندارد و در نتیجه ساختمان کوره بسیار ساده، و هوای داخل آن تمیز است.
۲) بهره برداری از کوره بسیار آسان و دمای آن یکنواخت است.
۳) بازده گرمایی آن بالاست زیرا گرما، از طریق خروج محصولات احتراق تلف نمی شود.
۴) نیازی به ذخیره کردن سوخت ندارد.
۵) چون خوردگی ناشی از وجود خاکستر رخ نمی دهد، عمر کوره طولانی است.
۶) کنترل خودکار آن ساده است.

این کوره ها به دو روش گرم می شوند، روش نخست از طریق مقاومت جسم جامد یا مایع، و روش دوم از طریق

قوس الکتریکی است. کوره اول را کوه مقاومتی و کوره دوم را کوره قوسی می نامند.

این کوره ها در دو نوع گرمایش مستقیم و گرمایش غیر مستقیم وجود دارند. هنگامی که جنس، رسانای الکتریکی باشد، می توان از خود آن به عنوان مقاومت گرمایی استفاده کرد و مواد دیرگداز الکتروکست[1] (برق-ریخت) به این روش تولید می شوند، از طرف دیگر هنگامی که جنس رسانا نباشد، گرما به وسیله مقاومتهای گرمایی به آن داده می شود. در صنعت سرامیک معمولا از کوره مقاومتی غیر مستقیم استفاده می شود. نمونه هایی از کوره های برقی در زیر نشان داده شده است.



شکل۲-۱۴. نمونه هایی از کوره های برقی پرتابل

پژوهشهای بسیاری که در سالهای اخیر در صنعت پخت سرامیک صورت گرفته است، نشان می دهد که روشهای مدرن تری برای پخت سرامیکها ابداع شده است.

۱ - Electrocast

پخت سرامیک با استفاده از ماکروویو

پخت سرامیکها با استفاده از مایکروویو نه تنها منجر به تولید قطعاتی با خواص بهبود یافته تر می شود بلکه در نتیجه افزایش چشمگیر سرعت سینتر و کوتاه کردن زمان پخت، صرفه جویی قابل توجهی در انرژی مصرفی را نیز می تواند امکان پذیر سازد.

سابقه تحقیقات در مورد امکان استفاده از مایکروویو در فرآوری مواد سرامیکی به دهه ۱۹۶۰ باز می گردد. در سالهای میانی این دهه، W.R Tinga و همکارانش آدمونتون کانادا برای اولین بار سینتر سرامیکها توسط مایکروویو را امکان پذیر یافتند. از آن هنگام تا کنون، توجه متخصصان و پژوهشگران علم مواد به این زمینه معطوف بوده و پژوهشهای بسیاری به منظور درک دقیق فرآیند و تعیین خواص سرامیکهای سینتر شده توسط مایکرو ویو انجام شده است.

مایکروویو بخشی از طیف گسترده امواج الکترومغناطیسی با طول موج ۱-۱۰۰۰mm (برابر با فرکانس ۰/۳-۳۰۰GHz) است که در محدوده ای میان امواج رادیو تلویزیونی و فروسرخ قرار دارد. امواج مایکروویو بر خلاف نور مرئی (به استثنای لیزر) همدوس و پلاریزه بوده مانند آن از قوانین اپتیک پیروی می کند. مایکروویو بسته به نوع ماده ای که با آن برخورد می کند، می تواند انعکاس یابد، جذب شود یا عبور کند.

فلزات(رساناها) نسبت به مایکروویو کدر هستند و آنرا باز می تابانند. مواد عایق با اتلاف دی الکتریکی کم در دمای معمولی مایکروویو را به خوبی عبور می دهند و دسته دیگر از مواد عایق که اتلاف دی الکترکی زیادی دارند قادرند این امواج را در دمای معمولی جذب کنند.

جذب امواج مایکروویو در مواد توسط فرآیندهایی چون چرخش ملکولها و الکترونها، تشدید هسته ای و جهت گیری مجدد اسپین ها صورت می گیرد که می تواند به فلورسانس، واکنشهای شیمیایی و البته ایجاد گرما منجر شود.

این که یک ماده تا چه حد می تواند بر اثر جذب مایکروویو گرم شود به ریز ساختار و فاکتور اتلاف دی الکتریکی آن بستگی دارد. بسیاری از سرامیکهای عایق الکتریسیته نظیر:

$CaCo3\ MgO\ ،\ S\ i\ O\ 2،A/\ 2\ O3$

و بیشتر شیشه ها در دمای معمولی نسبت به مایکروویو شفاف اند و آن را بخوبی عبور می دهند. ولی وقتیکه تا دمای بحرانی T_c گرم شوند به طرزی مؤثر شروع به جذب این امواج می کنند. دسته ای دیگر از سرامیکها همچون:

$Fe_3\ O\ _4\ ،\ Co\ _2O\ _3\ ،\ MnO\ _2\ NiO\ ،\ CuO\ ،\ P_bS$

حتی در درجه حرارت اتاق نیز به طور محسوسی قادر به جذب این امواج هستند.

گرم کردن قطعات بوسیله مایکروویو اساساً با فرآیندهای حرارتی متداول تفاوت دارد. در روشهای سنتی، حرارت توسط منبعی خارج از جسم ایجاد می شود. گرما سپس در سطح جسم جذب و از طریقی هدایت به داخل آن منتقل می شود. گرما سپس در سطح جسم جذب و از طریقی هدایت به داخل آن منتقل می شود. یعنی شیب حرارت از

محیط به جسم است. در حالی که در روش مایکروویو، گرما بر اثر نوسانات ملکولی و اتمی در داخل جسم به طور یکنواخت ایجاد می گردد و شیب حرارتی در واقع از جسم به محیط است.

از آنچه گفته شد بلافاصله دو نتیجه حاصل می آید: اولاً یکنواختی گرمای تولید شده در جسم به روش مایکروویو، منجر به ایجاد ریز ساختاری یکنواخت تر و محصولی با خواص بهبود یافته تر می گردد. و ثانیاً به علت اینکه جسم از داخل گرم می شود، دمای محیط محفظه (کوره) در روش مایکروویو به مراتب کمتر از جسم است و صرفه جویی قابل توجهی در آستری و عایق کوره می تواند بعمل آید.

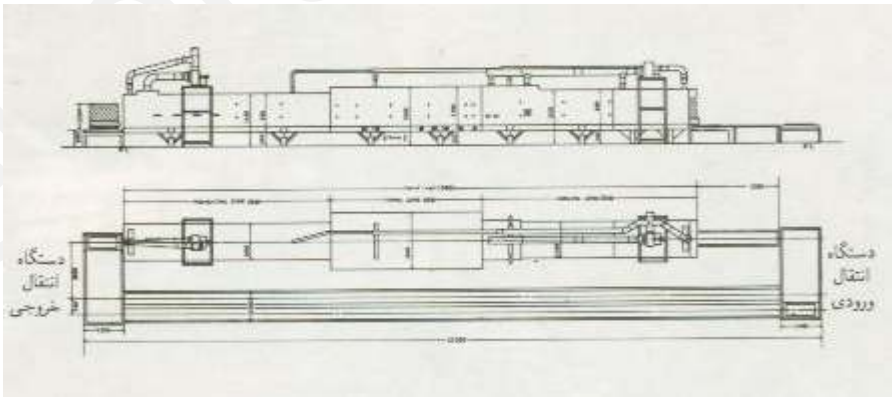
سیستم های مایکروویو که برای پخت سرامیکها مورد استفاده قرار می گیرد شامل سه قسمت اصلی است:

الف) منبع تولید مایکروویو که معمولاً دستگاه مگنوترون یا ژایروترون است و امواجی با فرکانس ۲-۳۰ GHz ایجاد می کند.

ب) موجبرهایی که وظیفه انتقال مایکروویو را از منبع تولید به محفظه مایکروویو به عهده دارند.

ج) محفظه مایکروویو که نقش کوره را بازی می کنند.

«کوره» مایکروویو در واقع محفظه فلزی بسته ای است که مایکروویو از روزنه ای به آن وارد می شود و جریانی از آب، جداره آن را خنک می کند. سطح داخلی محفظه توسط آجرهای عایق سرامیکی با اتلاف کم پوشانده شده است. محفظه کوچکتری نیز در مرکز محفظه بزرگ قرار دارد که محل قرار دادن قطعه است و با صفحاتی از فیبرهای سرامیکی کم اتلاف پوشانده شده است و در مقایسه با نمونه، مایکروویو را بسیار کمتر جذب می کند. از آنجا که با افزایش دما، اتلاف دی الکتریکی افزایش می یابد احتمال تمرکز گرما و شکست ناشی از حرارت در جسم وجود دارد. بدین لحاظ کوره های مایکروویو مجهز به سیستمی هستند که متناسب با افزایش درجه حرارت، توان ورودی را کاهش می دهد و سیکل حرارتی مناسب را حفظ می کند. ساختما کوره میکرو در شکل (۲-۱۲) نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۲- ساختمان کوره میکرو

۲-۴. جمع آوری اطلاعات مربوط به کوره های موجود در کشور

تولید کاشی در ایران تا قبل از سال ۱۳۳۹ به صورت دستی در کارگاههای کوچک صورت می گرفته است و در

این سال تولید کاشی ماشینی با احداث کارخانه کاشی ایرانا آغاز گردید و به دنبال آن کارخانجات سعدی نیلو، یزد، اصفهان، حافظ جزء اولین واحدهای تولید کاشی احداث و راه اندازی شدند. روند رشد و توسعه کارخانجات تا سال ۱۳۷۲ به ۱۴ واحد به ظرفیت ۳۱/۵ میلیون متر مربع رسید که سهم کاشی دیواری با ۷ واحد، ۸۵ درصد و سهم کاشی کف با ۷ واحد ۱۵ درصد بود. در پایان سال ۸۳ تعداد کارخانجات به ۵۶ واحد با ظرفیت اسمی ۱۷۶ میلیون متر مربع و تولید نیز به ۱۲۳ میلیون متر مربع رسید.

تا پایان سال ۸۵ تعداد کارخانجات تولید کاشی به ۷۱ واحد و ظرفیت اسمی بالغ بر ۳۱۳ میلیون متر مربع خواهد رسید.

هر کارخانه می تواند هر دو نوع محصول کاشی دیوار و کف را تولید نماید. بر این اساس در حدود ۳۸ خط تولید کاشی دیوار و ۴۲ خط تولید کاشی کف موجود می باشد.

۲-۴-۱. روش پخت کاشی در کشور

فرایند پخت کاشی به دو روش انجام می شود:

الف - روش دو پخت

ب- روش تک پخت

۲-۴-۱-۱. تولید به روش دو پخت

این روش شامل فرآیندهای زیر است :

- خشک کردن
- کوره پخت بیسکوئیت
- بازرسی کیفی
- لعاب زنی و چاپ
- پخت لعاب
- خشک کردن

بعد از اینکه بیسکویت از زیر پرس خارج شد، حدود ۶ درصد رطوبت دارد و برای خشک کردن خشک کن (Dryer) فرستاده می شود. بعد از ۴۸ ساعت که در خشک کن قرار گرفت رطوبت موجود در بیسکویت تا حدود ۱ درصد کاهش می یابد. معمولاً حرارت مورد نیاز خشک کن از طریق بازیافت از کوره های پخت تأمین می گردد و یا مجهز به مشعل کمکی می باشد.

- پخت بیسکویت

بیسکویتها پس از خروج از قسمت خشک کن، وارد کوره پخت بیسکویت می شوند. که معمولاً از دو نوع کوره

غلتکی (Roller Kiln) و یا تونلی (Tunnel Kiln) استفاده می شود.

- کوره های تونلی

این کوره ها از تونلهای تقریباً بلندی تشکیل شده اند که عمل پخت کاشی در داخل این تونلها انجام می شود. بیسکویتها در داخل کاست های نسوز چیده شده و روی واکنهایی قرار گرفته و واگنها روی خط آهن از میان تونل عبور می نمایند. در کوره های تونلی مسیر حرکت واگنها همواره مخالف مسیر حرکت هوا و گازهای داغ می باشد. در واقع کوره های پخت عمده مصرف کننده سوخت فسیلی (در مشعلها) و انرژی الکتریکی (در فن های سیر کولاسیون اجباری، فن های مکنده و فن های خشک کننده) می باشند.

- کوره های غلطکی

در این کوره های مدرن دیگر از واگنها استفاده نمی شود و با کاهش مقطع عرضی کوره های تونلی انتقال حرارت به بیسکویتها سریعتر صورت گرفته و حرارت بسیار یکنواخت تری در طول کوره بوجود می آید. و همچنین زمان پخت به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد.

در تمام طول کوره غلتکهایی از جنس آلیاژهای دیر گداز و یا سرامیک نصب شده است. بیسکویتها روی صفحات و تکیه گاههای دیر گداز قرار گرفته و سپس روی غلتکها سوار می شوند و یا مستقیماً روی غلتکها قرار گرفته و بوسیله حرکت غلتکها طول کوره را طی می کنند. در این کوره های تعویض غکتکها بسیار ساده بوده و در صورتیکه صدمه دیده باشند براحتی قابل تعویض می باشند. کوره پخت به سه منطقه تقسیم می شود.

۱- منطقه پیش پخت [۱]

در این منطقه مشعل حرارتی وجود ندارد و گرمای آن بوسیله فنهائی که در ابتدای ورودی کوره قرار دارند با مکش گرما از منطقه پخت به منطقه پیش پخت، تأمین می شود. در این منطقه دمای کوره از درب ورودی تا مرکز پخت بتدریج افزایش می یابد و از حدود ۱۰۰ درجه سانتیگراد شروع شده و بتدرجی به ۹۷۰ درجه سانتیگراد می رسد.

۲- منطقه پخت [۲]

تمامی مشعلهای حرارتی در این منطقه وجود دارند. دمای پخت این منطقه به $^{\circ c}$ ۱۳۲۰-$^{\circ}$ ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد می رسد. که بسته به نوع کاشی (کف یا دیوار) و خواص فیزیکی آن، در محدوده دمایی فوق نوسان می کند.

۳- منطقه خنک کن [۳]

برای خنک کردن تدریجی بیسکویتها که از منطقه پخت می آیند. با دمیدن هوا توسط فن به داخل این منطقه، باعث خنک شدن تدریجی بیسکویتها می شوند، تا در موقع خروج بیسکویتها و تغییرات ناگهانی دما شوک حرارتی ایجاد نشده و بیسکویتها ترک نخورند.

---

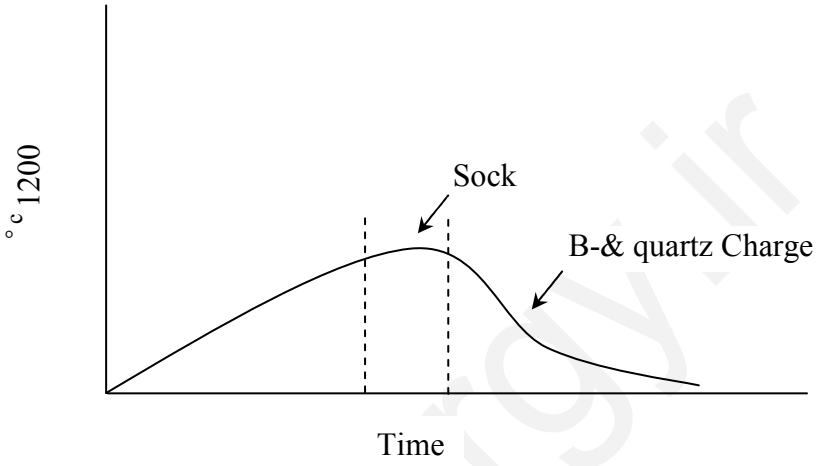
۱ - Preheating Zone

۲ - Firing Zone

۳ - Cooling

هوای عبوری از روی بیسکویتها، گرم شده و قابل بازیافت است، که معمولاً در کوره ها و مخصوصاً کوره های مدرن از این هوای گرم برای منطقه پیش پخت و پیش گرمکن و خشک کن استفاده می شود.

بدیهی است کنترل دما و زمان پخت و یا بطور کلی سیکل پخت در کوره ها از اهم موضوعات بوده و تأثیر به سزایی در میزان مصرف انرژی دارد. در شکل۲-۱۵ منحنی عمومی پخت کاشی نشان داده شده است که در آن سه منطقه ذکر شده قابل تفکیک می باشد.



شکل۲-۱۵. منحنی پخت کاشی

- بازرسی کیفی [۱]

بیسکویتهای پخته شده پس از سرد شدن کامل به واحد بازرسی کیفی فرستاده می شوند. روش سنتی کنترل، تقه زنی می باشد. واحد تقه زنی اصطلاحاً به واحدی اطلاق می گردد که در آن پرسنل بصورت دستی با ضربه زدن به بیسکویتهای پخته، بیسکویت معیوب را جدا می کنند و لازم به ذکر است که در کارخانه مدرن این امر با تجهیزات تمام اتوماتیک انجام می گیرد.

- لعاب زنی و چاپ [۲]

بعد از این مرحله بیسکویتهای سالم به سالن لعابزنی منتقل می شوند. هر سالن تولید کاشی، دارای تعدادی خطوط لعابزنی می باشد. وظیفه هر یک از این خطوط، لعاب دادن بیسکویت و چاپ نقش بر روی کاشی می باشد. در صنعت کاشی، کاشیها از طریق نوار نقاله از زیر یک آبشار نازک و یکنواخت لعاب عبور نموده و لعابکاری می شوند. سپس چاپ رنگ در چند مرحله بسته به نقش مورد نیاز به وسیله شابلونهای طرح روی کاشی، انجام می گیرد. لازم به ذکر است در بعضی از کارخانجات رنگهای کاشی نیز در واحد رنگ سازی تهیه می گردد.

- کوره پخت لعاب [۳]

بیسکویتهای لعاب خورده ، بطرف کوره های پخت لعاب هدایت می شوند. فرآیند پخت در این کوره ها شبیه کوره های بیسکویت است. با این تفاوت که ماکزیمم حرارت این کوره ها کمتر از کوره های بیسکویت می باشد

۱- Inspection
۲- Clazing & Prin ting
۳ - Glaze Kiln

(حدود ^{oc} ۸۵۰).

سوخت تمامی کوره ها گاز طبیعی بوده و در صورت قطع جریان گاز، از سوخت گازوئیل بعنوان سوخت اضطراری استفاده می شود. نکته حائز اهمیت این است که تمامی کوره ها می بایست بدون هیچگونه وقفه ای فعال باشند و حتی در صورت قطع برق شبکه، انرژی مورد نیاز این مصارف حیاتی تأمین گردد.

