بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه

دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، گرایش تبدیل انرژی

ارائه روشی برای تحلیل و طراحی کوره های پیوسته و کاربرد آن در بررسی کوره های آجرپزی

نگارش:

سید محمد رضا میرصادقی

استاد راهنما:

دکتر علی اشرفی زاده

زمستان ۱۳۹۱

تقدیم به

دست های زحمت کش پدر

و محبت های بی دریغ مادر

تقدیر و تشکر:

بر خود لازم می‌دانم از اساتید، بزرگان و دوستانی که در طول انجام این پایان نامه به بنده کمک کرده و همکاری نمودند نهایت تشکر را داشته باشم.

از استاد خود شروع می‌کنم. جناب **دکتر علی اشرفی زاده** که شاگردی ایشان را برای خود افتخار می‌دانم. و همچنین **دکتر رامین مهدی پور** که مشاور انجام پروژه بودند. از ایشان صمیمانه تشکر می‌کنم.

از پرسنل زحمت کش شرکت تکنوآجر علی الخصوص **جناب آقای هرمز نازی** که همکاری بی دریغی با بنده داشتند و همچنین **مهندس رحیمی زاده** کمال تشکر را دارم.

از کارکنان محترم شرکت آجرسفید به ویژه مهندس **فرشاد راز نهان**، کارکنان محترم شرکت آلتون خشت خصوصاً **جناب آقای نظری** و همچنین کارکنان محترم شرکت زرین سفال صمیمانه قدردانی می‌نمایم.

از دوستان عزیزی که هریک به نحوی در انجام این پروژه به بنده کمک کردند، **مهندس بهنام قدیمی، مهندس شاهین نصیری وطن، مهندس مسعود عربلو** و همچنین دوستان خوبم **مهندس جواد قره باغی، آقای مجتبی محمدی** و **مهندس میلاد سعیدی** تشکر ویژه ای دارم.

از برادر عزیزم **سید محسن میرصادقی** نیز متشکرم که با دست های کوچک خود به من کمک می‌کرد.

از خداوند متعال برای کلیه این عزیزان آرزوی سلامتی و بهروزی دارم.

چکیده:

یکی از قدیمی ترین و پر استفاده ترین مصالح برای ساختن خانه "آجر" است. بشر از قرن ها پیش از آجر استفاده می‌کرده است. برای تولید آجر، باید خشت خام تولید شده از خاک را پخت. به عبارت دیگر تولید آجر یک فرآیند انرژی بر است.

با گسترش روز افزون صنایع در دنیا و افزایش جمعیت و از طرف دیگر با توجه به منابع رو به اتمام سوخت های فسیلی، بهینه سازی مصرف انرژی هر روز به مسأله ای جدی تر تبدیل می‌شود. بنابراین نیاز به بهینه سازی روش های پخت آجر نیز هر روز بیشتر از گذشته احساس می‌شود.

در این پژوهش، یکی از کوره های مدرن (پیوسته) پخت آجر موجود در کشور تحلیل شده است و راه هایی نیز برای بهتر شدن عملکرد و بازده آن ارائه شده و میزان تأثیر هریک نیز بررسی شده. ضمناً شیوه پخت مدرن با شیوه پخت سنتی مقایسه شده و مزایای آن ذکر شده است. همچنین در خلال انجام پژوهش از چهار شرکت تولید کننده آجر در کشور بازدید صورت گرفت.

تحلیل کوره پیوسته پخت آجر با استفاده از نرم افزار فلوئنت انجام شده است.

کلمات کلیدی: کوره پیوسته - کوره آجرپزی - سیستم های حرارتی - نرم افزار فلوئنت

فهرست مطالب:

فصل ۱: مقدمه و نگاهی به پژوهش های گذشته ---------- ۱۱

۱-۱- مقدمه ---------- ۱۱

۱-۲- نگاهی به پژوهش های گذشته ---------- ۱۳

فصل ۲: نگاهی به صنعت آجر در ایران و مقایسه کوره سنتی و کوره پیوسته ---------- ۱۷

۲-۱- کوره هافمن (هوفمن) ---------- ۱۸

۲-۲- مزیت استفاده از کوره پیوسته (تونلی) به جای کوره هافمن ---------- ۱۹

فصل ۳: گزارش تصویری از روند تولید در شرکت های دارای کوره هافمن و کوره پیوسته ---------- ۲۳

