

## چکیده

بخش اصلی واحدهای تولید سیمان کوره های دوار است، کوره های دوار سیمان به طور گسترده در صنعت سیمان برای تبدیل خوراک خام به کلینکر سیمان به کار می روند. امروزه بهینه سازی کوره ها در زمره ی اولویت های مهندسی قرار گرفته است که می تواند تاثیرات مهمی در این صنعت بگذارد. این امر زمانی میسر است که شناختی دقیق از پدیده های که درون کوره رخ می دهد وجود داشته باشد و بتوان ارتباط بین متغیرهای سیستم را بیان نمود، بهبود این روند نیاز به درک بهتری از تعامل میان فرآیند های مهم درون کوره های دوار دارد. با این حال به علت شرایط خاص محیطی کوره، مانع از مشاهده مستقیم یا اندازه گیری است. پس مدلسازی فرآیند به طور بالقوه می تواند یک جایگزین قابل اعتماد را ارائه کند. تحلیل ها توسط نرم افزار گمبیت و مدلسازی در فلوئنت به ما اطمینان می دهد که ابزار مدل محاسباتی درجهت دستیابی به فرایند های مهم کوره های دوار به طور کافی جامع هستند. با شبیه سازی دستگاه و یا مجموعه ای از معادلات ریاضی می توان اثر تغییر متغیر ها را بررسی نمود و به حالت بهینه و کنترل سیستم دست یافت. در این مطالعه روش مبتنی بر دینامیک سیالات محاسباتی برای دستیابی به فرآیند های مهم کوره های دوار سیمان را انجام داده ایم و اثرات آن بر فاکتور بهبود کیفیت تولید مورد بررسی قرار گرفته است. حاصل نتایج افزایش کیفیت کلینکر تولیدی و به تبع آن بهبود در کیفیت انتقال حرارت بین گاز و مواد می باشد. همچنین در این مطالعه با مجموعه ای از معادلات ریاضی اثر تغییر متغیر ها را بررسی نموده ایم و به حالت بهینه و کنترل سیستم دست یافته ایم و اثرات آن بر فاکتور کاهش مصرف انرژی را مورد بررسی قرار داده ایم. نتایج مطالعه نشان می دهد که با افزودن پیشگرمکن و شیب کمتر کوره، مصرف انرژی کاهش می یابد.

## مقدمه

سیمان گردی است نرم، جاذب آب و چسباننده خرده سنگ ها که اساسا مرکب از ترکیبات پخته شده و گداخته شده اکسید کلسیم با اکسید سیلیس، اکسید آلومینیوم و اکسید آهن است که عمدتا در سنگ آهک و خاک رس وجود دارد. ملات این گرد قادر است به مرور در مجاورت هوا یا در زیر آب سخت شده و ضمن

داشتن ثبات حجم مقاومت خود را حفظ نموده و در فاصله ۲۸ روز در زیر آب ماندن دارای حداقل مقاومت ۲۵ نیوتن بر میلیمتر مربع باشد. کاربرد مواد سیمانی در صنعت ساختمان سابقه طولانی دارد. در کشورهای صنعتی در اوایل قرن نوزدهم، با گسترش صنعت ساختمان نیاز به داشتن چسباننده های آبی با مقاومت و قدرت و کارایی زیاد، روز به روز افزایش پیدا کرد تا این که موفق شدند از ریختن مخلوط گرد آهک و گرد خاک رس در کوره و حرارت دادن آن و آسیاب کردن جسم پخته شده، فرآورده ای را به دست بیاورند که دارای مقاومت و قدرت زیادی بود و به خاطر تشابه رنگ سیمان سخت شده با سنگ جزیره پرتلند در انگلستان، سیمان پرتلند نامیده شد.

قلب واحدهای تولید سیمان کوره های دوار است، کوره های دوار سیمان به طور گسترده در صنعت سیمان برای تبدیل خوراک خام به کلینکر سیمان به کار می روند. فرآیند تولید سیمان را عموماً به سه بخش کلی تقسیم می کنیم:

۱- قبل از کوره (سنگ شکن، سالن ذخیره ی مواد، آسیاب مواد، سیلو های مواد)

۲- کوره (پیش گرمکن، کلساینر، کانال هوای سوم، کوره، خنک کن)

۳- بعد از کوره (آسیاب سیمان، سیلو های سیمان)

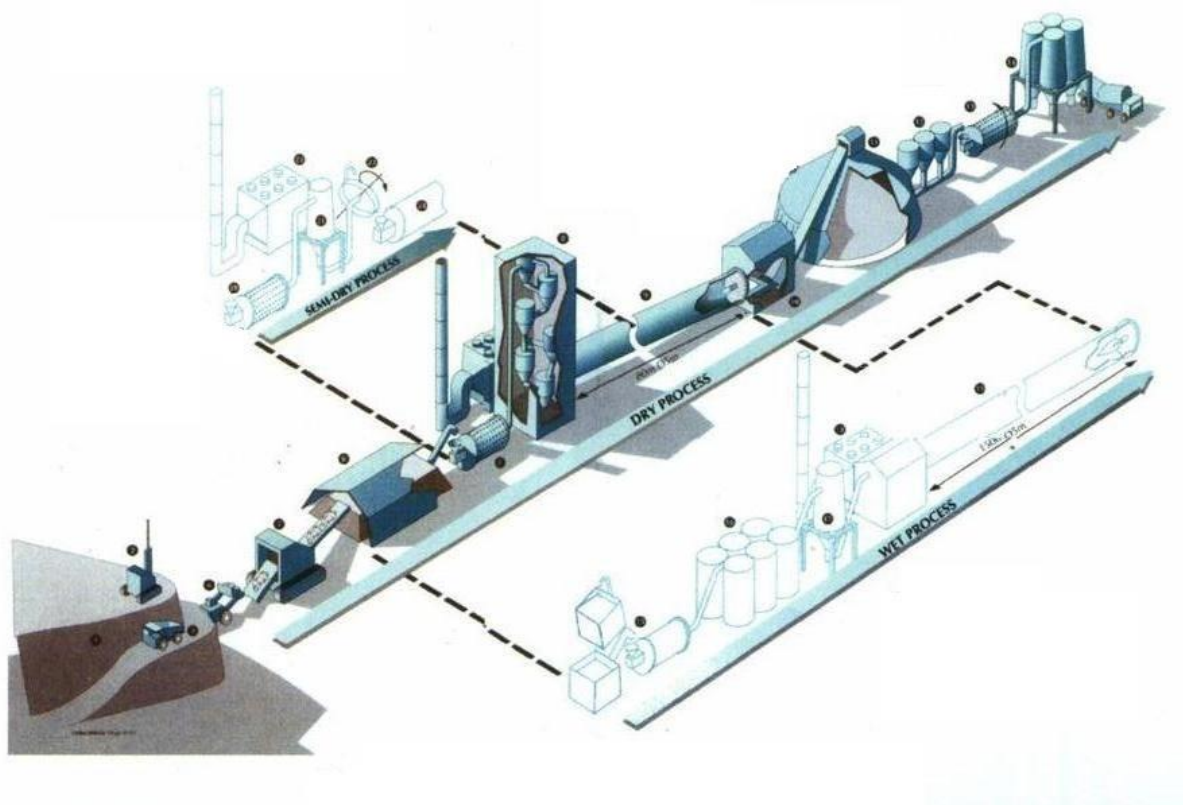
امروزه بهینه سازی کوره ها در زمره ی اولویت های مهندسی قرار گرفته است که می تواند تاثیرات مهمی در این صنعت بگذارد. این امر زمانی میسر است که شناختی دقیق از پدیده های که درون کوره رخ می دهد وجود داشته باشد و بتوان ارتباط بین متغیرهای سیستم را بیان نمود، بهبود این روند نیاز به درک بهتری از تعامل میان شعله، فاز گاز و بستر جامد در کوره دارد.