۲-۴-۱-۲. تولید کاشی با روش تک پخت

فرآیند تولید در مقایسه با روش قبل، تغییراتی دارد. به این صورت که بیسکویت ها وارد خشک کن شده و سپس بدون اینکه پخته شوند به قسمت لعاب کاری و چاپ منتقل می شوند. بیسکویت های لعابکاری شده در دستگاههای انتقال قرار گرفته و پس از قرار گرفتن مجدد در خشک کن به کوره غلطکی منتقل می شوند. هر ردیف از این بیسکویت ها روی غلتکها قرار گرفته و به داخل کوره هدایت می شوند. بعد از گذر از نواحی پیش گرم، پخت و خنک کاری به قسمت درجه بندی و بسته بندی منتقل می شوند.

در کاشیهای دیوار تولیدی در ایران به علت یکسان نبودن دمای پخت بدنه و لعاب، فرآیند پخت در دو مرحله انجام می گیرد. اما امروزه در جهان با دستیابی به فرمولاسیون خاصی از لعاب جهت کاشیهای دیواری، کل فرآیند پخت در یک مرحله صورت گرفته و مصرف انرژی فرآیند پخت، به نصف کاهش یافته و سرعت تولید بالا رفته است. از آنجائیکه عمده مصرف انرژی در صنعت کاشی در مرحله پخت می باشد، مصرف انرژی کل نیز کاهش چشمگیری دارد.

۲-۴-۲. روش پخت ظروف چینی در کشور

سابقه تولید ظروف چینی به صورت صنعتی در کشور ایران حدود ۳۰ الی ۳۵ سال می باشد. در سالهای پیش از انقلاب واحدهای چینی البرز، پارس، گیلان، تصاعی و کاین احداث و با ظرفیت تقریبی ۵۱۸۰ تن در سال شروع به کار نمودند و از جمله کارخانجات قبلی این رشته از صنعت می باشند.

روند تولید و ظرفیت اسمی کارخانجات ظروف چینی در اول سال ۸۳ به ۶۴۳۰۰ تن رسید و طی سال ۸۳ طرح توسعه چینی همگام با ظرفیت ۱۵۰۰ تن و چینی نسترن به ظرفیت ۴۰۰۰ تن راه اندازی گردید. در اواخر اسفند ماه ۸۳ فاز یک طرح توسعه طوسی چینی به ظرفیت ۷۵۰۰ تن و چینی البرز به ظرفیت ۲۵۰۰ تن راه اندازی و تا پایان سال ۸۴ به تولید نهایی رسید. همچنین چینی مرجان با طرح توسعه ۱۰۰۰ تنی با ساخت ۴ دستگاه کوره شامل ساخت داخل راه اندازی گردید. لذا ظرفیت اسمی ظروف چینی تا پایان سال ۸۳ با راه اندازی طرحهای واحدهای فوق به ۸۳۳۰۰ تن رسیده است. هم اکنون ۲۵ واحد تولید ظروف چینی در کشور مشغول به کار می باشند. در ادامه روند پخت چینی در کشور با توجه به آمار آن ارائه می گردد.

- خشک کردن و پرداخت [۱]

فرآیند خشک کردن اثرات مهمی در راندمان تولید دارد. خشک کردن نامناسب ممکن است باعث شکستن و

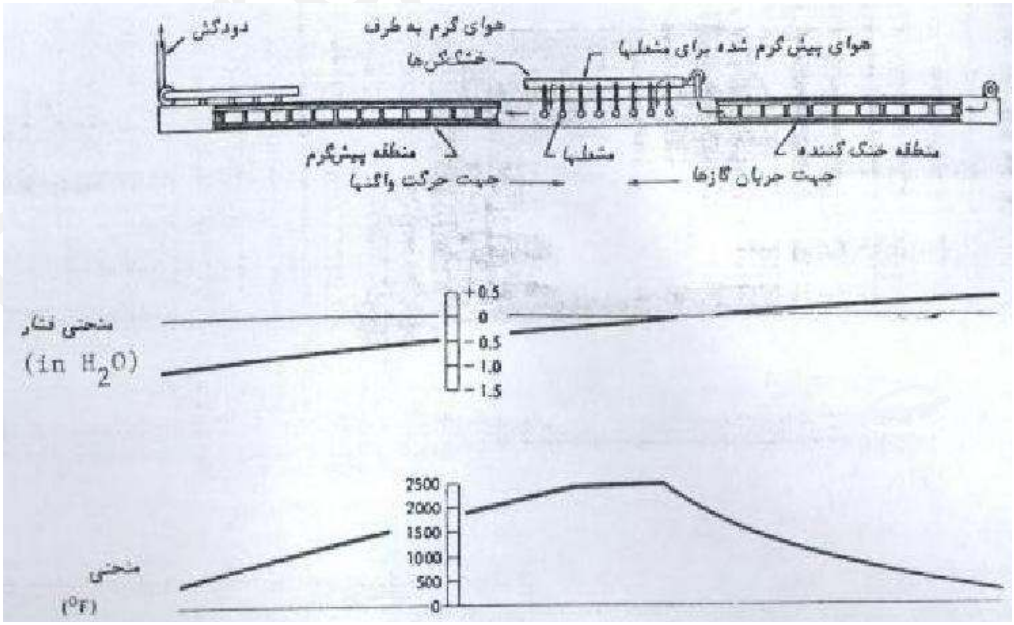
۱- Drying & Finishing

ترک برداشتن سرامیکها گردد. بنابراین لازم است که شرایط دمایی مناسب میزان رطوبت و زمان ماند مناسبی برای خشک کردن سرامیکها به خصوص ظروف چینی که ظریف تر می باشند اختصاص داده شود.

در صنعت ظروف چینی در صورت استفاده از دستگاههای جیگر و جولی، قطعه شکل داده شده بر روی قالبهای گچی دستگاه سوار هستند و به علت داشتن حالت خمیری و رطوبت بالا (حدود ۲۵-۲۳ درصد) ابتدا باید خشک شده و سپس از قالب جدا شوند. قالبهای گچی در دمای بالای ^{oc} ۸۰ آسیب می بینند، لذا با توجه به این محدودیت و سایر تمهیدات، این بدنه ها در دو مرحله خشک می شوند. در مرحله اول در دمای ^{oc} ۸۰-۶۰ و در مرحله دوم در محدوده دمایی ^{oc} ۱۲۰-۱۰۰، قرار می گیرند. در صورت نیاز قطعه به مونتاژ، عمل مونتاژ در بین دو مرحله خشک شدن انجام می شود. در بعضی از کارخانجات به خشک کن اول، چرمینه و به خشک کن دوم، خشک کن سفید می گویند. رطوبت بسکویتهای خروجی از خشک کن ، ۵-۴ درصد می باشد. خشک کنهای قدیمی مورد استفاده در این صنعت خشک کن های مانگل یا چرخ و فلکی است در صورتیکه در خشک کنهای جدید، ظروف بر روی نوار نقاله حرکت کرده و از طول خشک کن عبور می کنند. هوای گرم مورد نیاز نیز معمولاً از بازیافت حرارت خروجی از کوره ها تأمین می گردد. بعد از مرحله خشک شدن، پرداخت یا بصورت دستی و یا بصورت ماشینهای اتوماتیک ساب زنی انجام می گیرد.

- پخت بیسکویت

در این صنعت از کوره ها تونلی برای پخت استفاده می شود. مدت زمان پخت در کوره پخت بیسکویت، حدود ۳۰ ساعت می باشد. این کوره ها در این صنعت به طور دقیق به ۵ ناحیه تقسیم می شوند. شکل۲-۱۶ منحنی حرارتی (تغییرات دمایی) قسمتهای مختلف کوره را همزمان با شکل شماتیک کوره نشان می دهد، ظروف در این قسمت با آرایش مخصوصی بر روی یکدیگر و سپس بر روی میزهای نسوز و قطور چیده شده و توسط ریل به داخل کوره هدایت می شوند.



شکل۲-۱۶. منحنی دما و فشار در مقطع طولی از کوره تونلی

الف - قسمت پیش گرمکن [۱]

دما در این ناحیه حدود $^{\circ c}$۷۰۰-۶۰۰ است که حرارت مورد نیاز آن از بازیافت حرارت از ناحیه پخت بوسیله فنهای مکنده، تأمین می گردد.

ب- قسمت پیش پخت [۲]

دما در این ناحیه بالای $^{\circ c}$ ۱۰۰۰ می باشد که توسط یکسری مشعل که در قسمت پائین کوره تعبیه شده، تأمین می گردد. پخت اولیه ظروف در این ناحیه انجام می شود.

ج- قسمت پخت [۳]

دما در این ناحیه بالای $^{\circ c}$ ۱۲۰۰ می باشد و پخت اصلی بیسکویتها در این قسمت و به توسط مشعلهای قرار داده شده در بالا و پائین این منطقه، انجام می گیرد.

د- قسمت رکوپراتور [٤]

بیسکویتها بعد از پخته شدن، در این قسمت سریعاً سرد می شوند. در واقع عمل خنک شدن در این ناحیه بصورت غیر مستقیم انجام گرفته و دما از $^{\circ c}$ ۱۲۵۰ سریعاً به حدود $^{\circ c}$۹۰۰-۸۰۰ می رسد. بیسکویتها در اینجا در داخل محفظه بسته ای قرار گرفته و جریان هوا بشدت و توسط فنهای دمنده از خارج کوره وارد و محفظه را خنک می کند. هوای گرم شده توسط فنهای مکنده از این قسمت خارج گشته و به قسمتهای پیش گرمکن فرستاده می شود.

هـ- قسمت خنک کننده [۵]

دما در این ناحیه طبق منحنی، از $^{\circ c}$ ۹۰۰-۸۰۰ به آرامی به $^{\circ c}$ ۲۵۰-۲۰۰ افت می کند. بسکویتها در اینجا توسط جریان هوا و به صورت مستقیم خنک می شوند به طوری که در نهایت، بدنه ها در هنگام خارج شدن از کوره دارای دمایی در حدود $^{\circ c}$۱۲۰ می باشند. هوای گرم این قسمت نیز بازیافت شده و به قسمت خشک کن منتقل می گردد.

- لعابزنی

لعابزنی در صنعت ظروف، معمولاً به روش غوطه وری انجام می گیرد که می تواند بصورت دستی و یا توسط دستگاه خودکار لعابکاری به روش غوطه وری، انجام گیرد. لعاب بکار رفته در این فرآورده ها از انواع لعاب خام و مشهور به لعابهای پرسلان می باشد که درجه حرارت پخت بسیار بالا (حدود $^{\circ c}$ ۱۴۵۰ - ۱۳۵۰) دارند.

- پخت لعاب

کوره های پخت لعاب نیز از انواع کوره های تونلی می باشد. چون در این کوره ها، لعاب ابتدا ذوب گشته و

---

۱ - Preheating
۲ - Prefiring
۳ - Firing
۴ - Recouprator
۵- Cooling

سپس پخته می شود، در صورت چیدن ظروف بر روی یکدیگر، در هنگام پخت به یکدیگر می چسبند، بنابراین ظروف در داخل مواد نسوز موسوم به سازگاز چیده می شوند البته برای ممانعت از چسبیدن قطعات به کف ساگارها نیز لعاب موجود در پایه ظروف، قبل از چیده شدن در ساگار، پاک می شود. مناطق مختلف کوره پخت لعاب مانند کوره پخت بیسکویت می باشد که قبلاً توضیح داده شد و فقط دمای ناحیه پخت لعاب بالاتر بوده و بین $^{\circ c}$۱۴۵۰-۱۳۵۰ می باشد. مدت زمان پخت حدوداً ۲۰ ساعت است. معمولاً برای هر یک عدد کوره بیسکویت باید دو عدد کوره لعاب، (هم اندازه با کوره بیسکویت) پیش بینی و تعبیه گردد.

۲-۴-۳. روش پخت چینی بهداشتی در کشور

اولین واحد چینی بهداشتی کشور در سال ۱۳۴۷ به نام شرکت پارسی سرام در قرچک ورامین احداث گردید و به دنبال آن دو واحد دیگر به نام (مینا و گلنما «آرمیتاژ») واحدهای قدیمی تولید چینی بهداشتی در ایران می باشند.

تولید این صنعت در سال ۸۳ با تعداد ده کارخانه با ظرفیت اسمی ۷۳.۲۰۰ تن در سال به میزان ۷۴۵۲۷ تن بوده که راندمان تولید آن ۱۰۱/۸۱ می باشد که نسبت به سال ۸۲ شش درصد افزایش تولید داشته است. در سال ۸۴ یک واحد ۶۰۰۰ تنی به نام چینی بهداشتی اردکان با تولید ۸۰۴۵۰ تن محصول احداث گردیده است. هم اکنون ۱۱ واحد تولید کننده چینی بهداشتی در کشور فعالیت می کنند.

- کنترل کیفی

ظروف سپس در این قسمت از نظر کیفیت ظاهری درجه بندی و تقسیم بندی می گردد و در صورت نیاز به دکوراسیون و ایجاد نقش و نگار بر روی آن، به قسمت دکوراسیون منتقل می گردد.

- دکوراسیون [۱]

دکوراسیون و ایجاد نقش بر روی ظروف چینی معمولاً توسط چسباندن عکس برگردان انجام می شود. جنس این عکس برگردانها از مواد معدنی و دیر گداز می باشد که معمولاً بصورت دستی بر روی ظروف پیاده می گردند. همچنین از طلا مایع نیز جهت تزئین لبه ظروف و حاشیه آنها استفاده می شود.

- پخت دکور

دمای پخت این رنگها در حدود $^{\circ c}$۸۰۰-۹۰۰ می باشد. رنگها در دماهای بالا تغییر رنگ داده و می سوزند و ماهیت اولیه خود را از دست می دهند. بنابراین نیاز به کوره ای جداگانه در این قسمت احساس می گردد. در این مرحله می توان از انواع کوره های الکتریکی و سوخت فسیلی استفاده نمود. شرایط پخت در این قسمت باید خنثی باشد. زمان پخت در کوره های گازی حدود ۲ ساعت و در کوره های برقی ۶ ساعت است. در صورتیکه بخواهند رنگ و نقش به داخل لعاب نفوذ کند و یا اصطلاحاً In glaze شود دما را باید تا $^{\circ c}$۱۲۰۰ افزایش دهند.

- پخت سوم

۱ - Decoration

این مرحله شامل

- خشک کردن و پرداخت
- لعاب زنی
- پخت
- خشک کردن و پرداخت [۱]

قطعات بعد از جداسازی از قالب بر روی سکوهایی جهت خشک شدن کامل قرار می گیرند، گرمای مورد نیاز جهت خشک کردن، بوسیله کانالهای هوای داغ تعبیه شده در سقف این قسمت تأمین می گردد. معمولاً این هوای داغ از بازیافت هوای خروجی از کوره پخت تأمین می گردد. بعد از خشک شدن، بدنه این سرامیکها را به صورت دستی و یا اتوماتیک ساب زده و پرداخت می کنند

- لعاب زنی

لعاب مورد نیاز در قسمت لعاب سازی آماده و به این قسمت منتقل می گردد. سرامیکهای بهداشتی به روش پاشیدن لعاب بر روی آنها، لعابکاری می شوند. این عمل یا بوسیله دستگاه پاشنده دستی و کارگر ورزیده و یا به وسیله دستگاههای پاشنده خودکار و مجهز به چشم الکترونیکی انجام می پذیرد.

- پخت

این فرآورده ها بصورت تک پخت و در رنج دمایی $^{\circ c}$۱۳۰۰-۱۲۰۰ پخته می شوند. نوع کوره های مورد استفاده در این صنعت، از نوع کوره های تونلی می باشد. بدنه های خام بر روی سطوح نسوز چیده شده و به کوره منتقل می گردند. سطوح نسوز ذکر شده و یا اصطلاحاً میزهای نسوز، بر روی ریلهایی که به کوره منتهی می گردد قرار دارند و توسط آنها در داخل و خارج کوره حرکت می کنند. مناطق مختلف کوره پخت در صنعت کاشی به تفضیل توضیح داده شده است و تنها تفاوت، دمای منطقه پخت می باشد که در اینجا بین $^{\circ c}$۱۲۰۰ الی ۱۳۰۰ است. غالباً کوره های پخت دکور (پخت سوم) از نوع Batch می باشد.

۲-۵. پیشنهاد روشهای بازیابی انرژی با بررسی اولیه کوره ها

۲-۵-۱. مصرف انرژی در صنعت سرامیک

انرژی مصرفی در صنعت سرامیک به دو بخش الکتریکی و فسیلی تقسیم بندی می شود. بخش پخت بیشترین انرژی را مصرف می کند که شامل خشک کن و کوره پخت می باشد.

الف - فرایند خشک کردن

فرایند خشک کردن در صنعت سرامیک بعد از کوره پخت بزرگترین مصرف کننده انرژی می باشد در این بخش رطوبت مواد از طریق تبخیر از سطح از دست داده می شود سرعت خشک شدن بستگی به دما و رطوبت دارد.

ب - فرایند پخت

۱- Dryling & Finisbing

در کوره پخت مواد خام اولیه طبیعی تبدیل به سرامیک می شوند. لازم به ذکر است که تفکیک فرآیندها و تغییرات حرارتی از جمله خشک کردن، از دست دادن آب، تجزیه، ترکیب، وارونگی و شیشه ای شدن در شناخت فرآیند پخت و همچنین نمودار حرارتی چینی مهم است.

۱) افزایش دما تا ^{c}۹۰۰

ابتدا جسم در فاز اول (خشک کن) خشک می شود. محصول خروجی از این مرحله هنوز ۱ تا ۲ درصد آب به همراه خود دارد. بنابراین به محض ورود به کوره تا قبل از آنکه دمای کوره به^{c} ۲۰۰ برسد آب باقی مانده تبخیر می شود سپس هنگامی که دمای بین ^{c}۳۰۰ تا ^{c} ۵۰۰ قرار گرفت مواد آلی احتراق پیدا کرده ویا کربونیزه می شوند. در این مرحله استحکام مواد کم می شود. سپس کریستالهای آب که همراه خاک رس و مواد معدنی هستند در دمای ۵۰۰ تا ۷۰۰ تجزیه شده و خشک می شوند. از آنجائیکه واکنش گرما گیر است گرمای واکنش جذب جسم خاکستری شده و بنابراین دما افزایش نمی یابد. بنابراین برای پیشبرد واکنش به گرمای بیشتر نیاز می باشد. در این مرحله با افزایش دما از ^{c} ۵۰۰ تا ^{c} ۸۰۰ کلیه مواد آلی کربونیزه شده اکسید گردیده و به اصطلاح عملیات دوده زدایی صورت می گیرد. در این مرحله لازم است هوای اضافی برای انجام واکنش تهیه می گردد.

عملیات پخت در انتهای مرحله اکسیداسیون تا دمای^{c}۹۰۰ صورت می گیرد و در این مرحله استحکام جسم خاکستری تدریجاً افزایش می یابد. اگر در همین مرحله عملیات خنک سازی صورت گیرد، بیسکوئیتها تولید می گردند.