۳-۱- پخت آجر به صورت سنتی ---------- ۲۳

۳-۱-۱- مراحل تولید آجر ---------- ۲۳

۳-۲- پخت آجر به صورت مدرن ---------- ۲۹

فصل ۴: تعریف آجر و انواع آن ---------- ۳۴

۴-۱- طبقه بندی آجر ها ---------- ۳۵

فصل ۵: ویژگی های یک آجر استاندارد ---------- ۳۶

۵-۱- معیار ویژگی های هندسی ---------- ۳۷

۵-۱- الف: درازا پهنا و ضخامت ---------- ۳۷

۵-۱- ب: سوراخ ها ---------- ۳۷

۵-۱- ج: تحدب و تقعر ---------- ۳۸

۵-۱- د: ویژگی های ظاهری ---------- ۳۸

۵-۱-۲- آزمون ویژگی های هندسی ---------- ۳۸
۵-۱-۲-۱- روش آزمون تعیین اندازه، درازا، پهنا و ضخامت ---------- ۳۹
۵-۱-۲-۲- روش آزمون تعیین اندازه سوراخ ها ---------- ۴۰
۵-۱-۲-۳- روش آزمون تعیین اندازه، تحدب و تقعر ---------- ۴۲
۵-۲- مقاومت فشاری ---------- ۴۳
۵-۲-۱- روش آزمون تعیین مقاومت فشاری ---------- ۴۳
۵-۳- جذب آب ---------- ۴۶
۵-۳-۱- روش آزمون جذب آب. ---------- ۴۷
۵-۴- یخ زدگی ---------- ۴۸
۵-۴-۱-روش آزمون تعیین یخ زدگی ---------- ۴۹
۵-۵- نمک های محلول در آب ---------- ۵۲
۵-۵-۱- روش آزمون تعیین نمک های محلول در آب ---------- ۵۲
فصل ۶: عوامل تاثیر گذاری بر روی کیفیت آجر ---------- ۵۵
۶-۱- نوع خاک ---------- ۵۵
۶-۱-۱- طبقه بندی خاک رس ---------- ۵۶
۶-۱-۲- استاندارد خاک. ---------- ۵۶
۶-۲-دمای پخت آجر ---------- ۵۸
۶-۲-۱- دمای تبدیل خشت به آجر ---------- ۵۸
۶-۲-۲- تاثیر دمای پخت بر روی مقاومت فشاری آجر ---------- ۵۹
۶-۲-۳- آجر نپخته ---------- ۵۹
۶-۲-۴- آجر سوخته ---------- ۶۰

۶-۳- مدت زمان پخت ---------- ۶۱
۶-۴- ویژگی های هندسی و فیزیکی و نحوه ساخت ---------- ۶۳
فصل ۷: تعریف صورت مسأله و مقدمات حل ---------- ۶۴
۷-۱- صورت مسأله ---------- ۶۴
۷-۱-۱- مشعل ها ---------- ۶۸
۷-۱-۲- پیش گرم کن ---------- ۷۰
۷-۲- فرضیات کلی حل ---------- ۷۲
۷-۳- حالت های مختلف برای حل ---------- ۷۳
۷-۳-۱- حالت اول : ساده ترین حالت ---------- ۶۹
۷-۳-۲- حالت دوم : ضرایب جا به جایی مختلف برای وجوه مکعب ---------- ۷۴
۷-۳-۳- حالت سوم : حل هم زمان جامد و جریان سیال ---------- ۷۴
۷-۳-۴- حالت چهارم : در نظر گرفتن تشعشع ---------- ۷۵
۷-۳-۵- حالت پنجم : در نظر گرفتن تشعشع سیال ---------- ۷۵
۷-۳-۶- حالت ششم : سوراخ دار در نظر گرفتن آجر ها ---------- ۷۵
۷-۳-۷- ترکیب حالت ها ---------- ۷۶
فصل ۸: مدل سازی و مش بندی ---------- ۷۷
۸-۱- مدل سازی ---------- ۷۷
۸-۲- مش بندی ---------- ۸۲
فصل ۹: نحوه حل در نرم افزار فلوئنت ---------- ۸۴
۹-۱- انتخاب روش حل مناسب ---------- ۸۴
۹-۱-۱- حل گر ---------- ۸۴

۹-۱-۲- معادلات جریان و انرژی ---------- ۸۴
۹-۲- مشخصات مواد ---------- ۸۵
۹-۲-۱- مشخصات آجر ---------- ۸۵
۹-۲-۲- مشخصات سیال ---------- ۸۶
۹-۳- میزان سوخت مصرفی و میزان تولید ---------- ۸۸
۹-۴- محاسبه دبی مشعل ها ---------- ۸۹
۹-۵- تخمین دبی در منطقه بدون مشعل ---------- ۹۲
۹-۶- شروع حل ---------- ۹۳
۹-۷- حل در هر مرحله ---------- ۹۳
۹-۸- تأثیر سوراخ دار بودن آجر ---------- ۹۴
۹-۸-۱- اثر اول : افزایش سطح ---------- ۹۵
۹-۸-۱-۱- اعمال تاثیر افزایش سطح ---------- ۹۷
۹-۸-۲- اثر دوم : افزایش نفوذ گرما به داخل پایه ---------- ۹۹
فصل ۱۰: نتایج ---------- ۱۰۱
۱۰-۱- ماکزیمم دما ---------- ۱۰۱
۱۰-۲- روند تغییرات دما ---------- ۱۰۴
۱۰-۳- توزیع دما ---------- ۱۰۵
فصل ۱۱: بهینه سازی ---------- ۱۰۸
۱۱-۱- باریک کردن پایه ها ---------- ۱۰۸
۱۱-۱-۱- حل آزمایشی ---------- ۱۱۰