این کوره ها دارای اشکالاتی از قبیل هزینه های سنگین و مصرف انرژی بالا هستند. به حداقل رساندن این موضوع را با پدیده های انتقال حرارت بررسی می کنیم. توزیع دما، اتلاف خالص حرارت به محیط را کنترل کرده که یکی از عوامل مهم مصرف انرژی خالص در کوره هست. در کوره از انواع سوخت مثل گاز طبیعی، مازوت، ذغال سنگ و غیره استفاده می گردد. انتخاب نوع سوخت بستگی به قیمت و در دسترس بودن آن دارد. در ایران صرفاً از مازوت و گاز طبیعی استفاده می شود.

## **فصل اول**

### **شرحی از روند تولید سیمان**

تکنولوژی جدید سیمان برای اولین بار با راهاندازی کوره ۱۰۰ تنی سیمان ری در نزدیکی کوه بی‌بی‌شهربانو و در سال ۱۳۱۲ در ایران متولد شد. راهاندازی کارخانه سیمان ری به مفهوم ایجاد شتاب در نوسازی و صنعتی شدن کشور بود و از این رو سهم این کارخانه در پی‌ریزی بسیاری از کارخانه‌ها و تاسیسات صنعتی دانشگاهی بهداشتی کشاورزی و... استثنائی و در خور توجه است. (بوکائیان "کوره های دوار سیمان، مواد نسوز و مصالح ساختمانی" ۱۳۷۶).

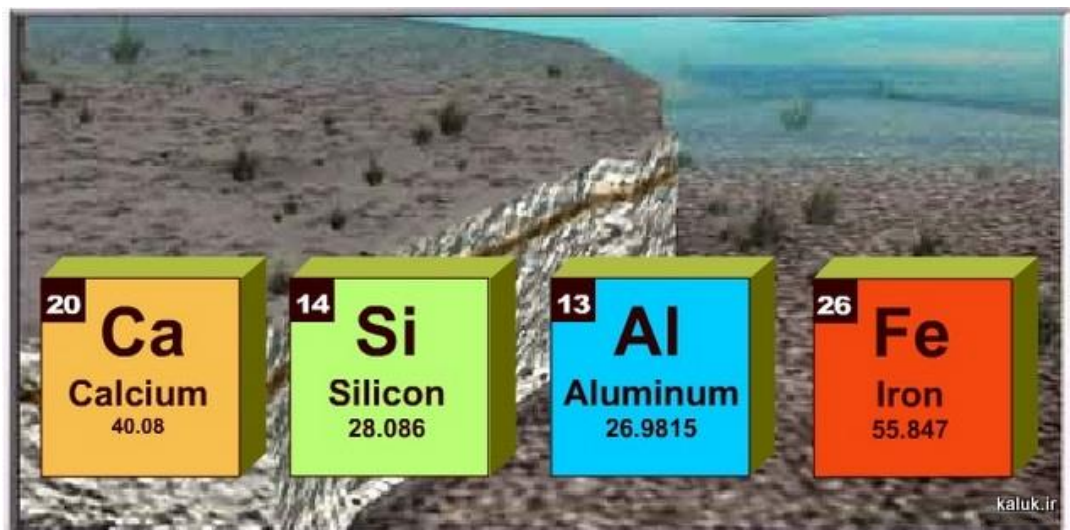


شکل ۱-۱ دیاگرام شماتیک از یک کارخانه سیمان مدرن

در حال حاضر پروژه‌های بسیاری در نقاط مختلف کشور در دست اجرا می‌باشد که بسیاری از آنها تا سال ۱۳۹۵ به تولید خواهند رسید. با راه اندازی این پروژه ها ظرفیت تولید سیمان ایران به حدود ۸۰ میلیون تن در سال خواهد رسید که معادل ۲/۵ درصد تولید سیمان جهان خواهد بود.

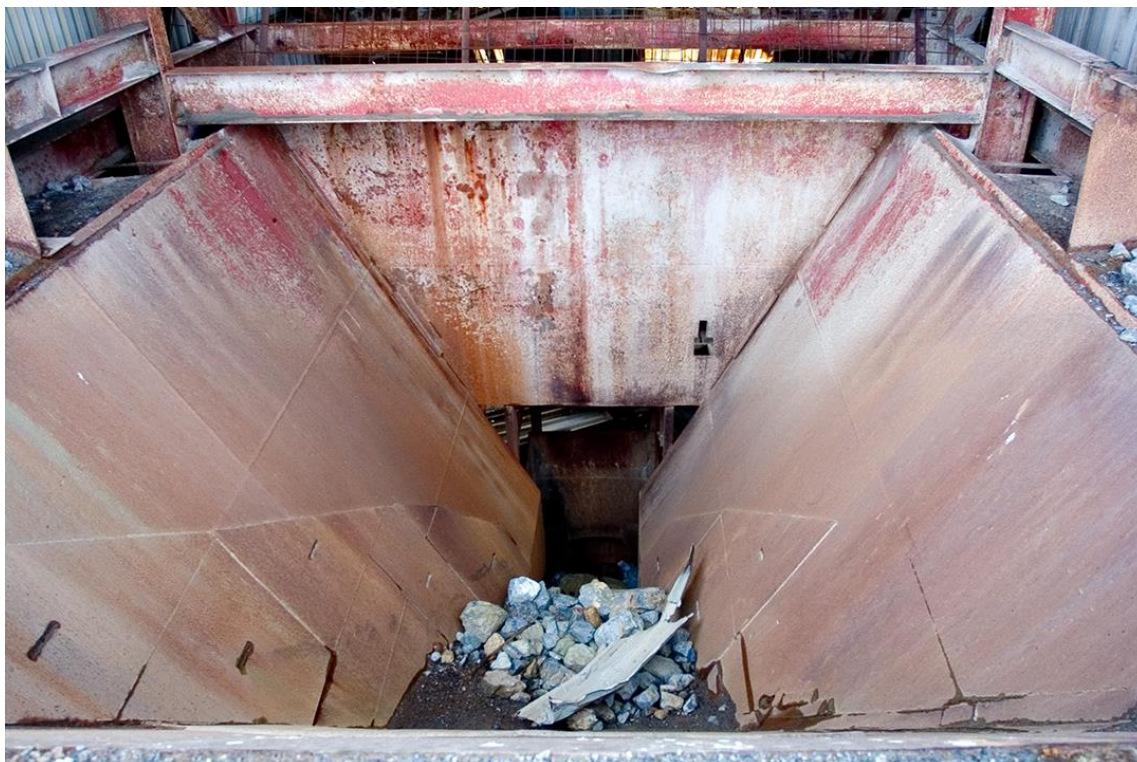
مواد اولیه مورد استفاده در صنعت سیمان معمولاً سنگ آهک و خاک رس است که پس از استخراج عمدتاً به وسیله کامیون‌ها به محل کارخانه و به قسمت سنگ شکن حمل می‌شوند. خاک و سنگ آهک به صورت جداگانه از خردکن عبور کرده و خرد می‌شوند. در سنگ شکن که مخصوص خرد کردن سنگ‌هایی تا ابعاد

۲ متر می باشد، سنگ شکسته شده و بستگی به نوع سنگ شکن و آسیاب مواد ابعاد آن به کمتر از ۸ سانتی متر تقلیل می یابد.



شکل ۲- ۱ مواد اولیه تولید سیمان

در مواردی سنگ آهک به صورت قلوه سنگ همراه با خاک می باشد که به این مخلوط طبیعی الویوم یا مارل می گویند که در این مورد نیز نیاز است که از سنگ شکن عبور نماید.