۲) افزایش دما از^{c} ۹۰۰ تا حداکثر دما

عملیات کلوخه سازی فعال[۱] و کوچک شدن اندازه جسم خاکستری در این مرحله صورت می گیرد. بنابراین دما به صورت یکنواخت افزایش می یابد تا از کوچک شدن غیر یکنواخت و تغییر شکل یافتن جسم خاکستری جلوگیری شود. در این مرحله دمایی نحوه کوچک شدن بستگی به نوع محصول دارد. بنابراین افزایش دما تا منطقه ای پیش رفته و سپس متوقف می شود.

۳) خنک سازی

هنگامی که عملیات خنک سازی بعد از افزایش دما تا منطقه حداکثر شروع می شود، جسم خاکستری با حداکثر دانسیته تولید می گردد. نکته اساسی در فرآیند سرد سازی این است که نقطه وارونگی بیشتر در دمای ^{c} ۵۷۳ تا ^{c} ۲۵۰ اتفاق می افتد.

۲-۵-۲. پیشنهاد روشهای بازیابی انرژی در بررسی اولیه کوره های سرامیکی

بازیابی انرژی در بخشهای صنعتی ابتدا از کنترل صحیح فرآیند شروع می شود. سپس در زمینه بهبود عملکرد تجهیزات و فرآیند گسترش می یابد. از این رو تلاش در جهت بازیابی و بهره وری انرژی در مراحل زیر دسته بندی می شود.

مرحله اول : نگهداری اداره سیستم

۱ - Octive Sintering

energyenergy.ir

در این مرحله صرفه جویی انرژی بدون نیاز به سرمایه گذاری در زمینه تجهیزات میسر است. کـه شـامل حـذف اتلافات کوچک، بازبینی استانداردهای تولید و خط تولیـد، مـدیریت مـؤثرتر، افـزایش رانـدمان کارکنـان، فعالیتهـای گروهی و بهینه سازی روشهای تولید می باشد.

مرحله دوم : بهبود عملکرد تجهیزات

در این مرحله با تغییرات جزئی در تجهیزات موجود در خط تولید می توان در مصرف انرژی صرفه جویی کرد. به عنوان مثال در این مرحله می توان از حرارت اضافی تولید شده ناشی از کوره احتراق استفاده کرد.

مرحله سوم : بهبود عملکرد فرآیند

در این مرحله به کمک توسعه تکنولوژی فرآیند، با اعمال تغییرات و تصحیحات اساسی در مصـرف انـرژی صـرفه جویی می شود. به عبارتی دیگر در این مرحله با به روز کردن فرآیند و صرفه جویی در نیروی انسانی با راندمان تولیـد را افزایش داد. بدین منظور دسترسی مراحل یاد شده در صنعت سرامیک در جدول۲-۱ آمده است.

جدول۲-۱. روشهای بازیابی حرارتی

	فرآیند خشک کردن	فرآیند پخت
مرحله ۱	۱)کنترل دمای احتراق	۱)کنترل دما گاز خروجی از کوره ۲)آب بندی کوره ۳) هوای خنک کننده ۴) نسبت هوا ۵) مدیریت کوره (نمودار دما، توزیـع دمـا درکـوره، فشـار کوره، اتمسفر) ۶) الگوی بارگیری کوره ۷) فاصله بین واگن کوره تا دیواره کوره ۸) آب بندی به کمک sand ۹) سرعت راندن واگن کوره
مرحله ۲	۲) عایق کاری حرارتی	۱)اجسام سبک و نسوز واگن کوره ۲) اجسام سبک و نسوز در کوره های متناوب ۳) شکل کوره های تونلی ۴) بازیابی گاز خروجی از کوره ۵) سرعت راندن واگن کوره
مرحله۳	-	۱) تبدیل کوره تونلی به کوره غلطکی

به طور کلی روشهای بازیافت انرژی در بخش کوره هـای پخـت سـرامیک در یـک بررسـی اولیـه بـه شـرح زیـر می باشند:

۱. تغذیه هوای مورد نیاز مشعل
۲. تنظیم هوای اضافی در مشعل کوره
۳. تنظیم و کالیبره کردن ترموکوپلهای کوره

۴. کنترل فرآیند و سیکل پخت کوره
۵. جایگزینی کوره های تونلی با کوره های غلتکی
۶. درز بندی و پرکردن منافذ بین دیواره کوره و ریل و واگن در کوره های تونلی و استفاده از الکتروموتورهای راندمان بالا در فن کوره ها

energyenergy.ir

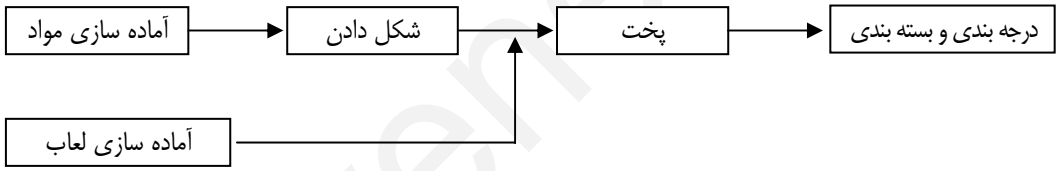
فصل سوم

اطلاعات مربوط به شدت مصرف انرژی و بررسی تجربیات کشورهای مختلف در خصوص روشهای بازیابی انرژی در صنعت سرامیک و کاشی

۳-۱. گردآوری اطلاعات مربوط به شدت مصرف انرژی در کوره های تولید محصولات سرامیکی

صنایع کاشی و سرامیک در دسته کانی های غیر فلزی قرار دارد و سهم مصرف انرژی این صنعت طبق پردازش آخرین آمارگیری سال ۱۳۷۶، ۸/۳۶ درصد از مصرف انرژی در صنعت کانی های غیر فلزی بوده و نهایتاً ۱/۸۳ درصد از مصرف انرژی کل صنعت کشور را به خود اختصاص می‌دهد. در حال حاضر با توجه به پایین بودن قیمت انرژی در ایران، هزینه مصرف انرژی در صنعت سرامیک کشور حدود ۱۱/۴۸ درصد از کل هزینه تمام شده محصول است.

فرایند تولید محصولات صنعت سرامیک (کاشی، ظروف چینی و چینی بهداشتی) به طور کلی به چهار بخش اصلی تقسیم می‌شود.

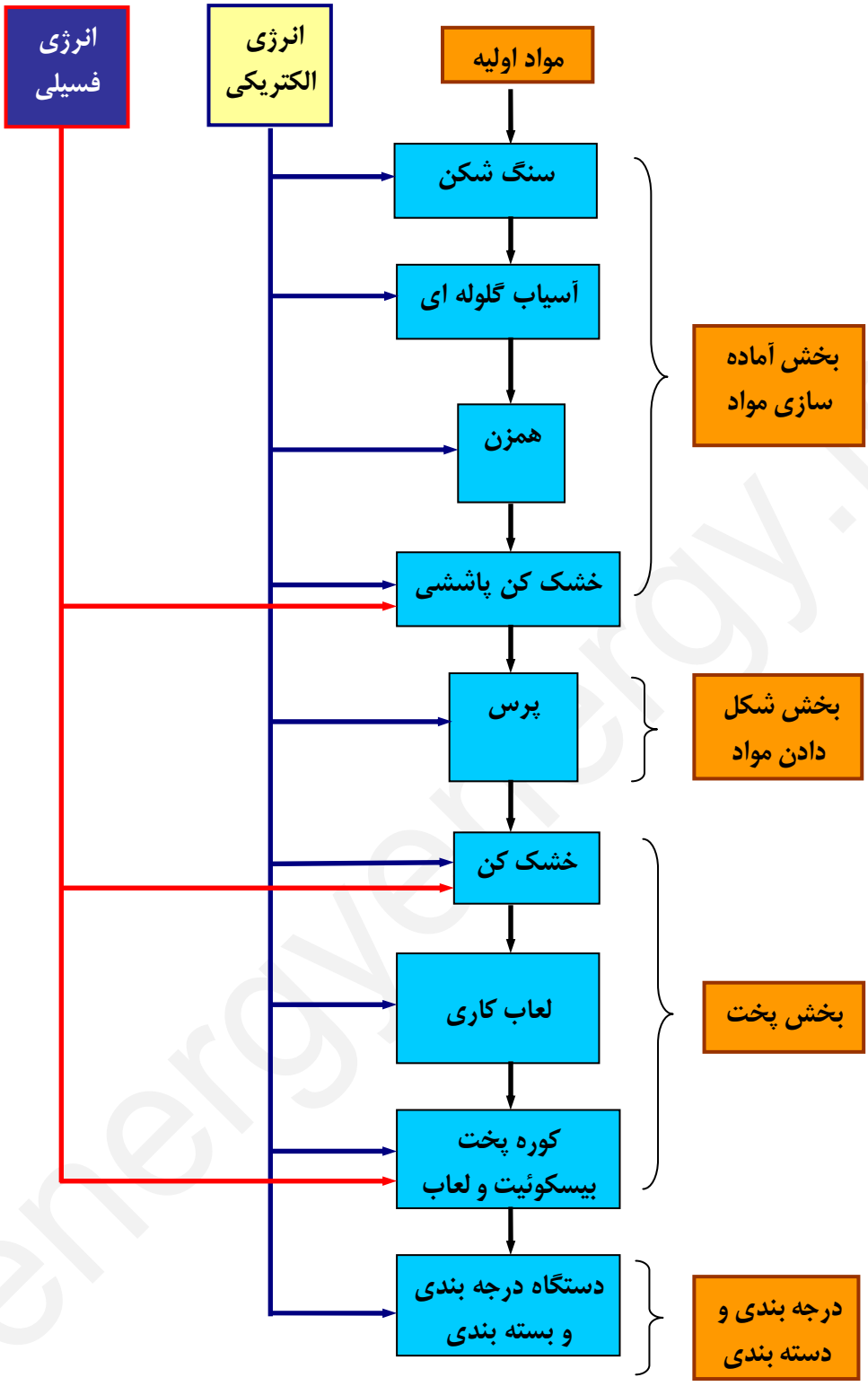


شکل۳-۱. مراحل فرایند تولید محصولات صنعت سرامیک

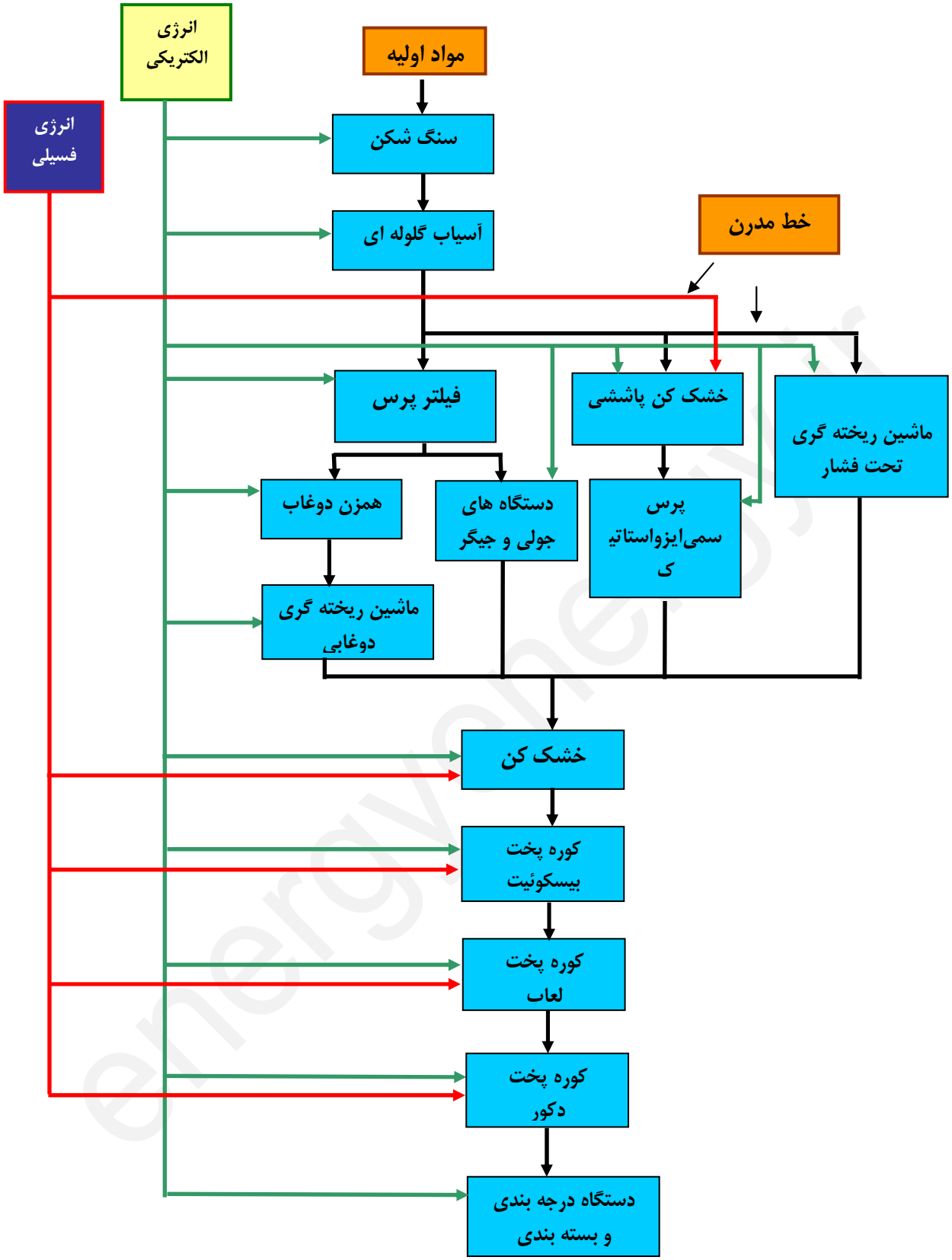
در صنعت کاشی، چینی و چینی بهداشتی، بخش پخت بیشترین مصرف انرژی فسیلی و بخش آماده سازی مواد بیشترین مصرف انرژی الکتریکی را به خود اختصاص می‌دهند. در فرآیند تولید با حذف فرآیندهای زائد و کاهش تلفات مواد و انرژی می‌توان بهره وری سیستم را افزایش داد، که موجب پایین آمدن هزینه های تولید، افزایش راندمان واحد تولیدی، و بالا رفتن کیفیت محصول می‌گردد. این امر با بهبود راندمان مصرف انرژی در فرآیندها سیستم ها و تجهیزات مصرف کننده انرژی و بازیافت انرژی در صنایع امکان پذیر می‌باشد.

در صنعت سرامیک کشور، به طور میانگین به ازاء تولید یک متر مربع کاشی کف حدود ۱۷۳/۶ مگاژول انرژی، شامل ۴/۰۳ کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی و ۱۳۰/۱ مگاژول انرژی فسیلی، و در تولید کاشی دیوار ۱۷۳/۳ مگاژول شامل ۳/۶۷ کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی و ۱۳۳/۶۲ مگاژول انرژی فسیلی مصرف می‌شود.

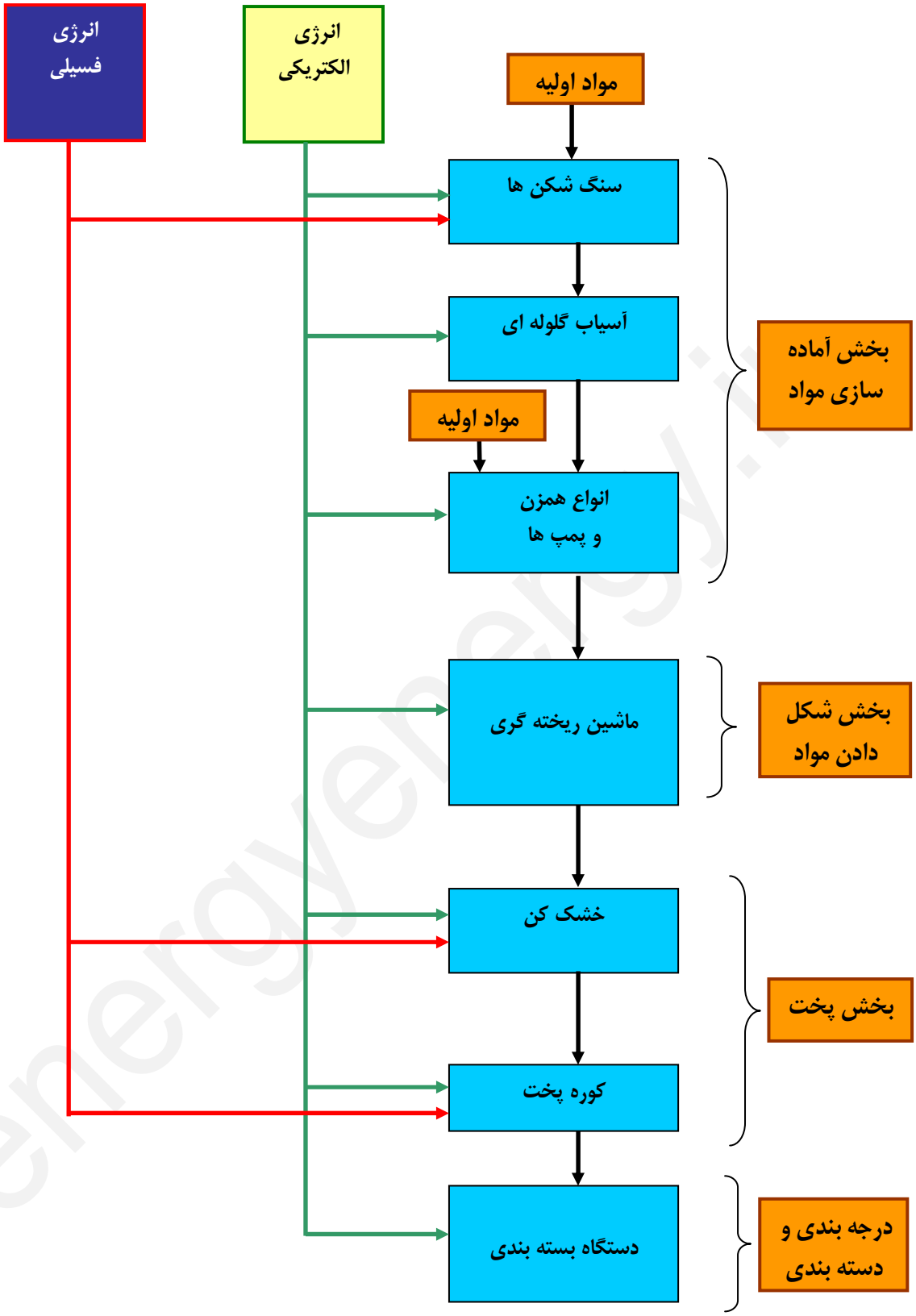
در صنایع چینی برای تولید یک تن چینی بهداشتی مقدار ۲۲۹۷۵ مگاژول انرژی شامل ۴۸۴ کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی و ۱۷۷۵۳ مگاژول انرژی فسیلی و برای تولید یک تن ظروف چینی مقدار ۶۱۵۸۴ مگاژول انرژی شامل ۹۵۱/۴۶ کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی و ۵۱۳۰۷/۸۵ مگاژول انرژی فسیلی به مصرف می‌رسد. معرفی حاملهای انرژی و تجهیزات انرژی در تولید کاشی، ظروف چینی و چینی بهداشتی در شکل۳-۲ تا شکل۳-۴ به ترتیب آمده است.