۱۱-۱-۲- کم کردن زمان پخت با توجه به نتایج ---------- ۱۱۰
۱۱-۱-۳- مزایا و معایب طرح جدید ---------- ۱۱۱
۱۱-۲- کوتاه کردن سقف ---------- ۱۱۳
۱۱-۳- چینش به صورت متناوب ---------- ۱۱۴
۱۱-۴- پایه های باریک با چینش متناوب ---------- ۱۱۵
۱۱-۵- پایه های داری حفره ---------- ۱۱۶
۱۱-۶- چینش متناوب پایه های دارای حفره ---------- ۱۱۸
۱۱-۷- پایه های دارای دو حفره ---------- ۱۱۸
۱۱-۸- چینش متناوب پایه های دارای دو حفره ---------- ۱۲۰
۱۱-۹- تغییر دمای مشعل ها ---------- ۱۲۱
۱۱-۱۰- عایق بندی کانال ها ---------- ۱۲۲
۱۱-۱۱- استفاده از گرمای سیال خروجی از دودکش ---------- ۱۲۳
۱۱-۱۲- جمع بندی ---------- ۱۲۳
نتیجه گیری ---------- ۱۲۴
پیشنهاد هایی برای پژوهش های دیگر ---------- ۱۲۵
مراجع ---------- ۱۲۶

فصل ۱ : مقدمه و نگاهی به پژوهش های گذشته

۱– ۱– مقدمه:

یکی از قدیمی ترین و پر استفاده ترین مصالح برای ساختن خانه، "آجر" است. بشر از حدود نه هزار سال پیش از آجر برای ساختن خانه استفاده می‌کرده است [1]. اولین آجرها، آجرهایی بودند که در آفتاب حرارت می-دیدند. اما بعدها آجرهایی تولید شد که توسط آتش حرارت می‌دیدند و به اصطلاح پخته می‌شدند. با گذشت زمان و با پیشرفت علم، هر روز راههای جدیدی برای پختن آجر به صورت بهینه و با بازدهی بهتر ارائه می‌شود. امروزه کوره های عظیم و پیشرفته ای در سراسر جهان برای پختن آجر ساخته شده است.

با وجود پیشرفت این صنعت در دنیا و ساخته شدن کوره های پیشرفته در بسیاری از کشورها، در کشور ما هنوز هم عمدتاً از روشهای سنتی برای پختن آجر استفاده می‌شود و کوره های مورد استفاده، کوره هایی با بازدهی پایین هستند. این مسأله بعد از بازدید از چند شرکت تولید کننده آجر در کشور بیشتر آشکار شد.

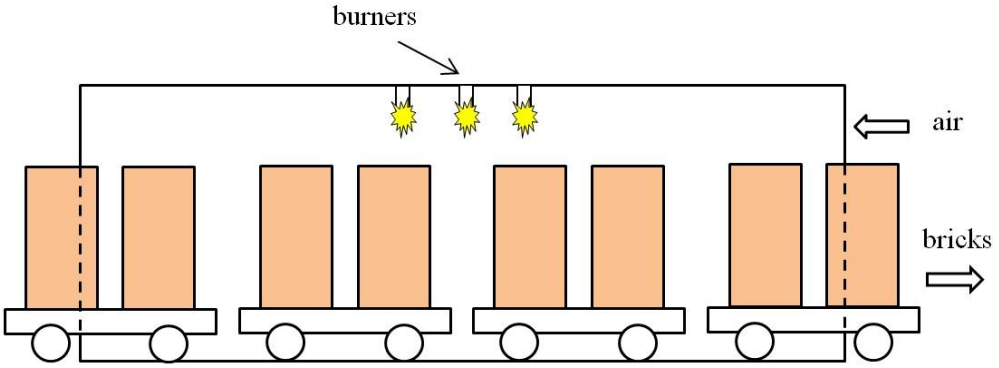
در روشهای مورد استفاده در پخت سنتی آجر، انرژی زیادی هدر رفته و این امر علاوه بر افزایش هزینه، آلودگی بیشتر محیط زیست را در پی خواهد داشت. در کشور ما با افزایش جمعیت و با توجه به دائمی نبودن منابع سوختهای فسیلی، به تدریج مسأله بهینه سازی مصرف سوختها به مسأله ای جدی تبدیل می‌شود. اهمیت بهینه سازی مصرف سوخت بعد از حذف یارانه سوختها بسیار بیشتر شده است.