شکل ۳- ۱ فک های خرد کننده ی سنگ



مواد کوبیده شده پس از خروج از سنگ شکن توسط نوار نقاله راهی سالن مواد شده و در آنجا توسط دستگاهی به نام استاکر<sup>۱</sup> به صورت توده‌ای از مواد به نام پایل<sup>۲</sup> ریخته شده و ذخیره می‌گردد. کار برداشت مجدد مواد از سالن اختلاط توسط دستگاهی به نام ریکلایمر<sup>۳</sup> انجام می‌شود.



شکل ۴-۱ سالن مواد

مواد برداشته شده از سالن مواد از طریق نوار نقاله به بینهای ذخیره مواد ریخته شده و پس از آن توسط سیستم نوارهای توزین وارد آسیاب مواد شده و محصول خروجی به صورت پودر (با رطوبت کمتر از ورود) از آسیاب خارج می‌گردد.

---

<sup>۱</sup> Stalker

<sup>۲</sup> Pile

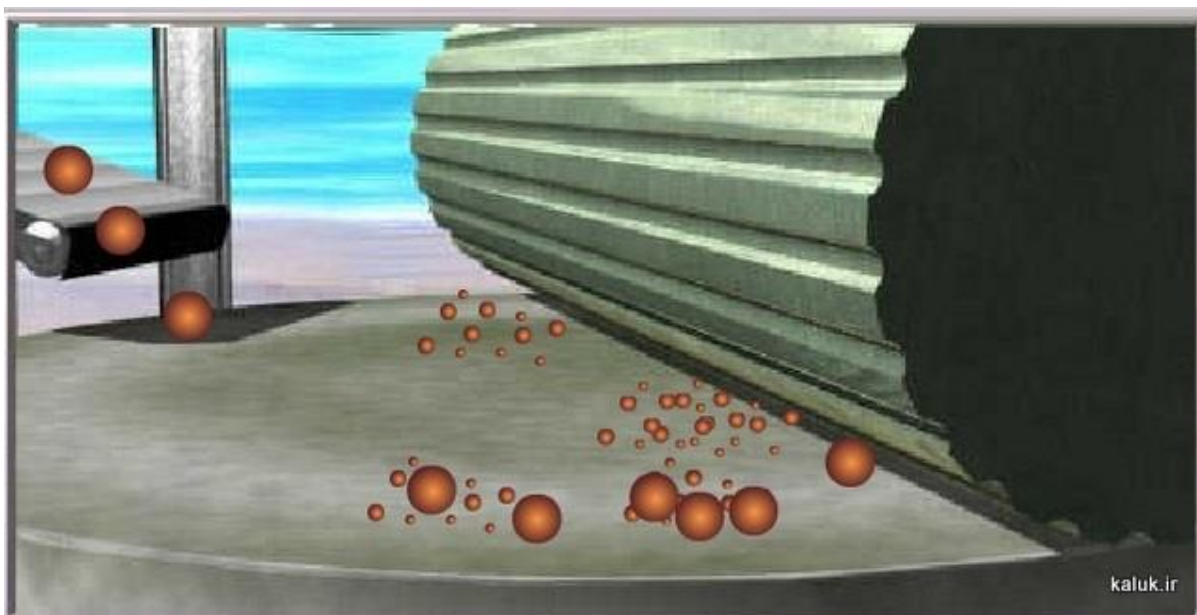
<sup>۳</sup> Reclaimer



شکل ۵- ۱ مواد روی نوارهای توزین جهت انتقال به آسیاب مواد

آسیاب مواد بر دو نوع گلوله‌ای و غلطکی می باشد. آنچه که از آسیاب خارج می‌شود به نام مواد خام یا خوراک کوره موسوم است. آسیاب مواد مجهز به کوره هوای گرم برای گرفتن رطوبت مواد می‌باشد. غالباً از گازهای گرم خروجی از کوره برای این منظور استفاده می‌شود. این کوره برای مواردی است که کوره اصلی متوقف می‌باشد.





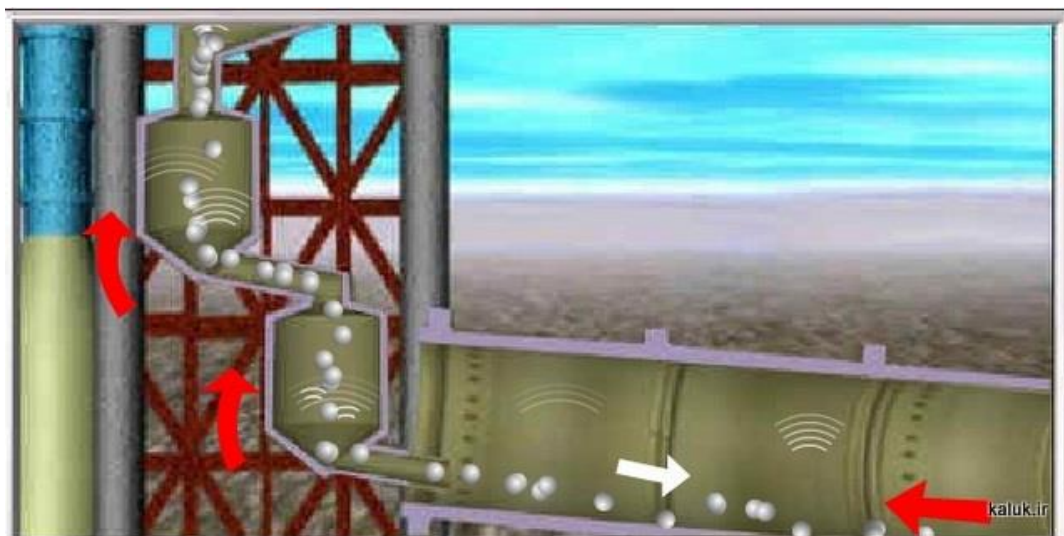
شکل ۶- ۱ آسیاب مواد غلطکی



شکل ۷- ۱ آسیاب مواد گلوله ای

از گردگیر به منظور خشک کردن و جابجائی مواد در آسیاب مواد از گازهای خروجی از کوره استفاده می‌شود. این گازها پس از انتقال مواد از آسیاب وارد الکتروفیلتر گشته و ذرات مواد و گرد و غبار از آن جدا می‌گردد و سپس از طریق دودکش به خارج (محیط اطراف) فرستاده می‌شود. مواد پودر شده پس از الکتروفیلتر وارد سیلوهای مخلوط کن و ذخیره می‌شود و پس از نمونه‌گیری و آزمایشات لازمه توسط آزمایشگاه و اطمینان از تنظیم بودن و متناسب بودن ترکیب مواد خام آماده مصرف در کوره می‌شود.





شکل ۸- ۱ پیش گرم کن

مواد خام از قسمت بالای پیش گرم کن وارد سیستم پخت می‌شود و پس از عبور از پیش گرم کن و کلساینر<sup>۱</sup> وارد کوره دوار می‌گردد. مواد خام در پیش گرم کن به مرور (در فاصله حدود ۵۰ ثانیه) خشک، گرم و کلسینه می‌شود. پیش گرم کن دارای دو برج است که در یکی از آنها کلساینر قرار دارد. مواد پس از تکلیس وارد کوره شده و نهایتاً به صورت دانه‌های کلینکر از کوره خارج می‌گردد.