شکل۳-۲. معرفی حامل های انرژی در فرآیند تولید کاشی



شکل۳-۳. معرفی حامل های انرژی در فرآیند تولید ظروف چینی



شکل۳-۴. معرفی حامل های انرژی در فرآیند تولید چینی بهداشتی

مقادیر انرژی مورد مصرف در صنعت سرامیک به صورت نمونه در ۰ آمده است. ضمناً مقادیر شدتهای مصرف انرژی به ازای هر یک کیلو گرم از محصول در تولید ظروف چینین، چینی بهداشتی و کاشی دیوار و کف در جدول۳-۱ تا جدول۳-۳ در کوره به ترتیب آمده است.

انرژی مورد مصرف در صنعت سرامیک مربوط به کشور انگلیس در سال ۱۹۹۵

نوع محصول	کل انرژی مصرفی ($^{Tg}/_{year}$)
ظروف چینی	۵۸۸۷
کاشی	۲۹۹۷
چینی بهداشتی	۲۶۵۷
کل	۱۱۵۴۱

جدول۳-۱. شدت مصرف انرژی کوره های مراحل مختلف تولید ظروف چینی

مراحل فرآیند	نوع کوره	شدت مصرف انرژی ($^{kwh}/_{kg}$)	
		معمولی	تئوری
تولید بیسکویت	Brick intermittent Fiber intermittent Traditional tunnel wide tunnel	۸/۸ ۵/۹ ۵/۹ ۳/۵	۰/۴۶
لعاب زنی	Brick intermittent Fiber - lined intermittent Muffle Car tunnel Open - flame funnel	۷/۶ ۴/۷ ۸/۸ ۳/۲ ۱/۸	۰/۳۶
تزئین	Tradtional tunnel Metal mesh belt	۲/۱ ۰/۹	۰/۲۷

جدول۳-۲. شدت مصرف انرژی مربوط در کوره های تولید چینی بهداشتی طی فرآیند تک پخت

مراحل فرآیند	نوع کوره	شدت مصرف انرژی ($^{kwh}/_{kg}$)	
		معمولی	تئوری
پخت اول	Open - flame tunnel LTM tunnel Roller - hearth Shuttle Muffle	۲/۵۶ ۱/۴۰ ۱/۱۷ ۲/۹۲ ۳/۶۵	۰/۵۵ ۰/۵۴ ۰/۵۴ ۰/۵۴ ۰/۵۴
پخت مجدد	Open flame tunnel Shuttle	۱/۱۰ ۲/۰۷	۰/۴۰ ۰/۴۰

energyenergy.ir

جدول۳-۳. شدت مصرف انرژی در کوره های پخت کاشی

محصول	نوع کوره	شدت مصرف انرژی (kwh/kg)	
		معمولی	تئوری
کاشی دیوار	Biscuit	۱/۴۲	۰/۴۹
کاشی دیوار	Close tunnel	۱/۵۵	۰/۴۲
کاشی کف	Tunnel	۱/۶۱	۰/۵۲
کاشی کف	Roller- hearth	۰/۳۲	۰/۵۲

۳-۲. اقدامات کشورهای دیگر در خصوص بازیافت انرژی

در این بخش به خلاصه ای از اقدامات انجام شده در کشورهای انگلستان و آمریکا اشاره می گردد.

۳-۲-۱. اقدامات انجام گرفته در کشور انگلستان در خصوص بازیافت انرژی

میزان مصرف انرژی در صنعت سرامیک در انگلستان ۱۰۷۰۰ تن ژول می باشد که بیش از ۶۰ درصد این مقدار به کوره های پخت اختصاص دارد. هزینه این انرژی مصرفی بیش از ۳۰٪ از کل هزینه های تولید محصول بوده و افزایش راندمان انرژی کوره ها در این صنعت موجب کاهش هزینه های تولید محصول نهایی خواهد شد. از این رو در جهت افزایش محصول و کیفیت آن و همچنین افزایش راندمان انجام اقدامات زیر انجام گرفته است:

۱. تنظیم سیستم احتراق به صورت دقیق
۲. کنترل بهینه دمای احتراق، اتمسفر کوره و فشار احتراق
۳. تعمیرات و نگهداری مداوم

از سویی دیگر فرآیند پخت را به روشهای زیر می توان بهینه کرد که در ادامه به توضیح آن می پردازیم:

۱) کم کردن حداکثر میزان خوراک ورودی
۲) افزایش سرعت پخت و در نتیجه تولید محصول بیشتر
۳) افزایش بازیافت حرارتی

کم کردن حداکثر خوراک ورودی نیز از اساسی ترین راهکارهای اعمال شده در جهت بهبود محصول و افزایش راندمان حرارت از کوره شد.

افزایش سرعت پخت سبب افزایش کیفیت محصول می شود. در جهت بهینه سازی انرژی در این روش لازم است از کوره پخت دیگری جهت حرارت دادن محصولات ویژه که نیاز به حرارت دهی بالا دارند، استفاده کرد البته لازم به ذکر است که همزمان کوره اول با حداکثر سرعت پخت در حال عملیات می باشد.

این روش امکان بهینه سازی سیکل پخت، الگوی بارگیری ثابت برای کوره و کنترل ساده تر کوره را میسر می سازد. کوره های متناوب راندمانی برابر با نصف کوره مداوم دارند ولی تولید هنگام استفاده افزایش سرعت پخت توسط بهینه کردن کنترل کوره نیز امکان پذیر است. عایق کاری کافی از اساسی ترین روشهای بهینه سازی است. ضمناً هر

گاه پخت مجدد لازم باشد این عمل همواره باید جدا از محصولات تک پخت صورت گیـرد. افـزایش بازیافـت حرارتـی هنگامی در کوره مؤثر می باشد که کوره به صورت بهینه کار کند.

در کوره های مداوم باید حداکثر بازیافت حرارت از محصولات در ضمن خنک سازی در جهت پیش گـرم کـردن قبل از پخت اصلی صورت گیرد. حداقل حرارت جهت بازیافت هنگامی که کوره در ظرفیت طراحی خودکار مـی کنـد باید موجود باشد. همواره اولین قدم در بازیافت انرژی استفاده از حرارت اتلافی در همـان کـوره اسـت. سـپس از ایـن حرارت در فرآیند خشک کردن استفاده می شود. بهترین فرصت ها در امر بازیابی حرارتـی در کـوره طراحـی صـحیح کوره، تهیه هوا مورد نیاز مشعلهای احیا کننده[1] و بهبود دهنده[2] می باشند. از فاکتورهـای مهـم دیگـر جهـت بازیـابی حرارت در کوره کنترل صحیح آن بوده است. زیرا تنها در این صورت است که پروفیلهای دمایی و زمانی صـحیح بـوده و حرارت دهی یکنواخت صورت می گیرد. حرارت دهی صحیح و بهینه بستگی به موارد زیر دارد:

- موقعیت صحیح شیء در کوره
- بستگی داشتن سیستم کنترلی به حرارت خروجی از سیستم
- وضعیت و مکان نصب ترموکوپلها

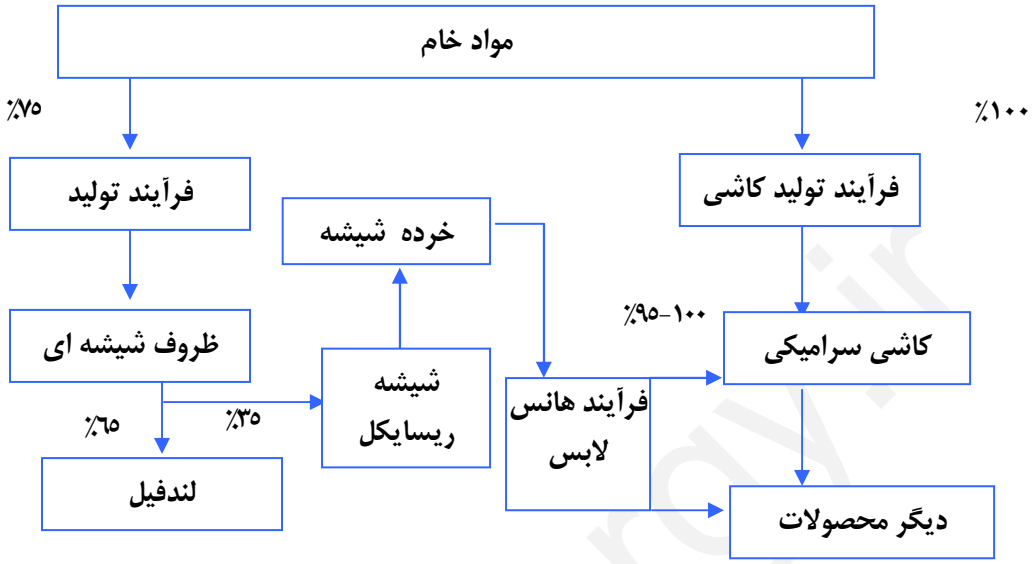
از دیگر روشهای بهینه سازی در مصرف انرژی استفاده از مواد اولیه با ظرفیت حرارتی پـایین یـا اصـطلاحاً مـواد LTM است. این گونه مواد و یا فیبرهای سرامیکی راندمان کوره را افزایش می دهند زیرا با کوتاه کردن زمان حرارت دهی موجب کاهش ۲۰٪ از میزان مصرف انرژی می گردند. زیرا این مواد برای گرم شدن به حرارت کمتری نیاز دارند و سریعتر خنک می شوند. استفاده از این مواد کاهش هزینه های کارگری را نیز به دنبال دارد. با استفاده از این مـواد اولیه، می توان از کوره های تونلی پیشرفته که همیشه در سرویس هستند استفاده کرد. همچنین استفاده از فیبرهای سـرامیکی سـبب افـزایش سـرعت فرآینـد حـرارت دهـی و کـاهش مصـرف انـرژی و بهبـود سـاختار بیسـکوئیت می شود.

۳-۲-۲. اقدامات انجام گرفته در کشور آمریکا در خصوص بازیافت انرژی

در کشور آمریکا علاوه بر روشهای بازیافت انرژی که در بخش (۳-۲-۲) ذکر گردید، روش دیگری بـرای کـاهش مصرف انرژی استفاده از شیشه های بازیافتی در فرآیند تولید سرامیک است که در ادامه به آن اشـاره مـی گـردد. بـه طور معمول محصولات سرامیکی با استفاده از مواد خام مرسوم نیـاز بـه حـرارت زیـادی در مرحلـه پخـت دارنـد. در تکنولوژی جدید که توسط هان لابس[3] پایه گذاری شده است با جایگزینی شیشه هـای بازیـافتی بـا مـواد خـام اولیـه هزینه های انرژی نسبت به روش قـدیمی بسـیار کـاهش یافتـه اسـت. در ایـن روش محصـولات تولیـدی نسـبت بـه آلودگیهای شیشه حساسیت کمتری دارند و می توان این دسته از محصولات را از شیشه های سبز و رنگی نیـز تولیـد کرد. با جایگزینی کامل شیشه با مواد اولیه دمای مرحله پخت به اندازه ۳۷ درصـد کـاهش مـی یابـد و بـه دنبـال آن

1- self - recuperative
2-regemenative
۳-Haun Labs

هزینه های انرژی کاهش یافته و سرعت باز گرداندن[1] افزایش به سزایی می یابد. از طرف دیگر در این روش مرحله خشک کن پاششی که برای تهیه پودر بکار می رفت حذف می گردد. شماتیک فرآیند تولید در شکل (۳-۱) آورده شده است.



شکل۳-۵. شماتیک فرایند تولید به کمک شیشه

از دیگر تکنولوژی های جدید استفاده از کوره های رولری هزاره سوم است. این کوره ها که توسط شرکت SITI طراحی شده است دارای یک نفوذ دهنده حرارتی است از جنس کاربید سیلیکن می باشد و بخشی از محصولات احتراق را در کانالی به گونه ای حرارت می دهد که دما در کوره از سمت دیواره به مرکز کم می شود. در این روش که اختلاف دمایی حداکثر برابر ۲ درجه بین مرکز و دیواره را تضمین می کند کیفیت محصول بالاتر رفته و به علت حرارت دهی مناسب میزان مصرف انرژی کاهش می یابد به طوریکه اتلاف حرارتی در این روش به گونه ای کنترل می شود که مصرف انرژی بین ۱۰ تا ۱۵ درصد کاهش می یابد.

۳-۳. ارزیابی اولیه در خصوص میزان سرمایه گذاری مورد نیاز و میزان صرفه جویی

همانگونه که در بخش (۲-۴) و (۳-۲) اشاره گردید روشهای بازیابی انرژی از طرق مختلف امکان پذیر است.

۳-۳-۱. راهکارهای بدون هزینه

معمولاً روشهای کنترل و تنظیم و فرآیندی از راهکارهای بدون هزینه هستند که عبارتند از :

۱) کنترل بهینه دمای احتراق
۲) کنترل بهینه فشار احتراق
۳) تنظیم سیستم احتراق

۱-Recycling

۴) موقعیت صحیح شی ء در کوره

۳-۳-۲. راهکارهای کم هزینه

این راهکارها که عبارتند از :

۱. بازیافت حرارت از گازهای خروجی کوره لعاب
۲. کاهش هوای اضافی در کوره پخت بیسکوئیت و لعاب
۳. بازیافت حرارت از گازهای خروجی کوره پخت بیسکوئیت و لعاب
۴. بازیافت حرارت از گازهای داغ خروجی از کوره پخت به منظور گرمایش سالن
۵. بازیافت حرارت از دودکش دیگ آبگرم تبخیر کننده به منظور پیش گرمایش آب ورودی
۶. وضعیت و مکان نصب ترموکوپلها

۳-۳-۳. راهکارهای پرهزینه

- تغییر تکنولوژی کوره ها
- استفاده از کوره رولری به جای تونلی

به طور کلی می توان گفت میزان صرفه جویی انرژی حاصل از راهکارهای دسته بندی بالا در هر کارخانه متفاوت بوده و بستگی به آن کارخانه خاص دارد ولی در یک نگاه کلی می توان گفت که انرژی صرفه جویی شده در اثر اعمال راهکارهای کم هزینه به طور متوسط برابر ۱۷ میلیون مگاژول معادل ۵۴ میلیون ریال و در اثر اعمال راهکارهای پر هزینه بسته به نوع تکنولوژی و راهکار ارائه شده بسیار متفاوت خواهد بود.

energyenergy.ir

فصل چهارم

ارائه راهکارهای کاهش وبازیافت انرژی درکوره ها ودسته بندی آنها درکارخانه کاشی

به طور کلی راهکارهای موجود در راستای صرفه جویی مصرف انرژی در کارخانه کاشی شامل دو بخش مدیریتی و فنی میشود. در این فصل ابتدا به بیان راهکارهای کلی مدیریتی کم هزینه و پر هزینه در صنعت سرامیک پرداخته و سپس فرصتهای کم هزینه و پرهزینهٔ تکنیکی و فنی به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۱. مدیریت انرژی و ضرورت تشکیل آن در کارخانه کاشی

یکی از مهمترین گامها در جهت بهینه سازی مصرف انرژی و کاهش مصرف سوخت، مدیریت صحیح در خصوص مسئله انرژی است. مدیریت انرژی ، فعالیتی در راستای کاهش هزینه های کلی به ازای واحد تولید محصول و کاهش هزینه های انرژی و کاهش تولید گازهای گلخانه ای به طور همزمان و تنظیم و بهینه نمودن سیستمهای انرژی در راستای کاهش هزینه های انرژی به ازای واحد تولید محصول از کارخانه می‌باشد. اهدافی که مدیریت انرژی دنبال می‌کند عبارتند از:

- استفاده بهینه منطقی از منابع طبیعی
- کاهش مصرف انرژی در نتیجه کاهش هزینه تأمین انرژی
- کاهش سهم هزینه انرژی در قیمت تمام شده محصولات
- مقابله با آلودگی زیست محیطی
- کمک به امنیت عرضه و تقاضای انرژی
- کمک به افزایش عمر ذخایر انرژی و توسعه اقتصادی و اجتماعی

۴-۲. راهکارهای مدیریتی صرفه جویی انرژی در کارخانه کاشی

این راهکارها در دو بخش راهکارهای کم هزینه و پر هزینه در زیر بطور جداگانه آمده است.