یکی از مشکلات پخت سنتی آجر اینست که کوره های آنها به صورت "batch" هستند. به این معنی که ابتدا آجرها درون کوره چیده می‌شوند؛ سپس کوره بسته می‌شود؛ بعد از آن کوره روشن شده و پس از پایان فرآیند پخت، کوره باید سرد شود تا آجرها را بتوان خارج کرد. به عبارت دیگر مقدار زیادی از انرژی ای که برای بالا بردن دمای کوره مصرف شده بود در مرحله سرد شدن کوره به هدر می‌رود. این مشکل با پیدایش کوره های

پیوسته (که بعضاً از آن ها به نام کوره های تونلی نیز یاد می‌شود،) رفع شده است. عملکرد کوره های پیوسته مشابه عملکرد یک خط تولید است. به این معنا که آجرها از یک طرف وارد کوره شده، در طول آن حرکت می-کنند، حرارت می‌بینند و از طرف دیگر خارج می‌شوند و این پروسه به طور پیوسته ادامه می‌یابد. پیوسته بودن این پروسه باعث می‌شود که کوره دائماً در دمای بالا باقی بماند و این مطلب کاهش چشمگیر مصرف سوخت را به دنبال خواهد داشت. (در مورد مزایای کوره های پیوسته بیشتر صحبت خواهیم کرد.)

از کوره های پیوسته برای کاربردهای مختلفی استفاده می‌شود. از این کاربردها می‌توان به پختن آجر، پخت کاشی وسرامیک، عملیات حرارتی فولاد، پختن رنگ بدنه اتومبیل و پختن الکترود جوشکاری اشاره کرد. [2,3]

شکل زیر شماتیکی از یک کوره پیوسته را نشان می‌دهد. خشت هایی که قصد داریم آن ها را حرارت دهیم بر روی واگن هایی چیده شده اند و از سمت چپ وارد کوره می‌شوند.



شکل ۱- ۱- شماتیک یک کوره پیوسته پخت آجر

در میانه طول کوره و در زیر سقف، مشعل هایی تعبیه شده اند که حرارت لازم برای پختن آجر را تأمین می کنند. معمولاً در قسمتی که آجرها وارد کوره می‌شوند، فن یا فن هایی وجود دارد که مکش ایجاد می‌کنند و باعث می‌شوند تا سیال در درون کوره جریان داشته باشد. جهت جریان سیال بر خلاف جهت حرکت واگن ها است. به دلیل جریانی که در سیال به وجود می‌آید محصولات احتراق مشعل ها هم بر خلاف جهت حرکت واگن ها حرکت کرده و در نهایت در قسمتی که واگن ها وارد کوره می‌شوند، از کوره خارج می‌شوند. البته طول یک کوره واقعی بسیار بیشتر از شکل بالا است و تعداد واگن های زیادی در آن قرار می‌گیرند.

در مقابل، در قسمت خروج واگن ها از کوره نیز هوای تازه وارد کوره شده و آجرهای پخته شده را به تدریج سرد می‌کند.

ذکر این نکته هم حائز اهمیت است که در کوره پخت آجر، حرکت واگن ها یک حرکت گسسته است. به این معنی که واگن ها در کوره ساکن هستند و هر چند وقت یک بار مقداری به جلو می‌روند. البته همه کوره های پیوسته این گونه نیستند؛ برای مثال کوره پخت نان حرکتی پیوسته دارد.

هدف ما در این پروژه این است که یک کوره پیوسته پخت آجر واقع در کشور خودمان را تحلیل کرده و در صورت امکان راه هایی برای بهینه سازی آن ارائه کنیم. در ادامه نگاهی به کارهای قبلی انجام شده خواهیم داشت.

۱– ۲– نگاهی به پژوهش های گذشته:

نگاهی مختصر به برخی کارهای انجام گرفته در زمینه کوره های پیوسته و کوره های پخت آجر می‌اندازیم. ترتیب بررسی مقالات یک ترتیب موضوعی است و به تاریخ انتشار مقاله ارتباطی ندارد.

* ابتدا چند مقاله را بررسی می‌کنیم که موضوع آن ها کوره پیوسته پخت آجر است.

در سال ۲۰۰۵ ابرو مانجوهان و کورتل کوجوکادا مقاله ای راجع به بهینه سازی در کوره های پیوسته پخت آجر ارائه کردند. در این کار هدف اصلی پایین آوردن میزان مصرف سوخت در کوره و همچنین کم کردن حرارت هدر رفته از کوره می‌باشد. طرح های جالبی ارائه شده. به عنوان مثال استفاده از مقداری ذغال سنگ در ترکیب خشت که این ذغال سنگ در حرارت کوره می‌سوزد و خود به عنوان یک منبع انرژی خواهد بود. [4]