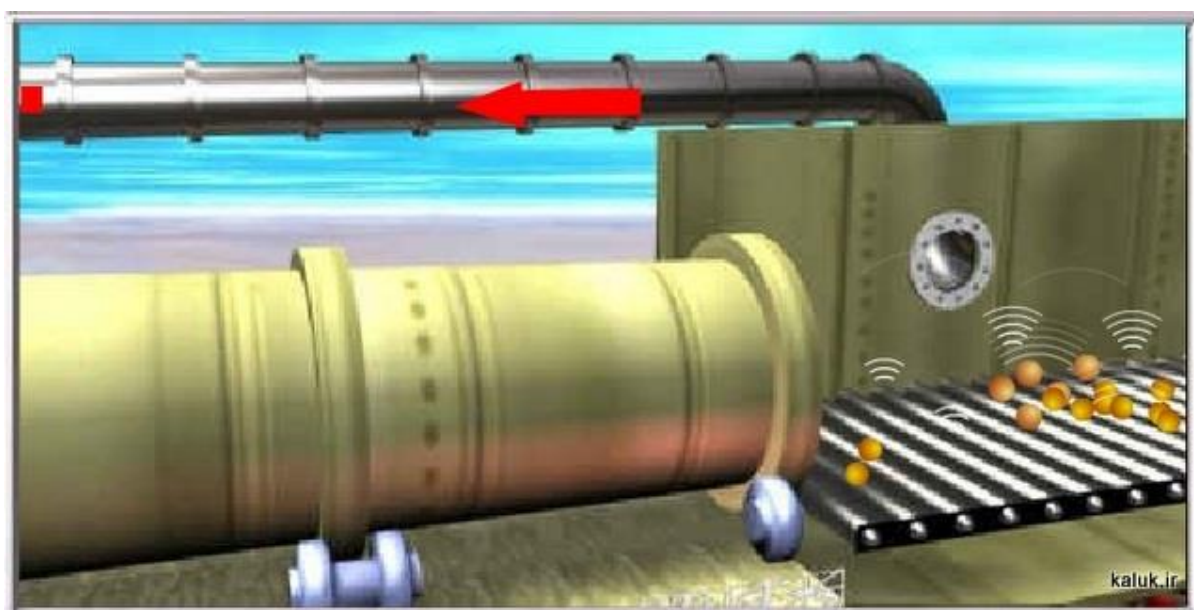


شکل ۹- ۱ کوره سیمان پزی

---

<sup>۱</sup>Calcliner

درجه حرارت کلینکر خروجی از کوره حدود ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد است و این مقدار حرارت موجود در کلینکر به وسیله جریان هوای سرد بازیابی می‌شود. سپس کلینکر خنک شده (تا حدود ۱۰۰ درجه سانتیگراد) راهی انبار کلینکر می‌گردد. بخشی از هوای گرم شده از طریق کانال هوای سوم به سمت کلساینر می‌رود و بخشی دیگر وارد کوره می‌شود و اکسیژن مورد نیاز سوخت را تامین می‌کند.



شکل ۱۰-۱ خنک کن کلینکر

به کلینکر خروجی از کوره حدود ۴ درصد سنگ گچ افزوده می‌شود و سپس در آسیاب سیمان پودر می‌گردند. قبلاً سنگ گچ (گچ خام) در خردکن جداگانه‌ای به اندازه‌های کمتر از ۴ سانتیمتر خرد شده و سپس در قیف مربوطه ذخیره شده است. سرعت ترکیب پودر کلینکر با آب بسیار شدید است و به همین خاطر از سنگ گچ برای کنترل این ترکیب و گیرش سیمان استفاده می‌شود.



شکل ۱۱- ۱ آسیاب کلینکر و ترکیب توپ های فولادی با کلینکر

از طریق دو نوار تغذیه مجهز به سیستم توزین، سنگ گچ خرد شده و کلینکر وارد آسیاب گلوله‌ای می‌شوند و پس از پودر شدن، پودر حاصله (سیمان) از طریق بالابر کاسه‌ای و هوایی (الواتر<sup>۱</sup> و ایرلیفت<sup>۲</sup>) به سیلوهای ذخیره سیمان فرستاده می‌شود.



شکل ۱۲- ۱ نمایی از سیلوی ذخیره سازی سیمان و کارخانه سیمان هگمتان

<sup>۱</sup> Elevator

<sup>۲</sup> Air Lift



در دهه اخیر استفاده از آسیابهای غلطکی برای پودر کردن کلینکر و تولید سیمان مرسوم شده است، از جمله در پروژه‌های سیمان تهران و فراز فیروزکوه برای دپارتمان آسیاب سیمان، آسیابهای غلطکی خریداری شده است.

با توجه به ظرفیت تولید کارخانه تعدادی سیلوی بتونی جهت ذخیره سیمان در نظر گرفته می‌شود. سپس سیمان به کمک دستگاههای بارگیری سیمان، فله یا بسته بندی و پرشدن، در کیسه بارگیری شده و از کارخانه صادر می‌گردد. وسیله حمل سیمان از کارخانه می‌تواند کامیون، واگن، قطار و یا کشتی باشد. چگونگی حمل بستگی به موقعیت کارخانه و محل مصرف دارد.



شکل ۱۳- ۱ حمل و نقل سیمان

بکارگیری کامپیوترهای قوی برای کنترل فرایند تولید، آن چنان گشایشی در کار ایجاد کرده است که حاصل کار این شده است که با نفرات و تجهیزات برقی- مکانیکی کمتر عملاً تولید بالاتر با هزینه کمتر تحقق یافته است و به مرزهای ایده‌آل نزدیکتر می‌شود. اداره یک کارخانه سیمان با چند ده نفر آن هم از راه دور هدف چندان دور از دسترسی نیست. درضمن کاهش نفرات، هزینه جاری تولید در بسیاری از زمینه‌ها به ارقام بسیار پایینی رسیده است.

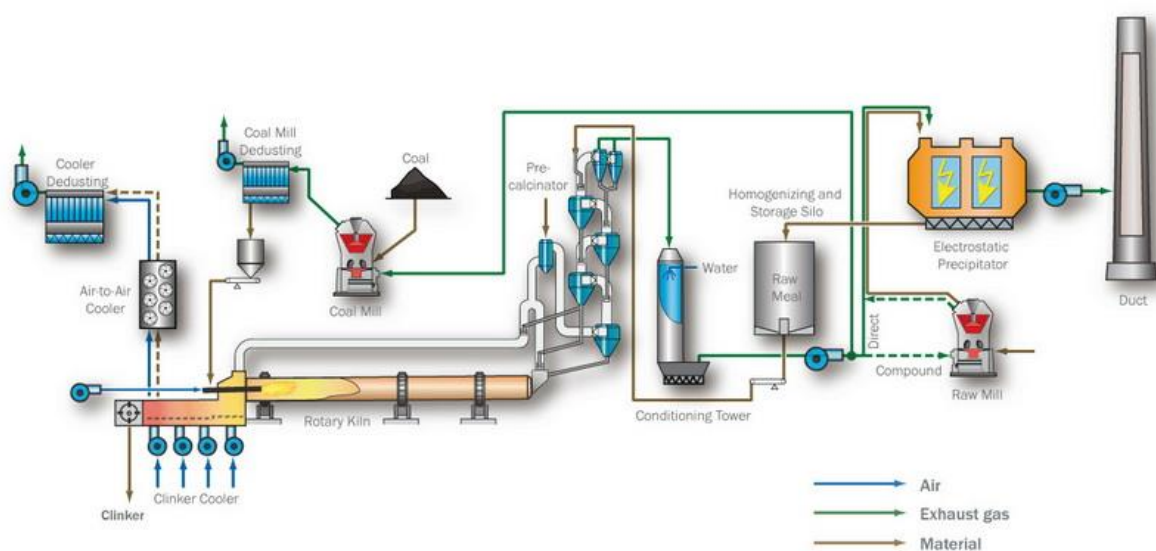


قلب واحدهای تولید سیمان کوره های دوار است. فرآیند تولید سیمان را با توجه به عنوان این پژوهش عموماً به سه بخش کلی تقسیم می کنیم:

۴- قبل از کوره (سنگ شکن، سالن ذخیره ی مواد، آسیاب مواد، سیلو های مواد)

۵- کوره (پیش گرمکن، کلساینر، کانال هوای سوم، کوره، خنک کن)

۶- بعد از کوره (آسیاب سیمان، سیلو های سیمان)



شکل ۱۴-۱ فرآیند تولید سیمان

ما در این پژوهش به قسمت دوم فرآیند تولید که در واقع کوره (سیستم پخت) هست، متمرکز شده ایم.