۴-۲-۱. راهکارهای کم هزینه مدیریتی

- برگزاری جلسات بحث و مشاوره با کارمندان و پرسنل واحدهای مختلف در مورد دیدگاهها ، پیشنهادها ، فعالیتها و برنامه های مختلف در زمینه صرفه جویی در مصرف انرژی
- تهیه فهرستی از کارکنان و کارمندان مورد نیاز برای استفاده از آنها در طرح های ممیزی انرژی و بهینه سازی مصرف آن و سازماندهی آنها
- ایجاد انگیزه در کارکنان جهت صرفه جویی در مصرف انرژی
- آموزش و آگاهی دادن به کارکنان

- ترسیم نقشه عملیاتی به منظور ارائه دورنمای فعالیتهای صرفه جویی انرژی
- تعیین فعالیت های صرفه جویی انرژی و بهینه سازی مصرف سوخت و اولویت بندی آنها
- سازمان دهی یک گروه کاری برای نظارت ، ارزیابی و تهیه گزارش از برنامه های صرفه جویی انرژی
- تهیه و تدوین چک لیست برای تجهیزات
- تدوین برنامه منظم تعمیرات و نگهداری دستگاه ها
- برنامه ریزی منظم جهت کاهش توقفات تولید
- ایجاد مکانیزم های تشویقی و تنبیهی فردی یا گروهی برای کارکنان
- آگاه نمودن مدیریت و پرسنل کارخانه از آخرین پیشرفتهای انجام شده در زمینه برنامه صرفه جویی انرژی و فعالیتهای صورت گرفته در داخل و خارج کشور
- کنترل مصارف انرژی واحد از طریق جمع آوری و ارزیابی داده ها و پارامترهای عملکرد در تجهیزات و واحدها
- همکاری با سازمانهای مختلف اجتماعی به منظور ترویج فرهنگ مدیریت انرژی

۴-۲-۲. راهکارهای پرهزینه مدیریتی

- توسعه و مدیریت برنامه های بهره وری انرژی در سطوح اپراتوری
- توسعه و بهبود تکنولوژی تجهیزات انرژی بر ، با دیدگاه صرفه جویی انرژی و ملاحظات زیست محیطی
- مشاوره و استفاده از توانائی شرکت های دولتی و خصوصی، دانشگاه ها و مراکز آموزش عالی در پروژه های ممیزی انرژی و راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی
- حمایت از سرمایه گذاری جهت بهینه کردن سیستم

۴-۳. راهکارهای فنی صرفه جویی انرژی در کارخانه کاشی

راهکارهای فنی صرفه جویی انرژی در کارخانه کاشی در قالب سه بخش زیر آمده است:

۴-۳-۱. راهکارهای بهینه سازی محیط فرآیندی

- نصب دربهای اتوماتیک و یا سیستم پرده هوا (Air Curtain System) به منظور جلوگیری از اتلاف حرارت و انرژی در ورودی سالن های تولید کاشی
- اجرای برنامه های مدیریت روشنایی در محوطه کوره ها
- بررسی عایق کاری درب ها و پنجره های سالن های تولید کاشی

۴-۳-۲. راهکارهای بهینه سازی تجهیزات

- استفاده از کنترل کننده های توان و سرعت در فن های کوره ها
- استفاده از الکتروموتورهای راندمان بالا در فن کوره ها

- افزایش راندمان فن
- بهینه سازی روشنایی سالن
- افزایش راندمان تولید کوره ها
- بازیافت حرارت اتلافی گازهای خروجی حاصل از احتراق (با استفاده از یک مبدل حرارتی) و هوای داغ خروجی از قسمت خنک کن کوره (بطور مستقیم) که کاربرد آن به صورت موارد ذیل می‌باشد:
  - تغذبه هوای مورد نیاز مشعل ها
  - خشک کردن بیسکویت های خروجی از پرس (قبل از ورود به کوره پخت)
  - خشک کردن کاشی لعاب کاری شده (قبل از ورود به کوره پخت لعاب)

گرمایش سالن (در این مورد فقط هوای داغ خروجی از قسمت خنک کن کوره پخت بیسکویت پس از عبور از یک فیلتر خشک قابل استفاده است در غیر این صورت باید از مبدل حرارتی و بطور غیر مستقیم از گازهای خروجی کوره ها استفاده نمود)

۴-۳-۳. راهکارهای فرآیندی

- افزایش راندمان تولید کوره ها
- عایق کاری مناسب کوره ها
- اجرای برنامه منظم تعمیر و نگهداری تأسیسات و تجهیزات
- درزبندی و پر کردن منافذ بین دیواره کوره و ریل و واگن در کوره های تونلی
- کنترل دمای گازهای خروجی از کوره
- تنظیم میزان هوای خنک کننده
- تنطیم نسبت هوا به سوخت در مشعل های کوره ها
- مدیریت کوره (نمودار دما، توزیع دما درکوره، فشار کوره، اتمسفر)
- تصحیح الگوی بارگیری کوره
- بهینه سازی فاصله بین واگن کوره تا دیواره کوره
- بهینه سازی جنس و سرعت واگن ها در کوره
- تبدیل کوره تونلی به کوره غلطکی
- راه اندازی سیستم اندازه گیری و مونیتورینگ

با توجه به نقش عمده کوره ها در مصرف انرژی در زیر راهکارهای کلی افزایش راندمان کوره ها به تفضیل آمده است.

۴-۴. راهکارهای افزایش راندمان کوره ها در کارخانه کاشی

با بررسی افتهای انرژی از کوره می‌توان روشهای کاهش مصرف انرژی مناسبی را پیشنهاد داد. در زیر محلهای

هدر رفت انرژی در یک کوره، پارامترهای موثر بر آنها و روش های کاهش مصرف انرژی کوره مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که نوع مشعل نیز از عوامل موثر بر مصرف انرژی کوره ها محسوب می‌شود که در انتهای فصل به آن پرداخته می‌شود.

۴-۴-۱. کاهش اتلاف حرارت از بدنه

یکی از عوامل هدر رفت انرژی از کوره، افت از بدنه کوره می‌باشد که به واسطه بالاتر بودن دمای بدنه نسبت به دمای محیط انجام می‌گیرد. حرارت به دو طریق از بدنه به محیط انتقال می‌یابد:

الف - تشعشعی

ب- جابجایی

انتقال حرارت تشعشعی به محیط به توان چهارم دمای بدنه و همچنین ضریب صدور سطح بستگی دارد. به همین منظور چنانچه بتوان دمای بدنه را کاهش داد، افت انرژی از بدنه به میزان قابل ملاحظه ای کاهش می‌یابد. از سوی دیگر انتقال حرارت جابه جایی به محیط به اختلاف دمای بدنه با محیط و ضریب جابجایی بستگی دارد. به همین منظور سرعت باد تأثیر به سزایی روی این بخش از انتقال حرارت دارد. لیکن کنترل افت بدنه از این طریق محدود است و فقط می‌توان دمای بدنه کوره را پایین نگاه داشت. به این منظور باید سطح داخلی کوره را با ماده عایق نسوز مناسب با ضخامت کافی پوشش داد و یا چنانچه در ساختمان کوره از عایق نسوز داخلی استفاده شده است با توجه به فضای موجود در داخل کوره می‌توان یک لایه عایق نسوز سرامیکی روی لایه نسوز قبلی قرار داد. همچنین، چنانچه قسمتهائی از عایق نسوز داخل کوره به دلایلی جدا شده و یا ترک خورده است، می‌بایست نسبت به مرمت آن اقدام شود تا از افزایش بیش از حد دمای بدنه جلوگیری شود.

لازم به ذکر است که درصد اتلاف حرارت از بدنه کوره های بزرگ با توجه به نرم های جهانی ۱ تا ۱/۵ درصد اشاره شده است.

۴-۴-۲. کاهش درصد هوای اضافی

گازهای حاصل از احتراق که عمده انرژی خود را در کوره از دست داده اند، از طریق دودکش دفع می‌شوند و چون دارای دمای بالاتری نسبت به محیط هستند به عنوان یکی از پتانسیل های بازیافت انرژی از کوره ها محسوب می‌شوند. از سوی دیگر درصد هوای اضافی از عوامل موثر بر هدر رفت انرژی از طریق دودکش کوره ها هستند که با توجه به نوع سوخت باید در مقدار بهینه تنظیم گردند. بنابراین جهت کاهش افت انرژی از دودکش، دو پارامتر باید مورد بررسی قرار گیرد.

۱- درصد هوای اضافی

۲- دمای گازهای خروجی

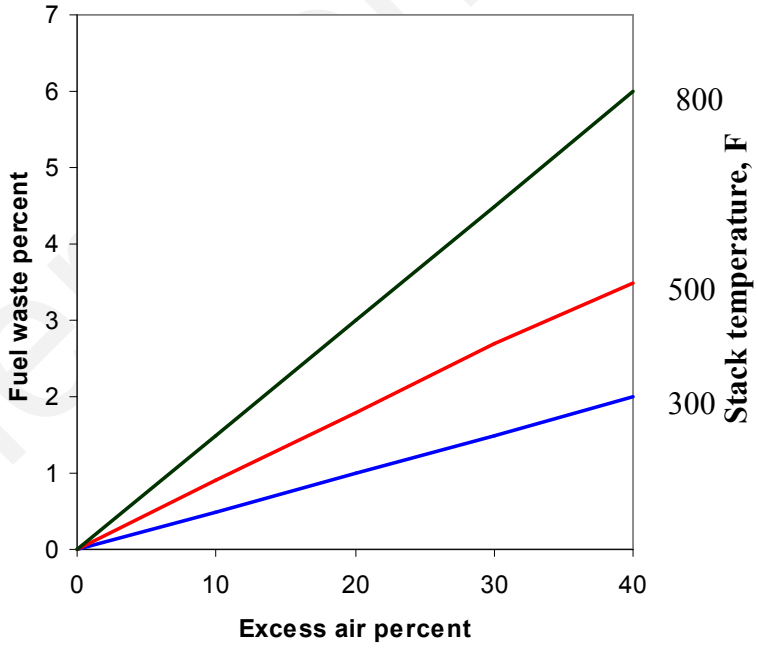
به دلیل وجود نیتروژن در هوا به نسبت ۴ برابر اکسیژن، امکان برخورد مناسب مولکولهای سوخت با مولکولهای اکسیژن موجود در هوا نسبت به استفاده از اکسیژن خالص کاهش می‌یابد. لذا برای داشتن احتراق حتی الامکان

کامل، معمولاً به مقداری هوای اضافی نیاز می‌باشد. از طرفی افزایش بیش از اندازه هوای اضافی باعث کاهش راندمان کوره می‌شود. همچنین در محدوده ای از دماها و هوای اضافی، افزایش هوای اضافی باعث افزایش برخورد مولکولهای نیتروژن با شعله شده و باعث آزاد شدن NO_x خواهد شد. لذا بایستی با تنظیم هوای اضافی از ازدیاد بیش ازحد حرارت شعله جلوگیری نمود. همچنین افزایش هوای اضافی باعث افزایش اکسیژن فضای داخل کوره خواهد شد که به دلیل دمای بالا باعث خوردگی و خرابی زودرس قسمت های داخلی کوره می‌شود. مقدار بهینه درصد هوای اضافی برای سوختهای گازی، مایع و جامد در جدول۴-۱ آمده است.

جدول۴-۱. مقادیر شاخص هوای اضافی مورد استفاده در کوره ها و بویلرها با سوختهای متفاوت

Fuel / Draft	Natural Draft	Forced Draft
Fuel gas	15-20%	10-15%
Light fuel oil	20-25%	15-20%
Heavy fuel oil	25-30%	20-25%

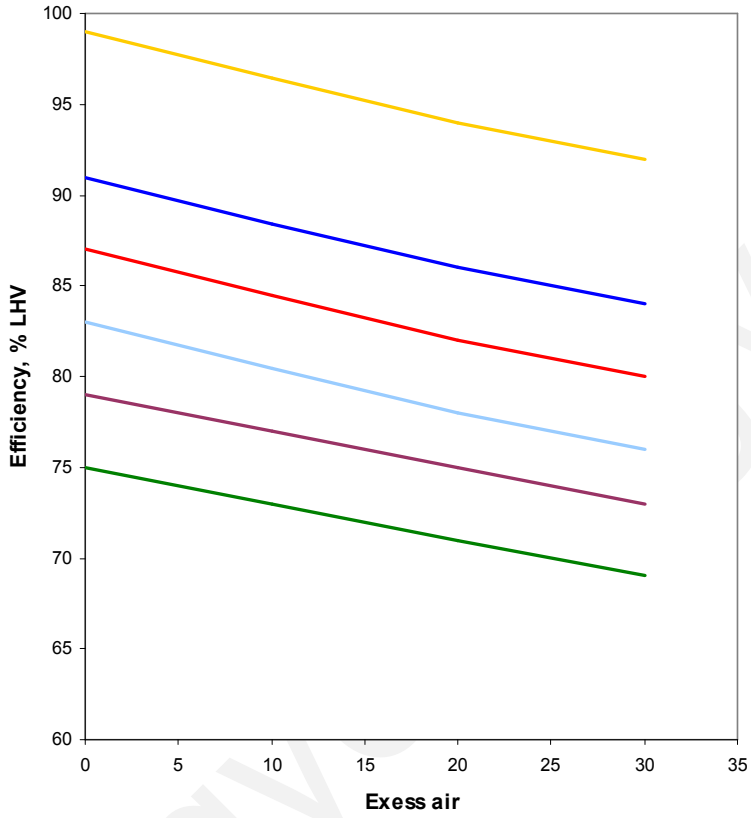
اثر هوای اضافی بر اتلاف سوخت و راندمان کوره در شکل۴-۱ و شکل۴-۲ نشان داده شده است. بر اساس شکل۴-۱ مشاهده می‌شود که افزایش هر ۱۰٪ هوای اضافی باعث ۱/۵ ٪ کاهش راندمان کوره می‌شود.



شکل۴-۱. بررسی اثرات هوای اضافی بر اتلاف سوخت کوره

کاهش هوای اضافی در مقایسه با روش هایی همچون تعویض مشعل ها و یا تبدیل درفت طبیعی کوره به سیستم درفت اجباری جهت کاهش مصرف سوخت راه حل جالب و کم هزینه ای است. همانگونه که در شکل۴-۲

دیده می‌شود کاهش هوای اضافی در مواقعی که کوره دارای راندمان پایینی است بسیار موثر است، لیکن چنانچه از راندمان بالایی برخوردار باشد این روش اثر قابل ملاحظه ای ندارد.



شکل۴-۲. تاثیر هوای اضافی بر راندمان

اگر هوای اضافی بیش از حد کم شود در اثر احتراق ناقص، ذرات جامد تشکیل شده و افزایش راندمان در اثر کاهش هوای اضافی را تحت شعاع قرار می‌دهد و راندمان احتراق را پایین می‌آورد. همچنین وجود ذرات معلق جامد باعث رسوب گیری سطح لوله ها شده و در دراز مدت باعث کاهش بیشتر راندمان می‌شود. علاوه بر این کاهش هوای اضافی، دمای شعله و در نتیجه دمای سطح لوله ها را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۴-۴-۳. کاهش درصد هوای اضافی از طریق تبدیل درفت طبیعی به درفت اجباری

مشعلهایی با درفت طبیعی نیاز به هوای اضافی زیادی دارند، در ضمن کنترل این گونه مشعلها مشکل تر است. زیرا شعله اینگونه مشعلها دارای طول بیشتری بوده و افت فشار هوای در دسترس در بخش هواکش مشعل محدود است به همین دلیل کنترل شعله مشکل تر است. از طرفی هوای احتراق با سرعت پایین القاء می‌شود، لذا اختلاط سوخت و هوا به خوبی انجام نمی‌شود. به همین دلیل هوای اضافی در حالت درفت طبیعی برای سوختهای مایع به

۳۰-۴۰ ٪ و برای سوختهای گازی به ۲۰-۲۵ ٪ می‌رسد. در حالت درفت اجباری انرژی فشار هوا، اختلاط درونی سوخت و هوا را بهبود بخشیده و درصد هوای اضافی را به حد ۱۰-۱۵٪ برای سوخت مایع و ۵-۱۰ ٪ برای سوخت گازی می‌رساند. مشعلهای با درفت اجباری دارای مزایای دیگری نیز هستند از جمله :

۱. احتراق کارآمدتر سوختهای سنگین
۲. کاهش پخش ذرات
۳. احتیاج به بخار اتمیزه کننده کمتر
۴. کنترل بهتر شکل و پایداری شعله
۵. عملکرد آرامتر
۶. امکان پیش گرمایش هوای ورودی (که خود پیش گرمایش هوای ورودی اثرات مفیدی بر راندمان کوره می‌گذارد).

البته در مجموع صرفه جویی انرژی از طریق تبدیل درفت طبیعی به اجباری به دلیل کاهش درصد هوای اضافی ناچیز است و توجیه اقتصادی ندارد ولی به دلایلی همچون افزایش ظرفیت و یا جلوگیری از پاشش سوخت روی سطوح و یا از نظر بازیافت انرژی جهت پیشگرم کردن هوای احتراق قابل توجیه است.

قابل ذکر است که استفاده از مشعل با درفت طبیعی به دلیل پاشش سوخت روی سطوح، طول دوره کاری و عمر لوله ها را کاهش می‌دهد. البته باید توجه داشت که استفاده از مشعلهای با درفت اجباری نیازمند کانال کشی و فضای کافی برای نصب فن می‌باشند. جدول۴-۲ نمونه ای از تأثیر تعویض سیستم احتراق یک کوره از درفت طبیعی به درفت اجباری را نشان می‌دهد.

جدول۴-۲. مشخصات نمونه ای از یک کوره قبل و بعد از تبدیل سیستم درفت طبیعی به اجباری

پارامتر	بعد	قبل
بار کوره (m kcal/hr)	10	10
راندمان حرارتی (٪)	84	79
هوای اضافی (٪)	10	40
دمای محصولات احتراق در دودکش (°C)	320	340
بخار مورد نیاز اتمیزه کردن (سوخت kg/kg)	0.15	0.5
ابعاد شعله ارتفاع * قطر (m)	2×0.6	4×1
صرفه جویی سوخت ton / year	603	-
تعداد مشعلها	8	8
حرارت هرمشعل (m kcal / hr)	1.5	1.6

energyenergy.ir

۴-۴-۴. انتخاب مشعل مناسب برای کوره

مشعل جزء اصلی ایجاد انرژی در داخل کوره یا بویلر می‌باشد، به همین منظور انتخاب آن از حساسیت خاصی برخوردار است. با انتخاب صحیح مشعل می‌توان ظرفیت کوره را ۵ تا ۱۰ درصد اسمی‌افزایش داد و همچنین راندمان را نیز می‌توان ۲ تا ۳ درصد بهبود بخشید. همچنین به دلایل زیست محیطی و به خصوص قوانین جدید در خصوص کنترل آلودگی محیط زیست حتی الامکان مشعل با تولید NO_x کم باید انتخاب شود که ممکن است هوای اضافی بیشتر و طول شعله بلند تری داشته باشد.

یک مشعل خوب علاوه بر داشتن احتراق پایدار باید دارای خواص زیر نیز باشد:

۱. توانایی کار با محدوده وسیعی از سوختها
۲. امکان اشتعال اولیه ایمن (شروع به کار ایمن)
۳. نگهداری آسان
۴. الگوی شعله خوب با کلیه سوختها و گستره کاری
۵. عملکرد با هوای اضافی پایین
۶. حداقل صدا و تولید NO_x کم

همچنین یک کوره یا بویلر به گونه ای طراحی می‌شود که ۱۲۰ ٪ ظرفیت حداکثر بتواند حرارت آزاد کند. مکش موجود در کوره تعیین کننده اندازه هواکشهای مشعل می‌باشد، در حالت درفت طبیعی، مکش باید به دقت از روی اندازه محفظه احتراق (Fire Box) و همچنین دمای گازهای خروجی تعیین شود، اگر مکش تعیین شده برای مشعل کمتر از مکش موجود در کوره باشد، در این صورت باید مشعل با اندازه بزرگتر در نظر گرفت، در غیر اینصورت، مشعل قادر به ایجاد حداکثر ظرفیت خود نمی‌باشد. چنانچه از پیشگرم کن هوای احتراق استفاده می‌شود دمای هوای احتراق ورودی به مشعل باید دقیقاً معلوم باشد تا بتوان افت فشار را تصحیح کرد. همچنین در حالت مکش طبیعی دریچه های تغذیه هوا باید از معرض باد محافظت شوند چرا که ممکن است درهنگام وزش باد، هوا از داخل کوره برگشت کند. برای مشعلهای با مکش اجباری نیز باید دمپرهای قابل تنظیم و یک فشار سنج در محفظه باد برای اطمینان از توزیع مناسب هوا در مشعلها تعبیه شود، توزیع یکنواخت هوا به مشعلها نیز با طراحی مناسب کانالهای هوا رسان امکان پذیر است. در انتخاب مشعل عوامل زیر را باید مد نظر داشت.

- **هوای اضافی مورد نیاز مشعل**

این پارامتر در قسمت مربوط به هوای اضافی برای کوره به تفصیل شرح داده شد. علاوه بر موارد مذکور به این نکته نیز باید توجه داشت که در شرایط غیر طراحی، مشعل بیش از حد طراحی هوای اضافی مصرف می‌کند.