در سال ۲۰۰۷ سینم کایا و سایرین مقاله ای ارائه کردند که مبحث آن بازیابی حرارت خروجی از سیستم در بخش خنک کردن آجرها است. آجرها پس از این که به صورت کامل پخته شدند باید خنک شوند و گرمای خود را از دست بدهند. در این مقاله هدف این است که از این گرما استفاده شود. قسمت خنک کن مدلسازی ریاضی شده و فرآیند انتقال حرارت و جریان سیال در آن مدل شده است. سپس بهینه سازی انجام گرفته و کمیت هایی نظیر افت فشار سیال نیز بهینه شده اند. [5]

نویسندگان مقاله قبلی، در سال ۲۰۰۸ مقاله ای ارائه کردند و بازهم مبحث مقاله بهینه سازی کوره آجر است. این بار بر روی بخش "جهنم کوره (firing zone)" کار کرده اند. جهنم کوره بخشی از کوره است که سوخت در آن جا می‌سوزد و طبیعتاً بیشترین دما را نیز دارد. بهینه سازی بر روی سه مورد انجام گرفته است: محل مشعل ها، میزان سوخت مصرفی و میزان هوای ثانویه که وارد کوره می‌شود. [6]

پرازرتسان و تپایا تحقیقات زیادی بر روی کوره آجر انجام داده اند. آن ها نتیجه کار خود را در سه مقاله ارائه دادند. این سه مقاله به طور کلی در مورد صرفه جویی در مصرف انرژی در ساخت آجر است. عنوان هر سه مقاله یکسان است و به نوعی سه بخش از یک مقاله هستند.

مقاله اول در مورد پارامترهای کلیدی در ساخت آجر و صرفه جویی در مصرف سوخت است. در این مقاله تأثیر دمای پخت و مدت زمان پخت بر روی کمیت های مهم آجر از قبیل مقاومت فشاری، جذب آب، میزان کم شدن وزن بر اثر پخت و غیره بررسی شده است. [7]

مقاله دوم در مورد شبیه سازی پروسه پخت آجر در کوره پیوسته است. در این مقاله طرحی از کوره ارائه می-شود که شامل چهار بخش است: خشک کن، پیش گرم کن، پخت و خنک کن. این چهار بخش به گونه ای هستند که با هم در تعاملند. برای مثال از گرمایی که در قسمت خنک کن آزاد می‌شود می‌توان در قسمت پیش گرم کن استفاده کرد. مدلسازی ریاضی نیز انجام گرفته است. [8]

در مقاله سوم، طرحی که به صورت تئوری در مقاله های قبلی ارائه شده بود به صورت تجربی آزمایش شده و نتایج با نتایج تئوری مقایسه شده است. نتایج هماهنگی خوبی با پیش بینی های تئوری دارد؛ به خصوص در حالتی که میزان تولید پایین باشد. این آزمایشات برای میزان تولید های مختلف انجام شده و مشخص شده که در پایین ترین میزان تولید، اگرچه زمان پخت مینیمم می‌شود، اما میزان مصرف سوخت به ازای مقدار معینی آجر، مینیمم نیست. [9]

پرازرتسان و سایرین در سال ۱۹۹۷ مقاله ای ارائه کردند که به نوعی می‌توان گفت جمع بندی مقاله سه بخشی قبل است. در این مقاله نیز طرح هایی برای کوره پیوسته پخت آجر ارائه می‌شود و نتایج تجربی نیز بررسی می-شود. این مقاله ادعا می‌کند که با استفاده از کوره ای که طرح آن در مقاله ارائه می‌شود، می‌توان مصرف سوخت را نسبت به روش های پخت قدیمی تا نصف کاهش داد. [10]

در سال ۲۰۰۴ ابو زیان و سایرین مقاله ای ارائه کردند که در مورد انتقال حرارت جابجایی از آجرهای داخل کوره است. در این مقاله که نتیجه یک کار تجربی و آزمایشگاهی است، چینش های مختلفی برای چیدن آجرها در درون کوره امتحان شده و انتقال حرارت در هریک از چینش ها به صورت تجربی آزمایش شده است. [11]

* مقاله هایی که در بالا به آن ها اشاره شد همگی راجع به کوره آجر بودند. اگر کوره پیوسته محصولات دیگر مد نظر باشد مقاله های زیر مفید خواهند بود:

در سال ۲۰۰۵ اسمیت و همکاران مقاله ای راجع به خشک کردن الوار در کوره های پیوسته منتشر کردند. در این مقاله یک مدل دوبعدی برای مدل کردن کوره و محتویات آن ارائه شده و مسأله به طور ریاضی مدل شده است. مسأله به طور تجربی نیز آزمایش شده است. [12]

در سال ۲۰۱۱ سیدور و همکارانش در مورد کوره های سیمان مطالعه کردند. در این مقاله تأثیر برخی پارامترها بر روی کوره سیمان و همچنین بر روی کیفیت محصول سیمان بررسی شده است. کوره به صورت عددی مدل شده و نتایج حاصل از حل عددی با نتایج تجربی که از قبل موجود بوده مقایسه شده است. [13]