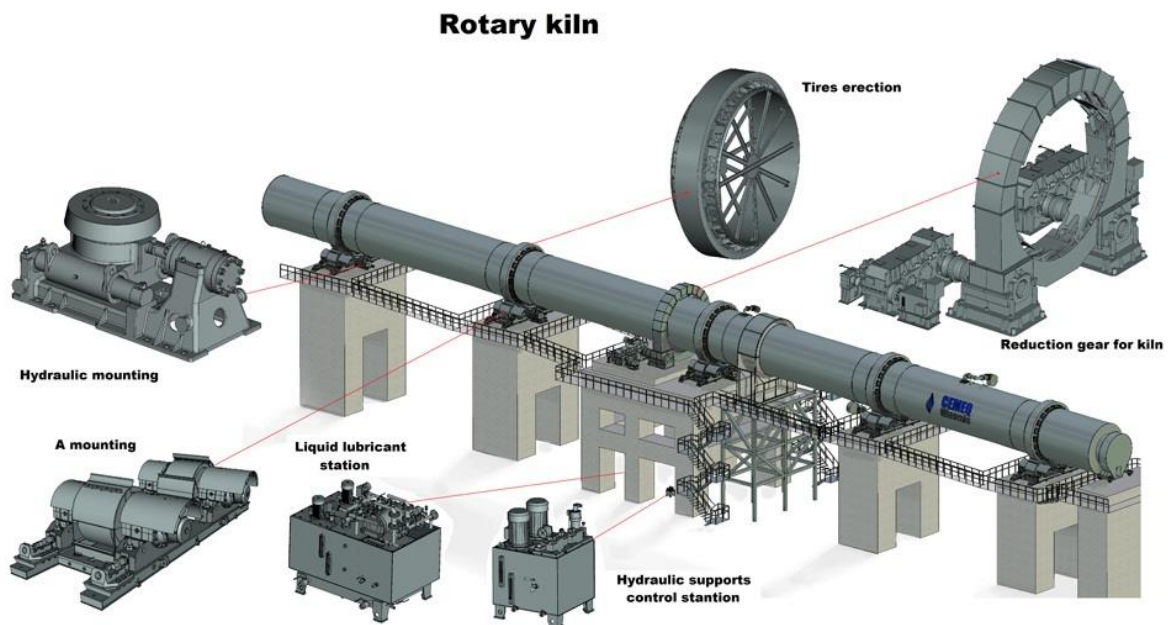
## **فصل دوم**

### **اجزاء سیستم پخت**

## مشخصه‌هایی از کوره دوار سیمان

کوره دوار سیمان عبارتست از یک استوانه فلزی که با شیب حدود ۳ تا ۴ درصد نسبت به افق روی چند پایه در حال چرخش است. در نقاطی از کوره که روی پایه قرار دارند یک رینگ (حلقه- تایر) جای داده شده است که کوره با اتکاء به این رینگ روی دو غلطک قرار می‌گیرد.

تقریباً در اواسط کوره (متماثل به سمت ورود مواد خام) چرخ دنده بزرگی به صورت حلقه دور کوره قرار دارد که توسط این چرخ دنده و پینیون واقع در روی پایه مقابل دنده و با سیستم موتور گیربکس متصل به پینیون، حرکت دورانی کوره تامین می‌شود.



شکل ۱-۲ اجزای اصلی کوره ی دوار

در انتهای خروجی کوره مشعل کوره قرار دارد که می‌تواند با سوخت مایع، گاز، ذغال سنگ، سوخته‌های جایگزین و یا مخلوط اینها (بستگی به طرح مشعل) کار کند و حرارت لازم برای پخت مواد را تامین نماید. جریان مواد خام از عقب کوره (ورودی کوره) به سمت جلو (در جهت سرازیری) و جریان گاز حاصل از سوختن در خلاف جهت مواد می‌باشد. جریان گاز به سمت عقب کوره به دلیل وجود یک مکنده (فن) بسیار

قوی در عقب کوره و یا انتهای سیستم پخت است که مکش لازم را ایجاد می‌نماید. حرکت مواد به سمت جلو کوره به علت شیب کوره و حرکت دورانی کوره می‌باشد.



شکل ۲-۲ نمایی از کوره ی دوار سیمان

#### ۲-۱-۱- غلطک‌ها

در هر پای کوره دو غلطک وجود دارد که با زاویه حدود ۳۰ درجه نسبت به محور عمودی مقطع کوره قرار گرفته‌اند. هر یک از این غلطک‌ها از طریق شافت غلطک روی دو عدد یاتاقان روغنی که به وسیله جریان آب خنک می‌شوند قرار دارند. معمولاً پهنای غلطک‌ها بیش از پهنای رینگ کوره است و رینگ کوره دارای اتکا لازمه برای انبساط حرارتی طولی کوره، می‌باشد.