- **ویژگیهای سوخت مورد استفاده مشعل**

طرح مشعل بستگی زیادی به خواص و نوع سوخت دارد، برای انتخاب نوع مشعل با سوخت مایع می‌بایست

خواص زیر را مد نظر داشت:

۱) فشار، ویسکوزیته، ارزش حرارتی پائین و چگالی سوخت

۲) دما و فشار سوخت در مشعل

۳) مقدار و نوع سیال اتمیزه کننده

۴) وزن ملکولی برای سوخت گازی

- **موقعیت مشعل**

موقعیت مشعل در کوره از اهمیت ویژه ای برخوردار است. برای سه نوع نصب مشعل باید به نکات زیر توجه داشت:

- برای کوره های با مشعل نصب شده در کناره ها (by side) سوخت مورد استفاده، سوخت گازی و یا سوختهای مایع از نوع سبک می‌باشد، این مشعلها دارای درفت اجباری هستند.
- برای کوره های با مشعل در کف، از سوخت مایع یا گاز یا ترکیبی از هر دو استفاده می‌شود و به دو صورت درفت اجباری و یا طبیعی هستند. گستره کاری سوختهای مایع برای این مشعلها وسیع است.
- در کوره های با مشعل از سقف، مشعل ها از نوع درفت اجباری هستند و قابلیت کار با سوخت مایع و گاز را دارند. در محل قرار گیری مشعل باید به این نکته توجه داشت که فاصله حداقل ۹۰۰ mm بین سطح خارجی لوله ها و سطح خارجی شعله حفظ شود. ارتفاع شعله باید در حدود ۵۰٪ ارتفاع محفظه کوره باشد (در حداکثر طراحی)
- شکل شعله در مشعل با درفت اجباری دارای ثبات بیشتری است. وقتی که هوای پیشگرم استفاده می‌شود، طول شعله حدوداً ۲- ۱/۵ متر به ازای هر یک $mkcal / hr$ می‌باشد.

- **سیال اتمیزه کننده سوخت**

در انتخاب مشعل باید سیال اتمیزهٔ در دسترس و فشار و دمای آن را مد نظر داشت. چنانچه از بخار به عنوان سیال اتمیزه کننده استفاده شود، ترجیحاً باید خشک و کمی‌سوپرهیت باشد. چنانچه از هوای فشرده به عنوان سیال اتمیز کننده استفاده شود، باید عاری از قطرات رطوبت باشد. از سیال اتمیز کننده باید به مقدار حداقل استفاده شود که اگر بخار باشد میزان مطلوب آن در حدود $\frac{Kg}{Kg\ \text{سوخت}}$ ۰/۳ - ۰/۲ و اگر هوا باشد در حدود $\frac{Kg}{Kg\ \text{سوخت}}$ ۰/۵ - ۰/۴ است.

- **میزان NO_X تولید شده**

NO_x در اثر وجود نیتروژن در هوا و همچنین وجود دمای بالا در مشعل ایجاد می‌شود، همانگونه که در بخش هوای اضافی اشاره شد. احتراق در مجاورت هوا منبع تولید NO_x است. پخش NO_x به عواملی نظیر احتراق نیتروژن

موجود در سوخت، دمای شعله، طرح مشعل و دمای هوای احتراق بستگی دارد. لیکن به دلیل احتراق در هوا همواره مقداری NO_x در گازهای احتراق خواهیم داشت. مقدار NO_x مربوط به مشعل با طرح استاندارد و مشعل با NO_xکم در جدول۴-۳ آمده است.

جدول۴-۳. میزان تولید NOX در مشعلهای استاندارد و مشعلهای Low NOX

Standard burners NO_X emission (ppm)		**Low NO_X burners NO_X emission (ppm)**	
Natural gas	90 to 100	Natural gas	55 to 60
Oil NO.2	150 to 180	Oil NO.2	90 to 120
Oil NO.6	230 to 260	Oil NO.6	140 to 170

۴-۴-۵. عایق کاری مناسب

عایق کاری حرارتی بر اساس ایجاد یک مانع حرارتی که نرخ انتقال حرارت را کاهش می‌دهد عمل می‌نماید. مهمترین علت در عایق کاری تأسیسات فرآیند صرفه جویی درهزینه است. منشأ صرفه جویی در هزینه به حداقل رساندن تلفات حرارتی می‌باشد دلایل دیگر برای عایق کاری عبارتست از :

- افزایش راندمان حرارتی
- حفاظت در برابر یخ زدگی
- تأمین حفاظت از لوله (حفاظت کارکنان ، حفاظت در برابر خوردگی ، عایق کردن لوله های داغ)
- کنترل دمای فرآیندها
- حفاظت در برابر حریق
- تأمین عایق صوتی

به طور کلی عایق کاری به دلایل صرفه جویی در هزینه و ملاحظات مربوط به فرآیند و ایمنی صورت می‌گیرد. بنابراین انتخاب یک عایق مناسب با در نظر گرفتن ضخامت بهینهٔ آن گام مهمی‌در صرفه جویی مصرف انرژی می‌باشد. به طور کلی عایق کاری در تأسیسات کوره ها، لوله ها، سطوح انحنا دار بزرگ، کانالها و دودکشهای گاز داغ از جمله نواحی ضروری جهت عایق کاری می‌باشد.

به طور کلی تمام سطوح داغ با دمای بالاتر از ۶۰ درجهٔ سانتی گراد و اکثر سطوح داغتر از ۵۰ درجهٔ سانتی گراد عایق کاری می‌شوند. حتی عایق کاری بسیاری از سطوح خنک تر از ۵۰ درجهٔ سانتی گراد نیز از نظر صرفه جویی در هزینه اتلاف انرژی توجیه پذیر است. این سطوح علاوه بر لوله ها، شامل شیرها و فلنج ها نیز می‌شود. شیرها و فلنجهای عایق کاری نشده می‌توانند تا ۲٪ گرمای اتلافی از یک سیستم توزیع را به خود اختصاص دهند. یک شیر

عایق بندی نشده اتلاف گرمایی معادل طول ۱ متر از لوله عایق نشده را دارد ویک فلنج عایق بندی نشده نصف این مقدار گرما تلف می‌کند. به طور مثال هرگاه دمای سطح لوله عایق نشده ۲۰۰ درجهٔ سانتی گراد و دمای محیط ۲۵ درجهٔ سانتی گراد باشد میزان اتلاف حرارتی از هر متر مربع از لوله عبور دهندهٔ سیال تقریباً برابر j/hr ۴۵۰ می‌باشد بنابراین میزان اتلاف حرارتی که برابر میزان اتلاف حرارتی از یک شیر عایق نشده با شرایط مشابه می‌باشد . میزان اتلاف حرارتی در یک فلنج با مشخصات یاد شده برابر j/hr ۲۲۵ می‌باشد .

عایقهایی که بر اساس میزان هوای پر شده در منافذ خودمانع از اتلاف حرارتی می‌شوند همواره لازم است خشک نگه داشته شوند زیرا عایقهای مرطوب ۱۵ تا ۲۰ برابر سریعتر از عایق خشک موجب اتلاف حرارتی می‌شوند. هر گاه رطوبت این منافذ یخ بزند میزان سرعت انتقال حرارت ۵۰ برابر خواهد شد . لازم به ذکر است که صرفه جویی انرژی در مقوله عایق کاری نیاز به آنالیز دقیق توسط متخصصان این امر دارد. در راستای انجام صحیح عایق کاری و بازبینی دقیق عایق بندی تأسیسات کارخانه داشتن یک چک لیست و برنامه بازرسی فنی حیاتی می‌باشد. در ادامه به یک نمونه از چک لیست و برنامه کاری مربوط به مقوله عایق کاری اشاره می‌گردد.

۴-۴-۶. راه اندازی سیستم اندازه گیری و مونیتورینگ

اندازه گیری اولین مرحله در رسیدن به کنترل و بهینه سازی می‌باشد. اگر قادر به اندازه گیری کمیتی نباشیم ، درک آن کمیت و متعاقباً کنترل آن امکان پذیر نخواهد بود. بنابراین بهینه سازی و بهبود وضعیت آن کمیت نیز ممکن نخواهد بود. ضمناً اندازه گیری زمانی معنای واقعی دارد که با معیارهای استاندارد مقایسه شود. اندازه گیری زمانی صحیح و معنی دار خواهد بود که با مونیتورینگ همراه باشد. بنابراین دستیابی به دستگاههای اندازه گیری جریانهای جرم و انرژی مزایای زیر را به دنبال دارد:

- ایجاد اطلاعات فرآیندی مانند دما، فشار
- تعیین عملکرد انرژی برای مقایسه و بهبود وضعیت موجود
- تعیین استانداردهای اجرائی و اهداف عملیاتی
- مدیریت روزانه و تصحیح عملکرد قابل قبول
- سهولت تصمیم گیری در زمینه بهینه سازی فرآیند
- برنامه ریزی آتی جهت مدیریت انرژی
- برقراری ارتباط بین کارکنان در زمینه عملکرد راندمان انرژی
- استفاده از اعداد به دست آمده جهت استفاده در برنامه کامپیوتری مدیریت انرژی

اندازه گیری میزان مصرف انرژی دستگاه ها موجب می‌گردد تا بتوان از دستگاه در حداکثر یا پیک راندمان حقیقی بهره برداری کرد. لازم به ذکر است که دانستن میزان دقت و نحوه بیان دقت اندازه گیری مهم می‌باشد زیرا در آن صورت می‌توان دستگاههای اندازه گیری را متناسب با نیازهای فرآیند تطبیق داد. مهمترین پارامترهای لازم در

این زمینه عبارتند از :

- جریان
- دما
- رطوبت
- ارزش حرارتی
- آنتالپی
- ولتاژ
- آمپراژ

۴-۴-۷. کنترل اتوماتیک

کنترل اتوماتیک با استفاده از اطلاعات بدست آمده از سیستم مانیتورینگ از تجهیزات فرآیندی، گرمایش و سرمایش فضا و سیستمها را به عهده دارد. سیستمهای کنترلی اتوماتیک از طریق کنترل بسیار دقیق دما، دبی جریانها، تنظیم روشنایی، سرعت موتور و جریان های گازی و سیالی می‌توانند هزینه مصرف انرژی را کاهش دهند. مزایای استفاده از سیستم کنترل اتوماتیک عبارتند از :

- تصحیح سریع تعمیرات نابجا
- تنظیم همزمان چندتابع
- کنترل بسیار هماهنگ و مناسب

۴-۵. دسته بندی راهکارها به راهکارهای بدون هزینه، کم هزینه و پر هزینه

دریک جمع بندی کلی راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی درکوره ها به سه دسته راهکارهای بدون هزینه، کم هزینه و پر هزینه تقسیم بندی می‌شود:

۴-۵-۱. راهکارهای بدون هزینه

- بهره برداری کوره ها در پایین ترین دمای ممکن
- برنامه ریزی صحیح تقاضا برای حداکثر کردن راندمان کوره
- چک کردن متناوب راندمان کوره
- مونیتورکردن و مقایسه کردن داده های مربوط به راندمان جهت تعین استاندارد
- تنظیم مداوم مشعل ها
- کالیبره کردن دستگاههای اندازه گیری و سیستمهای کنترلی احتراق
- حصول اطمینان از رعایت شدن ملاحظات ایمنی

energyenergy.ir

- داشتن برنامه منظم نگهداری
- داشتن برنامه منظم نگهداری و کالیبراسیون
- ثبت اطلاعات اندازه گیری و مونیتورینگ و تجزیه وتحلیل آنها

۴-۵-۲. راهکارهای کم هزینه

- نصب دستگاه مونیتور کننده راندمان
- مانیتورکردن مقدار هوای اضافی
- تنظیم درصد هوای اضافی
- تعمیر و نگهداری سیستم عایق کاری
- جایگزینی یا تعویض عایقهای نامناسب یا از بین رفته
- تعمیر سطوح خارجی صدمه دیده عایقها
- عایق کاری شیرها، فلنجها وظروف حرارتی
- عایق کاری لوله های بدون عایق
- اضافه کردن عایق تا رسیدن به ضخامت اقتصادی توصیه شده
- تهیه دستگاه های جدید اندازه گیری و مانیتورینگ با دقت بهینه
- توسعه و بسط طراحی مناسب سیستمهای دستگاه های اندازه گیر
- اتصال لوله های کم کننده مقاومت هوا برای فن های هوای ورودی یا خروجی برای کاهش تلفات.
- بهینه سازی یا کاهش سرعت فن جهت بهینه کردن سیستم گردش هوا به نحو مطلوب که با تنظیم دمپرها به صورت باز بودن حداکثر آنها امکان پذیر است.

۴-۵-۳. راهکارهای پر هزینه

- نصب گرم کن هوای احتراق Preaheater
- نصب بویلر بازیافتی
- پیشگرمایش ویا خشک کردن مواد اولیه با استفاده از حرارت بازیافتی
- گرمایش سالن تولید با استفاده از حرارت بازیافتی
- جایگزینی سیستم کنترل نیوماتیک با سیستهای کنترلی دیجیتال
- تعویض تجهیزات قدیمی‌با تجهیزاتی با راندمان بالاتر
- به روزرسانی و توسعه سیستم های اندازه گیری و مونیتورینگ و سیستم ابزار دقیق و همخوان کردن و استفاده ا ز آن در یک سیستم کامپیوتری مدیریت انرژی
- اضافه کردن موتورهای سرعت متغیر برای افزایش انعطاف پذیری و کارایی فن ها در خط با تغییر بار

فصل پنجم
ارائه راهکارهای بازیافت حرارت و بررسی هزینه لازم برای به کارگیری آنها بر اساس ظرفیت کارخانه کاشی

۵-۱. ارائه طرحهای بازیابی حرارتی

بازیابی حرارت، استفاده مجدد از حرارت و گرمای موجود در جهت صرفه جویی در مصرف انرژی ، کاهش هزینه های انرژی و بهبود بخش سودآوری عملیاتی می‌باشد. برای انتخاب سیستم بازیافت حرارت مناسب، قدم اول شناسایی تلفات حرارتی در فرآیند و برآورد پتانسیل صرفه جویی انرژی است. برای انجام این کار، همواره باید دو عامل مورد بررسی قرار گیرند. این دو عامل عبارتند از : دما و نرخ جریانهای خروجی.

اصول کلی عملکرد اغلب سیستم های بازیافت حرارت، انتقال حرارت از جریان خروجی با دمای بالا به یک جریان ورودی با دمای پایین تر است. بدین ترتیب بخش عمده ای از حرارت تلف شده به یک جریان دیگر منتقل می‌شود.

البته باید توجه داشت، استفاده از سیستم های بازیافت حرارت زمانی توجیه دارد که بتوان حرارت تلف شده را در جایی دیگر و به شکلی مفید، مورد استفاده قرار داد. از جمله کاربردهایی که برای سیستم های بازیافت حرارت وجود دارد، می‌توان به این موارد اشاره کرد :

- ✓ گرمایش فضاهای بسته
- ✓ تولید آب گرم
- ✓ گرمایش فرآیند
- ✓ تولید بخار
- ✓ پیشگرم کردن هوای احتراق
- ✓ سرمایش فرآیند (با استفاده از سیستم های جذبی)

برای بازیافت حرارت، سیستم های متنوعی با کاربردهای مختلف وجود دارند. انتخاب سیستم مناسب در هر فرآیند، با در نظر گرفتن عوامل متعددی از جمله دما و فشار ماکزیمم سیستم، محدودیت در نوع و ویژگی های سیال، محدودیت در اندازه، راندمان و هزینه سرمایه گذاری ، صورت می‌گیرد.

برخی از سیستم های بازیافت حرارت متداول عبارتند از :

- بویلرهای بازیاب حرارت
- لوله های حرارتی
- رکوپراتورها

energyenergy.ir

- اکونومایزرها
- بازیافت متناوب حرارت

در تکنولوژیهای مرسوم بازیافت حرارت، برای استفاده انرژی حرارتی موجود از مبدلهای حرارتی استفاده می‌شود. انتخاب روش بازیابی حرارتی بسیار مهم می‌باشد و مستلزم بررسی های دقیق است. پارامترهای فراوانی از جمله موارد زیر در انتخاب صحیح نقش دارند.:

- مقایسه میزان حرارت مورد نیاز با میزان حرارت تولیدی
- بررسی سهولت دستیابی به منبع حرارت اتلافی
- بررسی فاصله محل تولید و مصرف
- بررسی گرادیان حرارتی و میزان حرارت مورد نیاز حاصل از بازیابی حرارتی
- انجام تحلیلهای اقتصادی در میزان بازیابی حرارتی

روشهای پیشنهادی جهت بازیابی حرارت از دودکشهای کوره های پخت بیسکوئیت و لعاب در کارخانه کاشی به شرح زیر است:

۵-۱-۱. پیش گرمایش هوای ورودی

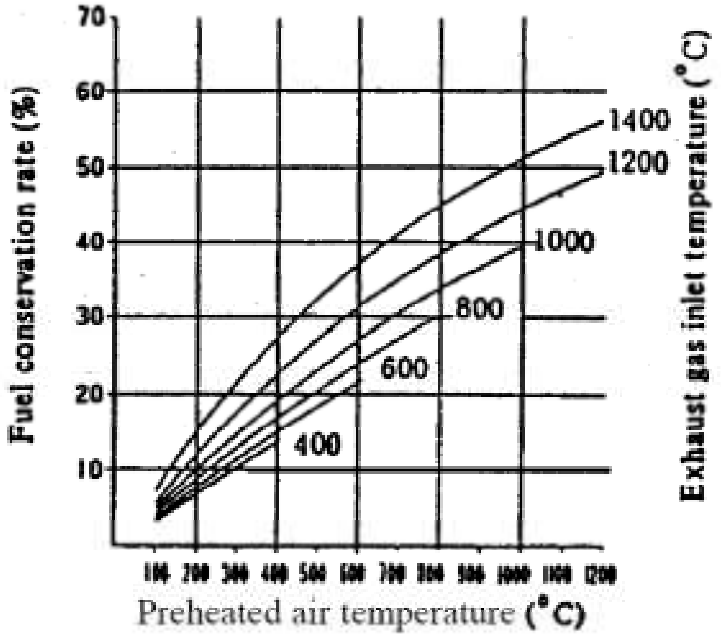
میزان تلفات حرارتی کوره ها از گازهای خروجی دودکش عموماً مقدار قابل توجهی بوده که برای کاهش آن و بازیابی حرارت ازگازهای خروجی از مبدلهای حرارتی استفاده می‌شود. این مبدلها می‌تواند مستقیما در داخل دودکش بویلر قرار داده شوند و از انرژی حرارتی گازهای حاصل از احتراق برای گرم کردن هوای اضافی ورودی احتراق استفاده می‌شود. شکل۵-۱ میزان انرژی بازیابی شده و صرفه‌جویی در مصرف سالیانه سوخت را با استفاده از مبدل حرارتی پیشگرم کننده[۱] یا رکوپراتور[۲] نشان می‌دهد.