در سال ۱۹۸۱ کاسی و سایرین مقاله ای در مورد کوره های سرامیک منتشر کردند. موضوع مورد بحث در این مقاله استفاده از حرارت اتلافی کوره است. این مقاله طرحی برای تبدیل قسمتی از حرارت خروجی از کوره به انرژی الکتریکی ارائه می‌کند. این انرژی الکتریکی می‌تواند دوباره در کوره به صورت گرما استفاده شود و یا این که برای کار کردن فن های موجود در کوره استفاده شود. [2]

* اگر کوره به طور خاص مد نظر نباشد و تمرکز بر روی آجر باشد، آن گاه مقاله های زیر پیشنهاد می‌شوند:

در سال ۲۰۰۵ کارامان و سایرین مقاله ای ارائه کردند که بیشتر تجربی و آزمایشگاهی است. آن ها تأثیر پارامترهای مهمی نظیر ماکزیمم دمای پخت آجر را بر روی کمیت هایی مانند مقاومت فشاری آجر و همچنین رنگ آجر بررسی کردند. رنگ آجر از نظر جلب مشتری پارامتر مهمی به حساب می‌آید. آن ها آزمایشات خود را در دماهای پخت مختلفی انجام دادند و نتایج را ارائه کردند. [14]

در سال ۲۰۰۴ پای هونگ شی و همکاران مقاله ارائه کردند که در آن یک نوع آجر خاص بررسی و تحلیل شده است. این نوع آجر از اضافه کردن خاکستر فولاد به آجر معمولی به دست آمده است. ادعا می‌شود که به خاطر اضافه کردن این ماده جدید، ماکزیمم دمای پخت به ازای همان خواص قبلی پایین آمده و این مفید است. ضمن اینکه در این مقاله تاثیر اضافه و کم کردن چند ماده دیگر که در حالت عادی نیز در آجر موجود هستند بررسی شده است. [15]

در سال ۲۰۰۷ عمار بوشر مقاله خود را ارائه کرد که در ارتباط با حل تحلیلی انتقال حرارت در بلوک های سفالی است. در این کار جالب، شکل بلوک سفالی به عنوان هندسه مسأله بوده و انتقال گرما در درون سفال از طریق رسانش انجام می‌گیرد. انتقال گرما از بیرون به سفال نیز از طریق جابجایی است. البته در این کار، حل برای انواع مختلفی از بلوک های سفالی انجام گرفته و نتایج ارائه شده است. [16]

* اگر فقط تحلیل یک سیستم که از قبل مشخص است مد نظر نباشد و طراحی یک سیستم جدید مد نظر باشد، آن گاه می‌توان به مقاله های زیر رجوع کرد:

در سال ۲۰۰۱، فرانکا و همکاران سیستم حرارتی ای را مورد مطالعه قرار دادند که مکانیزم تشعشع و جابجایی در انتقال حرارت آن مد نظر بود. در این کار هندسه مسأله دوبعدی است و هم شار حرارتی و هم دما بر روی سطح طراحی باید ارضا شود و مطلوب مسأله توزیع دما بر روی سطح بالایی است. در این کار سیال موجود در انکلوژر از لحاظ تشعشعی خاکستری است و در تشعشع دخالت می‌کند. جریان سیال یک جریان لایه ای است. حل این مسأله از طریق معکوس منجر به یک دستگاه معادلات غیر خطی و همچنین بد وضع شده است. برای حل دستگاه از روش TSVD استفاده شده است تا توزیع دما روی سطح بالایی تعیین شود. [17]

در سال ۱۹۹۸ فدروف و سایرین کاری تا حدودی متفاوت با کار قبلی انجام دادند. سیستم حرارتی مورد نظر آن ها مناسب برای یک کوره پیوسته است. به این معنی که بخشی که اصطلاحاً سطح طراحی نامیده می‌شود با سرعت ثابت در حال حرکت است. هندسه مورد استفاده آن ها هم یک هندسه سه بعدی است. سطح بالایی به صورت شطرنجی به مستطیل هایی تقسیم شده که یکی در میان محل قرارگیری هیترهاست. مطلوب مسأله پیدا کردن دمای هر هیتر است. این مسأله از روش بهینه سازی معکوس حل شده است. [18]

در سال ۲۰۰۷، مان یونگ کیم مقاله ای ارائه کرد که کار انجام شده در آن در برخی موارد مشابه مقاله قبل است. در اینجا هم قسمتی که قرار است دما و شار حرارتی آن میزان معینی باشد، متحرک است. بنابراین این مقاله نیز مناسب برای یک کوره پیوسته است. در این کار حرارت مورد نظر به slab های در حال حرکت می-رسد. حرارت به صورت تشعشعی و از طریق مشعل هایی تولید می‌شود. حل با استفاده از روش حجم محدود انجام شده و با نتایج تجربی مقایسه شده و هماهنگی خوبی با نتایج تجربی دارد. [19]