شکل ۲-۳ غلطک کوره

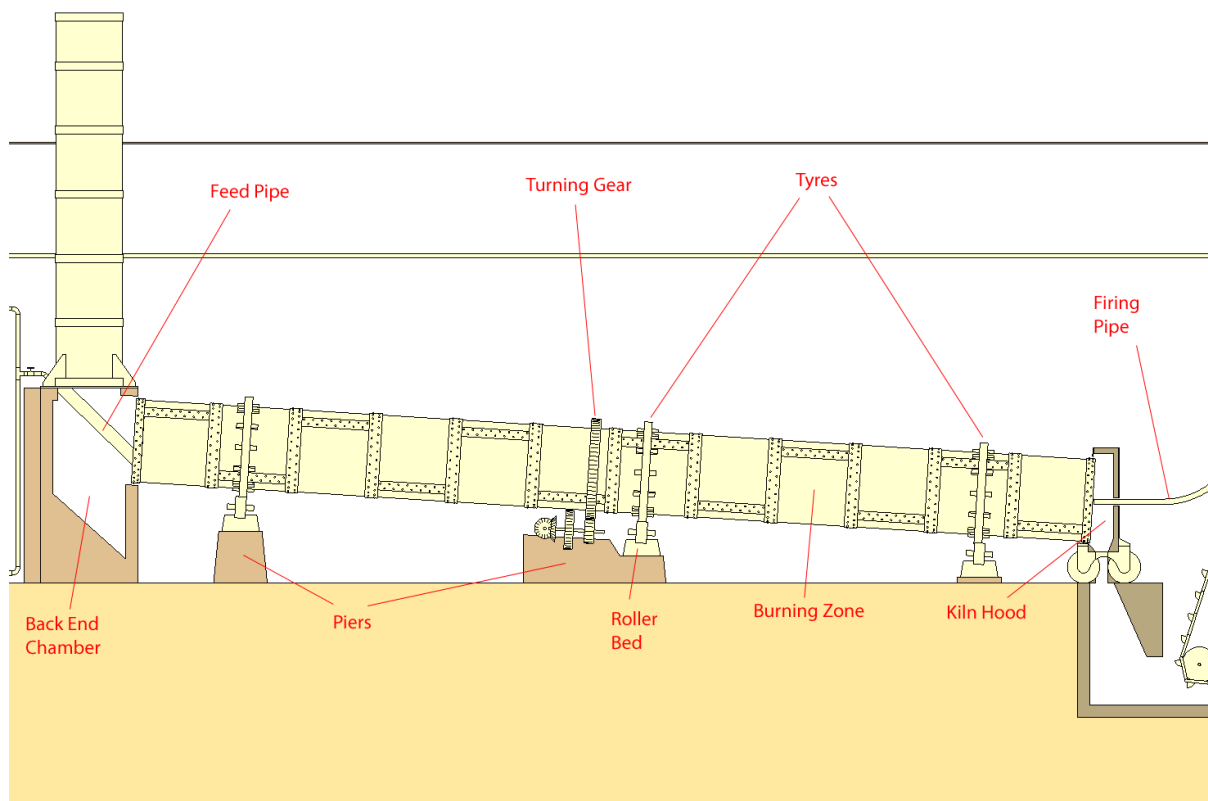


## ۲-۱-۲- غلطک بالابر

در کوره‌های بزرگ به منظور کنترل سرعت بالا و پایین رفتن کوره و لغزش رینگ غلطک‌ها، در زیر کوره و در پایه‌های اول و دوم غلطک (جک) بالابر قرار می‌دهند، این غلطک‌ها دارای محور عمودی بوده و از کنار رینگ کوره توسط هیدرولیک حرکت رفت و برگشت کوره را تنظیم می‌نمایند. در برخی کوره‌ها (خصوصاً کوره‌های کوچکتر)، غلطک‌های بالابر فاقد سیستم هیدرولیک بوده و ثابت می‌باشند و فقط باعث جلوگیری از پایین آمدن زیاده از حد کوره می‌باشند.

## ۲-۱-۳- سیستم چرخاننده کوره

سیستم چرخاننده کوره متشکل از یک دنده بزرگ دو تکه که دور کوره سوار شده و دو عدد پینیون (در کوره‌های کوچک ۱ عدد)، می‌باشند. دنده بزرگ به وسیله پینیون چرخیده می‌شود و پینیون‌ها از طریق سیستم کوپلینگ، به گیربکسهای اصلی و موتور کوره متصل می‌گردند. همچنین برای مواقع اضطراری گرم کردن و یا سرد کردن کوره که نیاز به چرخاندن کوره با دور کم است، امکان اتصال این پینیون به گیربکس و موتور کمکی وجود دارد.



شکل ۴-۲ سیستم چرخاننده کوره

دنده و پینیون کوره توسط حفاظی، برای جلوگیری از ورود گرد و خاک محفوظ شده‌اند و به وسیله سیستم گریس پاش اتوماتیک دائماً گریسکاری می‌شوند (در این قسمت از گریسهای گرافیتی استفاده می‌شود). موتور کوره جریان مستقیم است و دور آن متغیر می‌باشد. معمولاً قدرت موتور کوره دو برابر قدرت مورد نیاز در شرایط کار عادی، می‌باشد. برای موارد اضطراری یک دستگاه موتور بنزینی برای هر یک از پینیونها اختصاص داده شده است.

#### ۴-۱-۲- آب بندی سر و ته کوره

در دهانه ورودی و دهانه خروجی کوره برای جلوگیری از نفوذ هوای بیرون به داخل کوره از یک سری کفشک یا شمشهای گرافیتی و یا طرحهای دیگر جهت پوشش و آب بندی دهانه های کوره استفاده می‌شود. آب بندی دهانه ورودی به منظوره‌های زیر می‌باشد:

الف) جلوگیری از ازدیاد حجم گاز خروجی (به دلیل اضافه شدن هوای نفوذی) در نتیجه بالا نرفتن مصرف انرژی فن و کالری مصرفی.

ب) جلوگیری از افت درجه حرارت عقب کوره.

هدف از آب بندی دهانه خروجی کوره، جلوگیری از نفوذ هوا به داخل کوره می‌باشد. در صورت نفوذ هوا، هوای ثانویه متلاطم می‌شود و مضافاً اینکه درجه حرارت منطقه پخت پائین خواهد آمد. با توجه به انبساط طولی کوره، طرح این در پوشها آنچنان است که امکان پس و پیش رفتن را دارند و در هر حالت از کوره، در تماس با دهانه‌ها می‌باشند.

#### ۲-۲- نسوزکاری کوره

حداقل درجه حرارت در داخل کوره‌های دارای پیش گرم کن ۹۰۰ درجه سانتیگراد و حداکثر درجه حرارت مقداری کمتر از درجه حرارت شعله می‌باشد. در منطقه پخت درجه حرارت لازم برای پخت کلینکر حدود ۱۴۵۰-۱۳۵۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. با توجه به اینکه بدنه کوره از جنس آهن می‌باشد و آهن در ۴۰۰ درجه سانتیگراد از جنبه مکانیکی ضعیف و شروع به خم شدن و تغییر شکل دادن می‌کند، ضرورت ایجاد حفاظ و سپر در مقابل این حرارت محرز می‌گردد. اضافه بر مورد فوق، مواد جاری در داخل کوره در درجات حرارت بالا قابلیت ترکیب با بدنه را دارند و از این رو ایجاد پوششی که بتواند از تهاجم مواد به بدنه جلوگیری کند، ضرورت اساسی دیگری است.

کوره فقط یک استوانه ساده نیست و دارای دستگاهها و قطعات جنبی نظیر رینگ، غلطک، موتور، گیربکس کوره، غلطک بالابر، دنده اصلی، پینیون و سایر قطعات و دستگاهها نیز می‌باشد. این قطعات و دستگاهها همگی از جنس آهن و یا فولاد ریخته‌ای می‌باشند، قدرت تحمل آنها با افزایش درجه حرارت کاهش می‌یابد و احتمال خطرات جدی برای آنها وجود دارد. از این رو می‌بایستی درجه حرارت بیرون بدنه کوره و میزان انتقال حرارت به بیرون کوره در حدی باشد که ایجاد عارضه برای قطعات و دستگاههای مذکور ننماید، مضافاً اینکه اتلاف انرژی کاهش یابد.

برای نیل به منظورهای فوق پوششی از مواد نسوز (دیگر گداز) در داخل کوره قرار می‌دهند. شکل، جنس و نوع این پوشش در نقاط مختلف کوره متفاوت است. قسمت اعظم آن به شکل آجر می‌باشد و بخش مختصری، از مواد نسوز ریختنی است.

### ۳-۲- مشخصه‌هایی از پیش گرم‌کن

پیش گرم کن معمولاً شامل چهار یا پنج سیکلون است که روی یکدیگر قرار گرفته‌اند و به منظور بهتر جدا شدن مواد از گاز، سیکلون آخر به صورت دوقلو ساخته شده است. سیکلونها به وسیله کانالهایی به یکدیگر وصل شده‌اند هر سیکلون همراه با کانال انتقال گاز را یک مرحله می‌گویند و از بالا به پایین دارای شماره یک تا چهار می‌باشند. انتهای قیف سیکلونها متصل به لوله انتقال مواد است که از هر سیکلون به کانال گاز سیکلون زیر متصل شده است. لوله مواد مربوط به سیکلون آخر به ورودی کوره وارد می‌شود.

رمز اصلی وجود سیکلونها، ایجاد محیط گردبادی جهت انتقال سریع حرارت بین گاز و جامد است که نهایتاً پس از تبادل حرارت به دلیل فرم قیفی شکل ته سیکلون مواد جامد از گاز جدا شده و از ته سیکلون خارج می‌شود. گاز جدا شده از مواد، از بالای سیکلون خارج می‌گردد. در مورد گرم شدن و جدا شدن ذرات مواد از فاز گازی موارد زیر قابل ذکر است:

۱- هر چقدر اندازه ذرات کوچکتر و ریزتر باشد انتقال حرارت سریعتر صورت می‌گیرد.