---

[۱] . Preheater

[۲] . Recuperator

energyenergy.ir



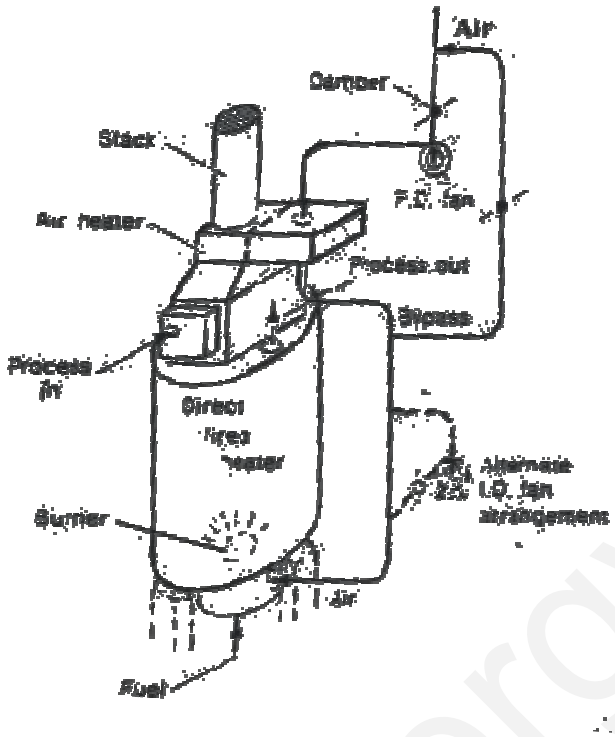
شکل۵-۱. درصد صرفه‌جویی در مصرف سوخت در اثر پیشگرم کردن هوای احتراق

اخیراً در دنیا، کاربرد سیستم های پیش گرمایش هوا برای کوره ها به سرعت رو به افزایش است. مبدلهای حرارتی برای انتقال دادن حرارت به هوای احتراق به دو دسته مستقیم به نامهای مستعار رکوپراتور و یا غیر مستقیم با نام مستعار ری جنراتور تقسیم می‌شوند.

- ری جنراتور

مبدلهای نوع ری جنراتور به این صورت هستند که ابتدا گازهای داغ احتراق از یک بستر فشرده ذخیره حرارت عبور کرده و سبب داغ شدن این بستر می‌شوند، سپس کلید کنترل وضعیت مسیر جریان را عوض کرده و هوای احتراق از روی بستر عبور داده می‌شود که حرارت موجود در بستر را جذب کرده و گرم می‌شود. نمونه ای از این نوع سیستم بازیافت انرژی در شکل۵-۲ نشان داده شده است.

energyenergy.ir



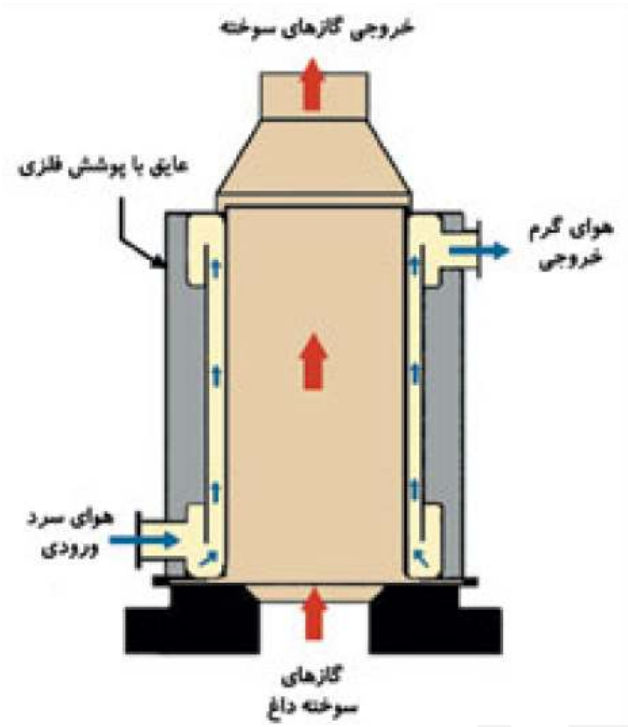
شکل۵-۲. نمونه ای از سیستم پیشگرم کن هوای احتراق از نوع ری جنراتور

گرچه راندمان این گونه مبدلها در حد بالایی است، لیکن کاربرد آنها به دو دلیل محدود است:

۱. به دلیل فشردگی بستر ذخیره حرارت، افت فشار در اینگونه مبدلها بسیار زیاد است و نیازمند نصب یک فن قوی بر روی سیستم می‌باشد.
۲. به دلیل اینکه هوای احتراق از روی بستر عبور داده می‌شود، در مراحل انتهایی جذب حرارت، امکان اینکه دما از نقطه شبنم اسید سولفوریک پایین تر بیاید وجود دارد، لذا باید مراقب خوردگی این قسمت بود و مواد جاذب حرارت را از نوع مواد مقاوم در مقابل حرارت و خوردگی انتخاب کرد.

- رکوپراتور

رکوپراتورها، مبدل های حرارتی هستند که حرارت گازهای داغ حاصل از احتراق را به جریان هوای سرد منتقل می‌کنند. هوایی که توسط رکوپراتور گرم می‌شود معمولا به عنوان هوای احتراق یا برای گرمایش محیط های بسته، استفاده می‌شود. رکوپراتورها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند. رکوپراتورهای تشعشعی و رکوپراتورهای جابجایی رکوپراتورهای تشعشعی در دماهای بالا کاربرد دارند که معمولا از دو استوانه هم مرکز ساخته می‌شوند که در آن، گازهای سوخته در استوانه داخلی و هوای سرد در استوانه بیرونی جریان می‌یابند. جداره خارجی نیز عایقکاری می‌شود. بدین ترتیب انرژی حرارتی گازهای سوخته از طریق دیواره استوانه داخلی به هوای سرد انتقال یافته و باعث افزایش دمای آن می‌شود راندمان این رکوپراتورها در حدود ۳۰٪ می‌باشد. در شکل۵-۳ نمونه ای از رکوپراتور تشعشعی بصورت شماتیک نشان داده شده است.

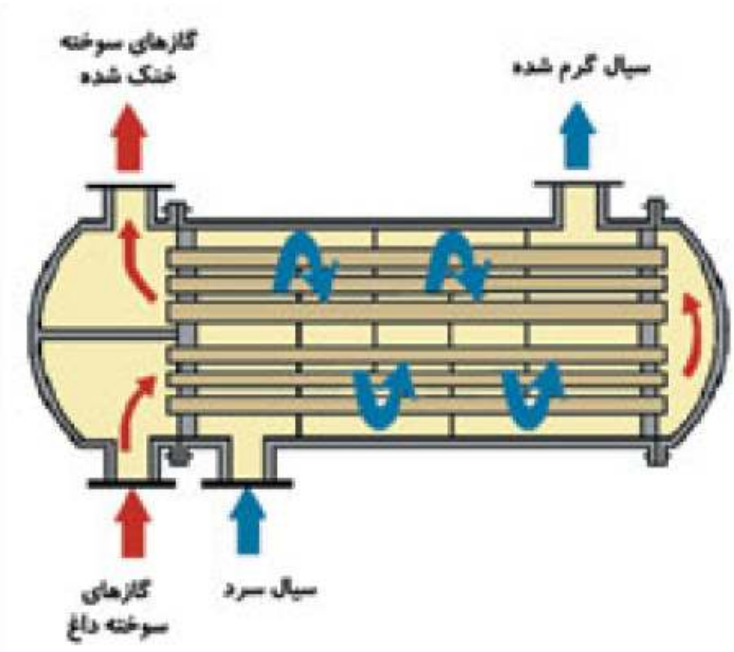


شکل۵-۳. شماتیک نمونه ای از رکوپراتورهای تشعشعی

در رکوپراتورهای جابجایی گازهای سوخته و داغ از میان تعداد زیادی لوله با قطر کوچک که درون یک پوسته بزرگ قرار گرفته اند می‌گذرد. هوای سرد نیز درون پوسته و بر روی لوله ها جریان می‌یابد. بدین ترتیب مقدار بیشتری از حرارت گازهای سوخته بازیابی می‌شود. راندمان این رکوپراتورها بین ۵۰ تا ۶۰ درصد است.

رکوپراتورهای جابجایی نسبت به رکوپراتورهای تشعشعی، قیمت بالاتری دارند لیکن راندمان آنها بالاتر و اندازه آنها نیز کوچکتر است البته نوعی از رکوپراتورهای پیشرفته نیز وجود دارد که در آن مکانیزم های تشعشعی و جابجایی ترکیب شده اند. راندمان این رکوپراتورها به ۰/۷۰ می‌رسد. در شکل۵-۴ نمونه ای از رکوپراتورجابجایی بصورت شماتیک نشان داده شده است.

energyenergy.ir

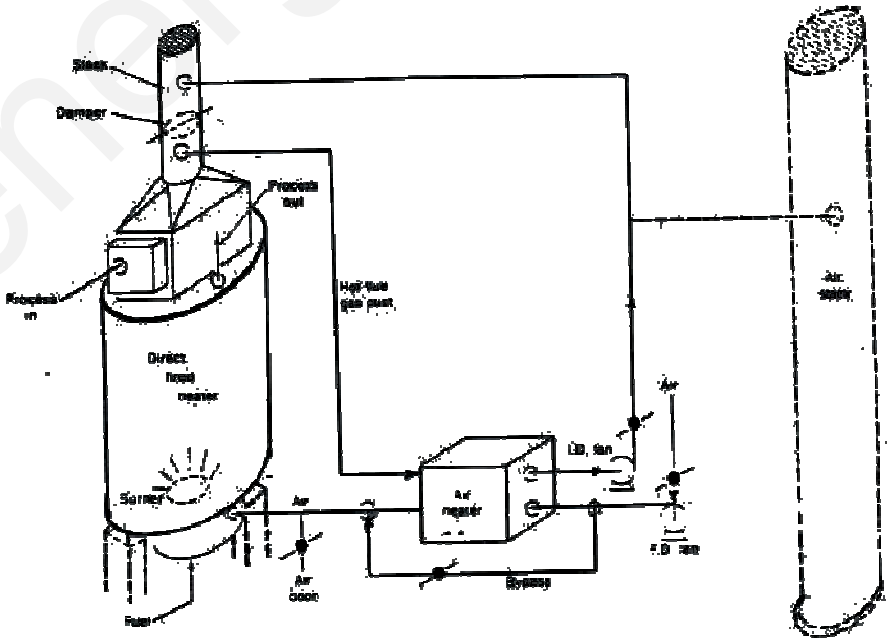


شکل۵-۴. شماتیک نمونه ای از رکوپراتورهای جابجایی

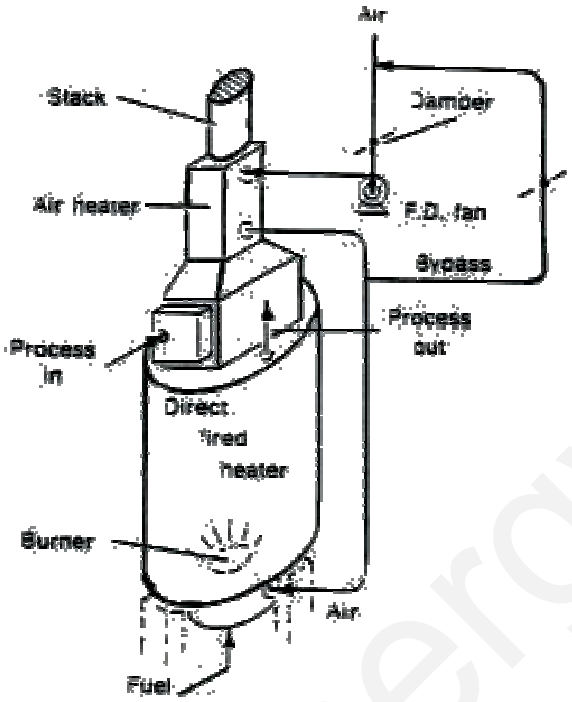
سیستم پیش گرمایش را به سه صورت درفت اجباری F.D ، مکش القائی I.D و یا ترکیبی از هر دو می‌توان بـه کار برد که نمونه ای از آن در شکل۵-۵ و شکل۵-۶ نشان داده شده است.

توسط سیستم نشان داده شده در شکل۵-۵ می‌تـوان بـه رانـدمان بـالایی دسـت پیـدا کـرد و کـاربرد آن بـرای واحدهایی تا ظرفیت ۱۰ mBTU/hr اقتصادی است.

شکل۵-۶ استفاده از رکوپراتور با یک فن جهت پیشگرم کردن هوای احتراق را نشان می‌دهد که به دلیل بزرگـی مبدل حرارتی نیازمند فضائی مناسب برای نصب می‌باشد.

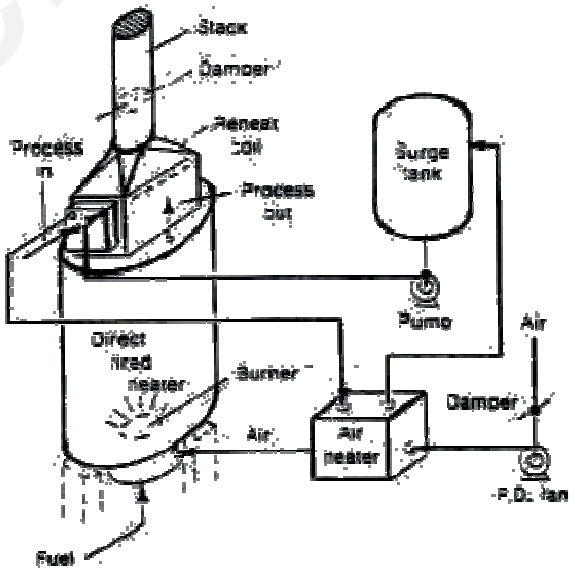


شکل۵-۵. سیستم پیش گرمایش هوای احتراق با دو فن



شکل۵-۶. سیستم پیش گرمایش هوای احتراق با یک فن

نوع دیگر سیستم های پیشگرم کن هوای احتراق استفاده از گردش یک سیال واسطه مانند روغن است. بدین صورت که ابتدا روغن در بخش فوقانی کوره در یک مبدل حرارتی گرم شده سپس حرارت جذب کرده را به هوای احتراق می‌دهد. در این سیستم بدلیل استفاده از دو مبدل محدودیت راندمان وجود دارد. این سیستم در شکل۵-۷ نشان داده شده است.



شکل۵-۷. استفاده از گردش سیال واسطه مانند روغن برای پیش گرمایش هوای احتراق

در استفاده از سیستم های پیش گرمایش هوا موارد زیر را باید در نظر گرفت:

۱- برای استفاده از این سیستم ها باید به توان مورد نیاز فن نیز توجه داشت و عوامل اقتصادی را با در نظر گرفتن اثرات دراز مدت توان مورد نیاز فن بررسی کرد.

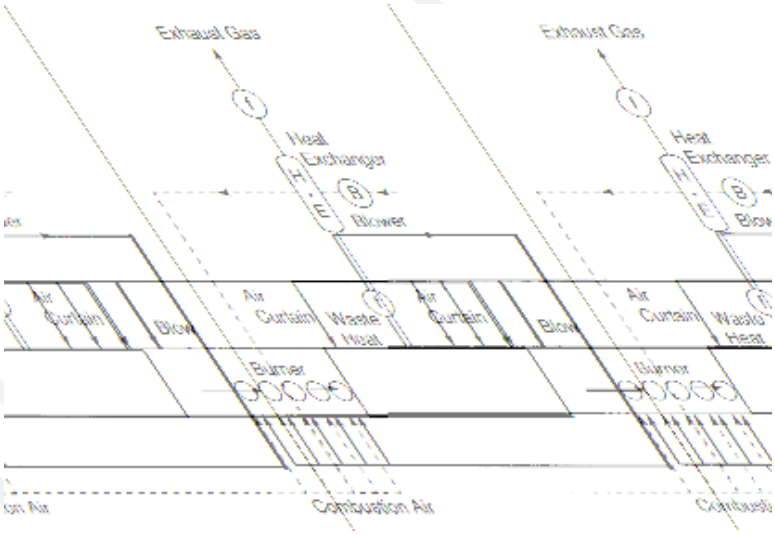
۲- حتی الامکان سعی شود فن در قسمت گرم نصب شود چرا که در قسمت سرد به دلیل وجود نقطه شبنم اسیدی امکان خوردگی قطعات فن زیاد است.

۳- این سیستم نیازمند در نظر گرفتن فضای اضافی برای کانال کشی و انتقال هوای داغ به مشعلها و همچنین مبدل حرارتی می‌باشد.

۴- باید در نظر داشت که کاربرد این سیستم نیازمند تعویض مشعلهای درفت طبیعی به درفت اجباری است.

۵- به دلیل اینکه هوای احتراق گرم می‌شود دمای شعله بالا رفته و طول شعله کاهش می‌یابد لیکن برای کاربرد این سیستم باید مراقب قسمتهای در معرض حرارت بوده و آنها را دقیقتر مورد بررسی قرار داد.

در ادامه اثر سیستم پیش گرمایش هوای احتراق بر روی کوره های کارخانه کاشی مورد بررسی قرار می‌گیرد. شماتیک راهکار بازیافت حرارت از گازهای خروجی اگزاست کوره پخت کاشی جهت پیشگرم هوای احتراق در شکل۵-۸ آمده است.