فصل ۲ : نگاهی به صنعت آجر در ایران و مقایسه کوره سنتی و کوره پیوسته

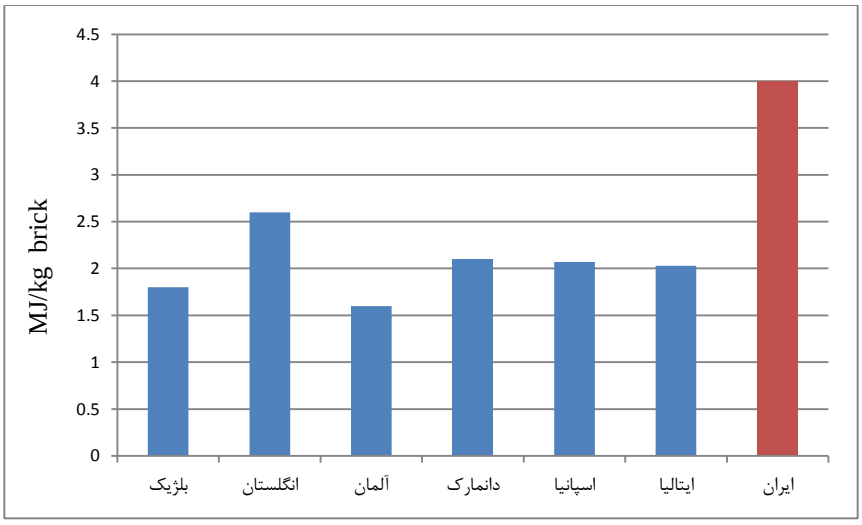
در صنعت آجر حدود ۷۰۰۰ کارخانه فعال در ایران موجود است که میزان تولید اسمی سالیانه آنها بیش از ۵۰ میلیون تن می‌باشد. محصولات اکثر این کارخانجات، شامل آجر سنتی، آجر ماشینی و بلوک، با فن‌آوری قدیمی تولید می‌شوند که علاوه بر انرژی‌بری بسیار بالا در تولید (بیش از ۲ برابر انرژی‌بری تولید آجر با فن‌آوری جدید)، از بسیاری از مزایای نهفته در استفاده از آجرهای جدید بی‌بهره می‌باشند. [20]

فقط تعداد بسیار محدودی از این تولید کننده ها دارای کوره تونلی پیوسته هستند (کمتر از چهل کارخانه) و مابقی از روش های قدیمی و سنتی (کوره های کاملاً قدیمی و نیز کوره های هافمن) برای پختن آجر استفاده می‌کنند. حدود ۵۵۰۰ کارخانه در ایران از کوره های کاملاً قدیمی (که دارای دودکش های بلندی هستند) استفاده می‌کنند و حدود ۱۵۰۰ کارخانه نیز از کوره هافمن. کوره هافمن با وجود این که نسبت به کوره های کاملاً قدیمی جدیدتر هستند اما آن ها هم نسبتاً قدیمی بوده و بازده پایینی دارند.

آجرهایی که در کور های قدیمی و کوره های هافمن تولید می‌شوند استاندارد نبوده، در برابر زلزله مقاوم نیستند، اتلاف حرارتی بالایی دارند و مصرف آنها در ساختمان سبب اتلاف حرارت تقریباً ۲ برابر، در مقایسه با آجرهای مشابه خارجی است. [20]

بنابر تحقیقات انجام شده، به طور متوسط ۲ تا ۳ برابر میزان جهانی در صنعت آجر کشور انرژی مصرف می‌شود. همچنین در اکثر کشورهای دنیا هزینه های انرژی حدود ۲۳٪ هزینه های تولید را در صنعت آجر به خود اختصاص می‌دهد؛ در حالی که این رقم به ۴۵٪ در ایران می‌رسد که رقم بسیار بالایی است. [20]

نمودار زیر مصرف انرژی را بر حسب هر کیلوگرم آجر در چند کشور مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۲- ۱- متوسط مصرف انرژی به ازای هر کیلوگرم آجر در چند کشور مختلف [20]

مشاهده می‌کنید که مصرف انرژی برای تولید آجر، در ایران نسبت به کشورهای پیشرفته بسیار بیشتر می‌باشد.

بسیاری از شرکت های تولید کننده آجر در ایران از کوره هافمن استفاده می‌کنند. توضیحی مختصر درباره کوره هافمن می‌دهیم.