۲- جنس ذرات در سرعت گرم شدن آنها موثر است به عنوان مثال در فاصله زمانی ۰/۱ ثانیه یک ذره سنگ آهک به قطر ۰/۱ میلیمتر تا ۵۵۰ درجه سانتیگراد گرم می‌شود. و در همین فاصله زمانی یک ذره سنگ سیلیس به قطر ۰/۱ میلیمتر تا ۶۵۰ درجه سانتیگراد گرم می‌شود.

۳- با توجه به اینکه سرعت جدا شدن ذره از گاز متناسب با مجذور قطر آن می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که ذرات درشت فرصت لازم برای انتقال حرارت کافی را ندارند از این روست که با قرار دادن چند سیکلون به دنبال یکدیگر و فراهم آوردن فرصت کافی، نهایتاً مواد خروجی از آخرین سیکلون تقریباً دارای درجه حرارتی برابر درجه حرارت گاز خروجی از کوره می‌شوند.

در پیش گرم کن عمل انتقال حرارت در کانالهای انتقال گاز صورت می‌گیرد. (۸۰ درصد در کانالها و ۲۰ درصد در سیکلونها). در پیش گرم کن چهار مرحله‌ای گاز خروجی از سیستم حدود ۳۳۰ درجه سانتیگراد درجه حرارت دارد، از این رو می‌توان برای خشک کردن مواد خام دارای تا ۸/۵ درصد رطوبت از آن استفاده کرد.

زمان توقف خوراک کوره در یک پیش گرم کن چهارم مرحله‌ای دارای ارتفاع ۵۰ متر (از نقطه ورود مواد خام به سیکلون تا نقطه ورود مواد خام به کوره) حدود ۲۵ ثانیه می‌باشد. در طول این مدت زمان درجه حرارت مواد خام از ۵۰ درجه سانتیگراد به ۸۰۰ درجه سانتیگراد می‌رسد و در این فاصله درجه حرارت گازهای خروجی از کوه از رقم ۱۱۰۰ به ۳۳۰ درجه سانتیگراد، تنزل می‌نماید.

سرعت سیر گاز و جامد در کانالها برابر ۲۲ تا ۲۰ متر در ثانیه است و ابعاد سیکلونها باید آنچنان باشد که مواد جامد فرصت جدا شدن از گاز و راهی شدن به سوی لوله‌های انتقال مواد خام را داشته باشند. حجم گاز حاصل از عمل سوختن در داخل کوره و سرعت این گاز در کانالها فاکتورهای تعیین کننده ابعاد و اندازه پیش گرم کن می‌باشند.

لوله‌های انتقال مواد بین سیکلونها و ورودی به کوره توسط مواد نسوز ریختنی نسوز کاری شده‌اند. ارتفاع قسمت استوانه‌ای سیکلون، به دلیل نقش کم اهمیت آن تا حد امکان پایین نگه داشته می‌شود بدین وسیله از افت فشار بیشتر جلوگیری و ارتفاع کلی پیش گرم کن نیز کم می‌گردد. سیکلونهای مرحله اول، صرفاً به منظور جداسازی بهتر مواد از گاز، دوقلو ساخته می‌شوند. افت فشار در هر سیکلون بین ۴۰-۵۰ میلیمتر جیوه است. مقدار گاز خروجی از پیش گرم کن بر مبنای یک کیلوگرم کلینکر برابر ۱/۵ تا ۱/۴ مترمکعب است.

#### ۴-۲- مسیر فرعی

برای احتراز از گرفتگی و تشکیل کوتینگ حاصل از سیکلهای مواد قلیایی راههای متفاوتی وجود دارد که از جمله آنها، تغییر نوع مواد اولیه (در صورت امکان)، تغییر نوع سوخت، تغییر نحوه کار و راهبری کوره می‌باشد. در صورتیکه این تغییرات مثرتر قرار نگیرد می‌بایستی به طریقی مواد قلیایی را از سیستم خارج



کرد. برای این منظور مقداری از گازهای خروجی از انتهای کوره را از سیستم خارج نموده و پس از عبور دادن آن از گردگیرهای سیکلونی یا الکترواستاتیکی ذرات و مواد داخل آن را جدا می‌نمایند و گاز تصفیه شده را یا به محیط اطراف می‌فرستند و یا اینکه راهی سیکلون مرحله دوم می‌نمایند.

دلیل اینکه گاز مسیر فرعی از ورودی کوره منشعب می‌شود، این است که غلظت مواد قلیایی در گاز در این نقطه دارای حداکثر مقدار می‌باشد و در ضمن تنها محل مناسب برای ایجاد مسیر فرعی است.

#### ۵-۲- سیستم تکلیس (کلساینر)

نکته‌ای که باعث ابداع سیستم تکلیس گردید وجود این واقعیت بود که اصولاً کوره به عنوان یک وسیله تبادل حرارت بین فاز گاز و فاز جامد در بخش منطقه پخت می‌تواند بازده انتقال حرارت بالایی داشته باشد. دلیل این امر این است که در منطقه پخت عملاً انتقال حرارت از طریق تشعشع صورت می‌گیرد. در نقاط دیگر کوره که تبادل حرارت از طریق غیر از طریق تشعشع است، حضور فرمهای دیگری همانند سیکلون می‌تواند بازده بیشتری داشته باشد. صحت این موضوع پس از ابداع پیش گرم کم سیکلونی و مشاهده اثرات و بازده بسیار چشمگیر فضای گردبادی در انتقال حرارت بین فاز گاز و جامد، عملاً به اثبات رسید.

بر این اساس کمپانی ژاپن سیستم کلساینر را در سال ۱۹۶۹ به صنعت سیمان عرضه کرد. (بوکائیان، "کوره های دوار سیمان، مواد نسوز و مصالح ساختمانی" ۱۳۷۶ ۱۱۱۱). قسمت تکاملی این سیستم نسبت به سیستم پیش گرم کن اضافه کردن یک مجموعه مشعل در انتهای سیکلون آخر و قبل از ورود مواد به کوره است که این مجموعه مشعلها و محفظه آن به نام دستگاه تکلیس یا راکتور نامیده می‌شود، زیرا که عملاً وظیفه آن بالا بردن درصد کلیسناسیون مواد خام تا بالای ۹۰ درصد می‌باشد.

براساس این طرح بخش عمده‌ای از طول کوره که اختصاص به تکلیس مواد دارد حذف می‌گردد و به نتیجه بار حرارتی اعمال شده روی کوره کاهش می‌یابد و به راحتی ظرفیت آن تا سه برابر کوره مشابه بالا می‌رود. به دلیل سادگی این سیستم امکان اضافه کردن آن به کوره‌های دارای پیش گرم کن وجود دارد و بسته به نوع خنک کن کوره می‌توان ظرفیت کوره را بین ۲۰ تا ۶۰ درصد افزایش داد.

## ۶-۲- مشخصه هایی از خنک کن

خنک کردن کلینکر روی ساختمان کریستالی، ترکیب کانی شناسی، قابلیت خرد شدن و نهایتاً کیفیت سیمان تاثیر دارد. اصولاً به دلیل زیر خنک کردن کلینکر ضرورت دارد:

۱- نقل و انتقالات کلینکر داغ بسیار مشکل است.

۲- کلینکر داغ اثرات منفی و مخربی روی دستگاههای خردکن (آسیاب سیمان) دارد.

۳- حرارت قابل بازیابی در کلینکر حدود  $200 \text{ Kcal/Kg}$  می باشد که بازیابی آن نقش عمده ای در پایین آمدن قیمت تمام شده محصول دارد.

۴- خنک کردن مناسب و مطلوب کلینکر، کیفیت سیمان را بالا می برد.