شکل۵-۸. بازیافت حرارت از گازهای خروجی اگزاست کوره پخت کاشی جهت پیشگرم هوای احتراق

دمای نقطه شبنم گازهای احتراق تعیین کننده حداقل دمای گازهای احتراق خروجی از دودکش است. دمای نقطه شبنم دود خروجی از کوره های تونلی، با توجه به ماکزیمم مقدار درصد وزنی گوگرد در گازهای خروجی از کوره های تونلی (حدود ۰/۰۱۸) و با توجه به شکل۵-۹، ۱۳۰ درجه سانتیگراد به دست می‌آید. بنابراین می‌توان حد نهایی سرد شدن گازهای احتراق را با توجه به دمای فیلم سیال در خروجی مبدل به دست آورد:

$$\frac{0+T_{f.}}{2}=130^{\bullet}c$$

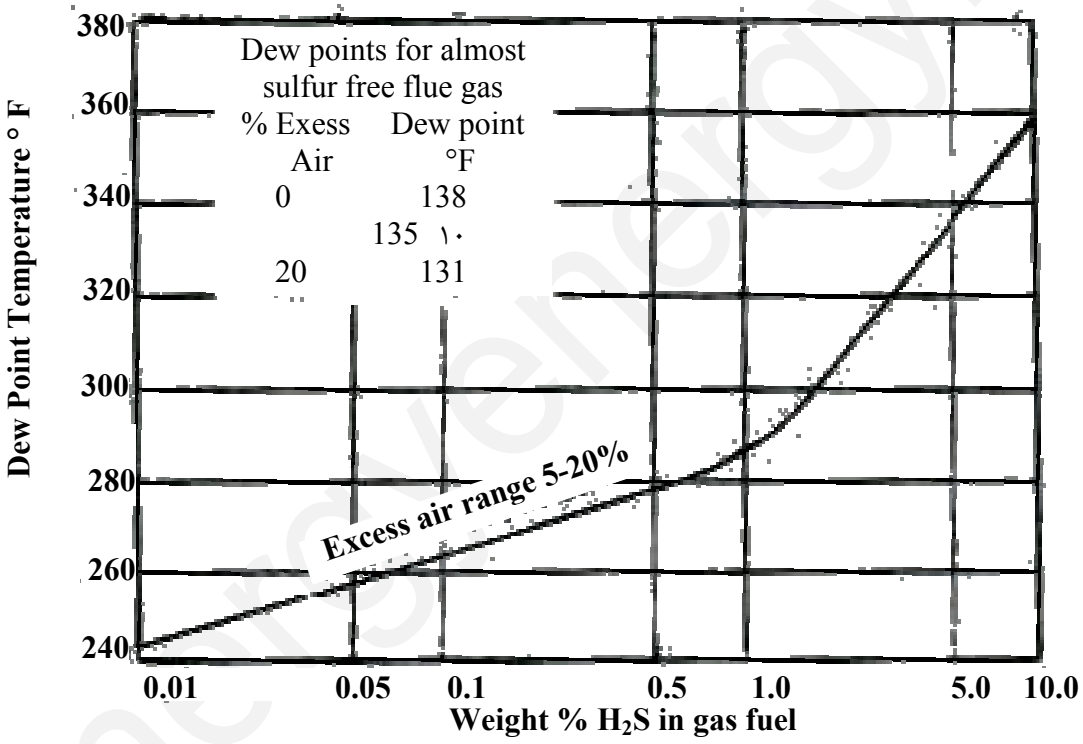
دمای فیلم گازهای احتراق در خروجی مبدل:

$$\rightarrow T_{fo}=260^{\bullet}c$$

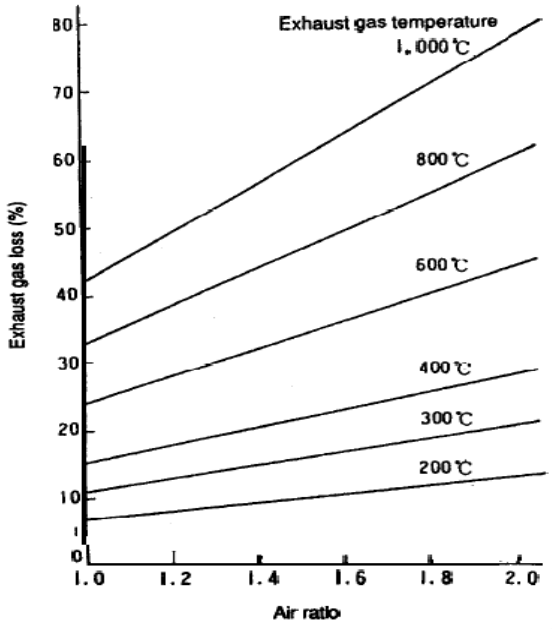
حد نهایی سرد شدن گازهای احتراق با سوخت گاز:

لازم به ذکر است که در رابطه دمای فیلم، دمای هوای احتراق ورودی به مبدل در فصل زمستان صفر درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است. با توجه به این که به طور متوسط با کاهش هر ۲۰ °c گازهای احتراق، راندمان کوره ۱ ٪ افزایش می‌یابد (شکل۵-۱۰)، برای نمونه درصد بازیافت انرژی برای اگزاست احتراق کوره تونلی پخت بیسکوئیت به صورت زیر محاسبه می‌شود :

$$\text{درصد بازیافت انرژی}=\frac{607-260}{20}=\%17$$



شکل۵-۹. دمای نقطه شبنم اسید سولفوریک حاصل از احتراق سوخت گاز



شکل۵-۱۰. نمودار تغییرات راندمان کوره (کاهش تلفات) با دمای دود خروجی

۵-۱-۲. تولید آب داغ برای مصرف پرسنل کارخانه

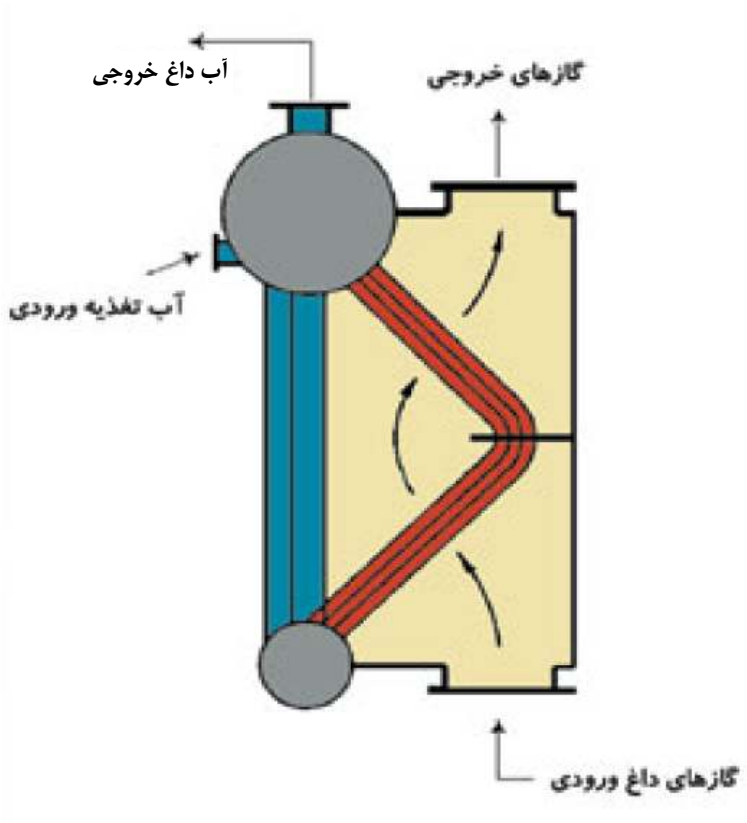
اتلاف انرژی از طریق گازهای وجی دودکش زیاد می‌باشند لذا می‌توان از این انرژی جهت تأمین آب گرم مورد نیاز مصارف بهداشتی پرسنل (نصب بویلر بازیافتی[۱]) استفاده کرد.

در بویلرهای بازیافت حرارت، گازهای داغ حاصل از احتراق پیش از اینکه وارد دودکش شوند، از میان تعداد زیادی لوله های موازی که درون آنها آب جریان دارد، می‌گذرند. در نتیجه این تبادل حرارت، آب گرم شده و درون مخزن جمع آوری می‌شود. پس از آن در فرآیند توزیع می‌گردد. این بویلرها در اندازه های متفاوت و با ظرفیت دریافت ۰/۵ تا ۵۰۰ متر مکعب در ثانیه محصولات احتراق ساخته می‌شوند فشار و نرخ تولید آب داغ یا بخار در این بویلرها، به درجه حرارت و نرخ جریان گازهای داغ خروجی و نیز راندمان بویلر بستگی دارد. اگر مقدار گازهای خروجی برای تولید بخار مورد نیاز کافی نباشد، برای این تجهیزات از یک مشعل کمکی بهره می‌گیرند.

این بویلرها در مقایسه با بویلرهای متداول، نه تنها هزینه مصرف سوخت ندارند، بلکه هزینه ساخت آنها نیز کمتر است. تنها عیب این بویلرها، حجم نسبتاً بزرگ است که در مورد بازسازی و اصلاح واحدهای صنعتی، ایجاد مشکل می‌نماید. شکل۵-۱۱ یک نمونه از بویلرهای بازیاب حرارت را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

---

[۱] . Waste Heat Boiler

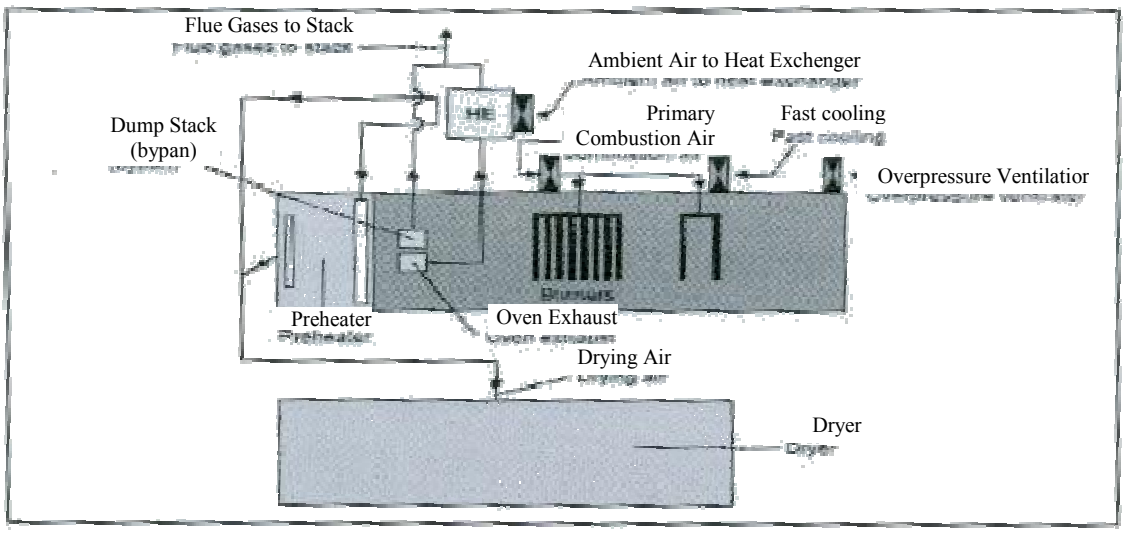


شکل۵-۱۱. شماتیک یک نمونه از بویلرهای بازیافت حرارت

۵-۱-۳. پیش گرمایش مواد خام

یکی از روشهای مؤثر درکاهش مصرف انرژی، استفاده از سیستم پیشگرم مـواد اولیـه بوسـیله گازهـای خروجـی دودکش است. در کارخانه کاشی مواد خام قبل از ورود به کوره پخت بیسکوئیت، درخشـک کـن توسـط گازهـای داغ خروجی از دودکش بخش خنک کن کوره پخت بیسکوئیت خشک می‌شوند ولی به دلیل تأخیر زمانی و طولانی بـودن فاصله خروج مواد ازخشک کن تا ورود به کوره پخت بیسکوئیت، بیسکوئیتهای خام خشک شده قبل از ورود بـه کـوره پخت بیسکوئیت تا دمای حدود ۲۵ درجه سانتیگراد سرد می‌شوند که این امر موجب اتـلاف انـرژی مـی‌شـود. جهـت پیشگرم کردن کاشی های ورودی به کوره پخت بیسکوئیت می‌توان محفظه ای (اتاقکی) بین خشک کن و کوره پخت بیسکوئیت (نزدیک به کوره پخت) ایجاد کرد که گرمایش این بخش توسط قسمتی از گاز هـای خروجـی از دودکـش کوره انجام پذیرد. نحوه تماس گاز با مواد، با توجه به سوخت مصرفی کوره و میـزان آلایـنـدگی گـاز دودکـش تعیـین می‌شود. در مواردی که گاز خروجی دودکش، نسبتاً تمیز باشد می‌تواند به صورت مستقیم در تماس با مواد خـام قـرار می‌گیرد. در غیر این صورت، گاز و مواد می‌بایست در مجاری جداگانه جریان یابنـد. بـه وسـیله سیسـتمهای پیشـگرم مواد اولیه، می‌توان به طور معمول مواد را تا $۵۰^{\circ}C$ پیشگرم نموده و در مصرف سوخت صرفه جـویی بـه عمـل آورد. براین اساس طرح استفاده از گازهای دودکش جهت پیشگرم کردن مواد ورودی در کارخانه کاشی مـورد بررسـی قـرار

گرفت. شماتیک طرح سیستم پیشگرمایش مواد خام ورودی به کوره پخت بیسکوئیت در شکل۵-۱۲ آمده است.



شکل۵-۱۲. بازیافت حرارت از گاز خروجی اگزاست کوره پخت کاشی جهت پیش گرمایش مواد خام خروجی از خشک کن

۵-۱-۴. گرمایش سالن تولید

استفاده از حرارت موجود در فرآیند، جهت گرمایش سالن تولید یکی از روشهای بازیابی انرژی می‌باشد. در این روش با استفاده از حرارت هوای خروجی از دودکش بخش خنک کن کوره پخت بیسکوئیت می‌توان محیط سالن تولید را گرم نمود. از آنجائیکه هوای خروجی از دودکش بخش خنک کن کوره پخت لعاب، هوایی سمی‌است، بنابراین بازیابی حرارت آن در یک سیکل باز جهت گرمایش سالن ممکن نیست. زیرا این گاز قبل از استفاده نیاز به فیلترهای تصفیه کننده گازهای شیمیایی دارد. اما استفاده از حرارت موجود در هوای خروجی از دودکش بخش خنک کن کوره پخت بیسکوئیت، به کمک یک فیلتر تصفیه کننده فیزیکی اولویت دارد.

۵-۱-۵. جایگزینی کوره های تونلی با رولری

امروزه استفاده از کوره های تونلی در صنعت تولید کاشی از جمله تکنولوژیهای قدیمی‌محسوب می‌گردد زیرا معایب و محدودیتهایی به شرح زیر دارد:

۱- این کوره ها حجم و فضای زیادی را اشغال می‌کنند.

۲- هزینه اولیه ساخت آنها زیاد است.

۳- راندمان این کوره ها نسبتا پایین است.

۴- هزینه تعمیر و نگهداری واگنها زیاد است زیرا این واگنها دائماً در حال سرد و گرم شدن هستند.

۵- عدم حرارت دهی یکنواخت به کاشی و در نتیجه افت کیفیت محصول

۶- بالا بودن میزان ضایعات تولید

۷- بالا بودن هزینه های پرسنلی

۸- تلفات حرارتی بالا از دیواره ها

۹- این کوره ها انعطاف پذیری کمی‌دارند و سرعت واگنها و دمای کوره تقریباً یکنواخت است و نمی‌توان زمان پخت را برای محصولات کوچکتر و بزرگ تر کم و زیاد کرد.

۱۰-پس از راه اندازی کوره، باید به طور شبانه روز بار کوره تأمین شود و این بدان معنی است که میزان تولید و ظرفیت کارخانه باید متناسب با ظرفیت کوره باشد. این کوره ها را برای ظرفیت کم نمی‌توان راه اندازی کرد.

امروزه با توجه به معایب ذکر شده و از طرفی توسعه تکنولوژی، از کوره های تونلی کمتر استفاده می‌شود و این کوره ها جای خود را به کوره های رولری (غلطکی) داده اند. در کوره های رولری با استفاده از تکنولوژی مدرن در نحوه پخت کاشی و لعاب، کیفیت محصول بالاتر و میزان ضایعات پایین تر است. علاوه بر این، در این کوره ها شاخص مصرف انرژی و میزان اتلاف آن پایین تر می‌باشد. از طرفی کنترل کوره های رولری ساده تر و هزینه های پرسنلی آن پایین تر است. در ادامه به مقایسه برخی از این پارامتر ها در کارخانه کاشی می‌پردازیم.

- **تعمیرات و نگهداری**

کوره های تونلی نو به تعمیر و نگهداری خاصی نیاز ندارند ولی به مرور زمان استهلاک پیدا کرده و نیاز به تعمیر دارند. در کوره های تونلی بیشترین بخشی که نیاز به تعمیر پیدا می‌کند، واگن ها هستند. واگن ها دائم در حال حرکتند، چرخ واگنها نیاز به بازبینی دارند تا در حین حرکت در طول تونل سفت نشوند. چنانچه چرخ واگن هنگام حرکت در تونل نچرخد سبب افزایش فشار جک خواهد شد. در این کارخانه، استفاده از یک نوع گریس با کیفیت بالا جهت چرخ واگنها سبب شده است تا این کوره ها نیاز به بازبینی مرتب نداشته و به صورت سالیانه کنترل شوند. در واگن ها صفحات نسوز ترک برداشته و می‌شکنند و اگر به موقع عوض نشوند سبب ریزش محصول خواهند شد. پایه های نسوز زیر صفحات به ندرت خراب می‌شوند.

در کوره رولری هزینه بیشتری برای تعمیرات صرف می‌شود. رولرها در اثر تماس مداوم با بیسکوئیت، به تدریج جرم گرفته که بایستی رولرهای جرم گرفته، از کوره خارج و تمیز شوند. جرم گیری رولرها سبب زبری و نازک شدن رولر می‌شود. همچنین خارج کردن رولر سبب به وجود آمدن شوک حرارتی برای رولر و تاب دار شدن آن می‌شود. جهت کاهش این موارد، روی رولرها یک لایه محافظ به نام انگوب (engobe) که مشابه تفلون رفتار می‌کند زده می‌شود. هر چه در نظافت لایه زیرین بیسکوئیت و حذف زوائد و پلیسه ها دقت شود، زمان جرم گیری رولر طولانی تر خواهد شد. این زوائد، ذوب شده و بر روی رولر جمع می‌شوند.

- **تلفات انرژی و ضایعات تولید**

گاز SO_2 و ... حاصل از فرآیند احتراق بر روی کیفیت کاشی و رنگ و لعاب آن اثر مستقیم می‌گذارد. جهت کاهش این اثر در کوره های تونلی با استفاده از فن، مکش بالا ایجاد می‌کنند. مکش بالا گازهای تولید شده را از

فضای بین کاشی ها خارج می‌کند و همچنین سبب افزایش دمای اگزاست خواهد شد.

در کوره های رولری به دلیل باز بودن فضا و یک لایه بودن چینش کاشی ها مکش کمتری هم نیاز است. در نتیجه تلفات انرژی کوره رولری کمتر از تلفات انرژی کوره تونلی است و تلفات محصول آن نیز کمتر است.

- **میزان مصرف انرژی و محصول تولید شده**

کوره تونلی هم میزان تلفات انرژی بالاتری دارد و هم میزان تلفات محصول آن بیشتر از کوره رولری می‌باشد. در کوره های رولری به دلیل عبور یک ردیف بیسکوئیت از داخل کوره میزان حرارت دهی به بیسکوئیت از داخل کوره یکنواخت می‌باشد و میزان ضایعات کمتر است.

در حالیکه در کوره تونلی به دلیل چیده شدن ردیف های متعدد بیسکوئیت روی هر واگن، میزان حرارت رسیده به کاشی ها غیر یکنواخت است و حتی میزان حرارت رسیده به لبه های هر بیسکوئیت نسبت به مرکز آن متفاوت است که در نتیجه سبب افت کیفیت محصول، تاب دار شدن و یا ترک خوردن آن خواهد شد.

energyenergy.ir