۲– ۱– کوره هافمن (هوفمن):

کوره هافمن تونل طویلی است به شکل بیضی که در دیواره خارجی آن، بسته به طول کوره، با دریچه هایی با فاصله حدوداً ۶ متر از یکدیگر ساخته می‌شود. به هر یک از این دریچه ها اصطلاحاً قمیره یا خمیره می‌گویند. اندازه کوره با استفاده از این درها بیان می‌شود. مثلاً یک کوره ۶۰ قمیره ای، کوره ای است با ۶۰ درب. در این نوع کوره محصولات ثابت و آتش متحرک است. محل استقرار دستگاه های سوخت پاش در سقف قرار دارد. محصولات قبل از آنکه مستقیماً توسط آتش پخته شوند با حرارت سایر اتاقک ها گرم می‌شوند که اصطلاحاً پیش گرمایش نامیده می‌شود. این حرارت همراه با گاز خروجی اتاقک پخت و از طریق دریچه هایی که قبلاً تعبیه شده است حرکت می‌کند و به اتاق های مجاور وارد می‌شود. زمانی که در یک اتاق عملیات پخت در جریان است در اتاقک دورتر عملیات تخلیه و بارگیری در جریان است. [20]

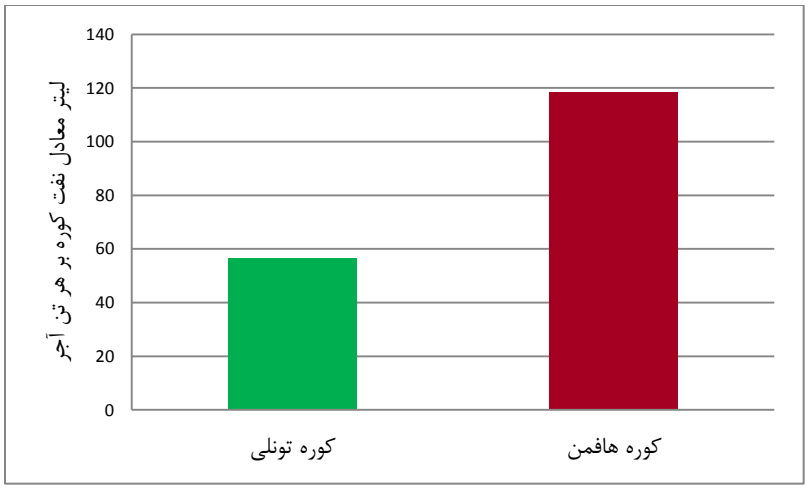
شکل ۲- ۲- نمای داخلی یک کوره هافمن

۲– ۲– مزیت های استفاده از کوره پیوسته (تونلی) به جای کوره هافمن:

به صورت اجمالی، مزیت های استفاده از کوره پیوسته به جای کوره هافمن عبارتند از [20] :

* بهینه سازی مصرف انرژی و آزاد سازی پتانسیل های صرفه جویی انرژی
* کاهش ضایعات در تولید آجر
* تعدیل اثرات نامطلوب زیست محیطی
* ضد زلزله، سبک بودن و افزایش استحکام مکانیکی محصول
* کاهش مصرف سیمان به ازای عملیات ساختمانی یکسان
* توانایی تولید محصولات متنوع تر
* افزایش توان صادراتی کشور در صنعت آجر
* کاهش اتلاف حرارتی ساختمان ها در صورت استفاده از بلوک های سفالی

استفاده از کوره های هافمن در پخت آجر مصرف سوخت بیشتری را نسبت به کوره های تونلی در پی دارد. نمودار زیر متوسط مصرف سوخت را برای دو کوره تونلی و هافمن نشان می‌دهد. با توجه به اینکه سوخت کوره های تونلی عمدتاً گازوئیل یا گاز طبیعی می‌باشد، در این نمودار از معادل نفت کوره استفاده شده تا بتوان این دو کوره را با هم مقایسه کرد.



شکل ۲- ۳- مقایسه میزان متوسط مصرف سوخت در کوره تونلی و کوره هافمن [20]

مشاهده می‌شود که مصرف سوخت در کوره هافمن حدوداً دو برابر کوره پیوسته (تونلی) است.

استفاده از روش های سنتی برای تولید و پخت آجر ضایعات تولید زیادی را نیز در پی دارد. در وضعیت موجود، ضایعات تولید از ابتدای خط تا انتها در کارخانجات آجر بین ۱۰ تا۲۰ درصد می‌باشد که با مدرن شدن سیستم و اجرای بسته‌بندی تا حدود زیادی از آن جلوگیری خواهد شد.

یکی دیگر از مزیت های ذکر شده در بالا، توانایی تولید محصولات متنوع تر می‌باشد. کارخانه های مجهز به کوره های پیوسته، توانایی تولید بلوک های سفالی را دارند که این بلوک های سفالی خود دارای مزیت های زیادی هستند. از مزایای آن ها می‌توان به وزن مخصوص بسیار پایین تر، تسریع عملیات ساختمانی، کاهش مصرف سیمان به ازای عملیات ساختمانی یکسان و همچنین کاهش چشمگیر اتلاف حرارت از ساختمان هایی که در ساخت آن ها از بلوک های سفالی استفاده شده است اشاره کرد.

نمودار زیر مقایسه ای است بین مصرف سیمان در حالتی که از آجر تولید شده با فن آوری قدیمی استفاده شود، با حالتی که از بلوک های سفالی تولید شده با فن آوری جدید استفاده شود.