سرعت خنک کردن کلینکر روی نسبت فاز کریستالی به فاز شیشه ای موجود در کلینکر موثر است. در شرایطی که کلینکر آهسته خنک می شود، کریستالهای اغلب اجزاء تشکیل دهنده کلینکر فرصت شکل گیری و درشت تر شدن را دارند، درحالیکه سریع سرد کردن کلینکر مانع درشت شدن کریستالها است و باعث می گردد فاز مایع موجود در کلینکر سریعاً منجمد شده و به صورت شیشه ای درآید. ثبات حجمی، سالم بودن و بی عیب بودن ملاط حاصل از سیمان بستگی به اندازه کریستالهای پریکلاس<sup>۱</sup> دارد. این کریستالها با جذب آب افزایش حجم پیدا می کند. و بالنتیجه هرچقدر کریستال بزرگتر باشد سرعت جذب آب در آن کمتر از سایر مینرالهای کلینکر بوده و وجود این مشخصه به سلامت ملاط سیمان لطمه وارد می سازد. بزرگترین اندازه ذرات پریکلاس که به سختی به سلامت سیمان در حال گیرش می تواند لطمه بزند حدود ۸ میکرون می باشد. آهسته سرد کردن کلینکر باعث تشکیل کریستالهای پریکلاس تا ۶۰ میکرون می شود. به تجربه ثابت شده است که انبساط حجمی سیمانی که دارای ۴٪ پریکلاس با ابعاد تا ۵ میکرون می باشد برابر انبساط حجمی سیمانی است که دارای تا ۱٪ پریکلاس با ابعاد ۳۰-۶۰ میکرون است.

---

<sup>۱</sup> Pryklas crystals

براساس استاندارد ASTM درصد انبساط حجمی سیمان پرتلند به طریقه اتوکلاو نبایستی بیش از ۰/۸ درصد باشد. کلینکری که به آرامی خنک شده باشد و دارای ۲/۵ درصد پریکلاس باشد. معمولاً در آزمایش اتوکلاو جواب منفی می‌دهد، به عکس اکسید منیزی می که شیشه‌ای شده باشد زیانی به سلامت سیمان وارد نمی‌سازد. این مشاهدات موید ضرورت سریع سرد کردن کلینکر و سودجویی از حرارت آن برای گرم کردن هوای لازم برای سوخت کوره می‌باشد. همچنین این ضرورتها نقش و اثری تعیین کننده در توسعه و گسترش خنک کن‌های کلینکر دارند.

## ۷-۲- اتاق کنترل

اطاق کنترل بخشی از سیستم اتوماسیون یک کارخانه سیمان می‌باشد و هدف از اتوماسیون به تعبیری اتوماتیک‌تر کردن کارهایی است که باید در یک کارخانه صورت بگیرد، اعم از کارهای کنترل کیفی و کمی مواد اولیه، مواد واسطه و محصول، کارهای سنجش و اندازه‌گیری فشارها، درجه حرارت‌ها، کیلووات‌ها و آمپرهای مصرفی و سنجش سایر متغیرها- کنترل راه‌اندازی و توقف منطقی و پشت سرهم دستگاهها و صدور فرمانهای لازم- انجام محاسبات لازم روی عوامل مختلف دخیل در تولید و چگونگی کار دستگاهها و ده‌ها مورد دیگر.

## ۸-۲- سوخت رسانی و مشعل

مواد سوختنی فراوان هستند و اصولاً با توجه به شرایط فیزیکی سوختها تقسیم‌بندی می‌گردند. سوختها ممکن است جامد- مایع و گازی باشند. سوخت جامد شامل ذغال سنگ و ضایعاتی نظیر لاستیک کهنه اتومبیل- خرده چوب و تفاله‌های چغندر است. این نوع سوختها در کشورهای اروپائی بیشتر مورد مصرف دارند. در ابتدای پیدایش صنعت سیمان اصولاً ذغال سنگ یا کک مصرف عام داشت.

در ایران به دلیل وفور نفتی از سوخت مایع(نفت کوره) و سوخت گاز(گاز طبیعی تصفیه شده) استفاده می‌گردد. در مآخذ مختلف می‌توان چگونگی تکنیک آماده سازی و کاربرد هر یک از این سوختها و موارد امتیاز هر یک به دیگری را بدست آورد.

ذکر این نکته نیز ضروری است که در موارد زیادی از مخلوط دو نوع سوخت مثلاً سوخت گاز و سوخت مایع نیز استفاده می‌گردد که البته مشخصه‌های شعله و حرارت اینچنین مخلوطی دارای تفاوت‌های اصولی با هر یک از دو سوخت مورد استفاده است. سوخت مایع ترکیبی از هیدروژن و کربن می‌باشد. در اثر سوختن کربن تبدیل به انیدرید کربنیک، هیدروژن تبدیل به آب و سایر اجزاء نظیر گوگرد نیز تبدیل به اکسید می‌گردند. اکسیدهای بدست آمده در درجه حرارت گازهای خروجی کوره همگی به صورت گاز می‌باشند و قانون گازها در مورد آنها صادق است.

### ۱-۸-۲- اصول سوختن و کنترل شعله

در سیستم پخت کوره سیمان یکی از مهمترین قسمت‌ها، قسمت سوخت رسانی است که متشکل از دستگاه‌های آماده سازی گرم کن و مشعل می‌باشد و شناخت نسبت به این قسمت از جمله ضرورت‌های کار یک کوره بان می‌باشد. علاوه بر نقش اساسی این قسمت در نحوه کار کوره. کیفیت محصول و تداوم عمر آجر نسوز. از جنبه اقتصادی نیز چگونگی کار با سیستم سوخت و استفاده از نهایت بازده حرارتی سوخت دارای اهمیت خاص خود می‌باشد.

سوخت عبارتست از ماده قابل اشتعال که در اثر سوختن تولید حرارت می‌نماید و سوختن عبارتست از ترکیب شدید ماه سوختنی با اکسیژن (اکسیداسیون شدید) که در اثر این ترکیب عموماً حرارت به همراه شعله تولید می‌گردد.

سوختن شامل مراحل زیر است:

۱- آماده‌سازی و گرم کردن ماده سوختنی. در صورتیکه ماده سوختنی جامد باشد نظیر ذغال سنگ یا سایر ضایعات سوختنی می‌بایستی قبلاً به صورت پودر و یا ذرات ریز درآیند. در صورتیکه ماده سوختنی مایع سفت نظیر نفت کوره باشد، می‌بایستی قبل از استفاده آنقدر درجه حرارت آن بالا برده شود که قابلیت پمپ شدن و به صورت قطرات ریز و پودر مانند درآمدن را داشته باشد.

۲- مخلوط شدن ماده سوختنی با عامل سوختن: که این عمل در سیستم مشعل کوره و از اختلاط سوخت با هوا حاصل می‌آید.

۳- بالا بردن درجه حرارت مخلوط فوق تا رسیدن به درجه حرارت اشتعال: که در این درجه حرارت مخلوط سوخت و هوا، فعل و انفعال سوختن صورت گرفته و شعله ایجاد می‌گردد.

۴- هدایت حرارت و شعله حاصله در جهت انتقال آن به ماده‌ای که هدف پختن و حرارت دادن آن می‌باشد.

در سیستم پخت سیمان این حرارت در منطقه پخت کوره و سایر قسمت‌ها به طرق زیر منتقل می‌گردد:

الف- به دلیل بالا بودن درجه حرارت در منطقه پخت قسمت اعظم انتقال حرارت به طریق تشعشع صورت می‌گیرد. مقداری از حرارت تشعشعی به وسیله مواد جذب می‌گردد و مستقیماً صرف پختن مواد، گداخته شدن آن و تشکیل فازهای کلینکر می‌شود. قسمت دیگری از حرارت تشعشعی به وسیله آجر نسوز و یا کوتینگ روی آن جذب شده و ضمن چرخش کوره به هنگام قرار گرفتن زیر مواد به مواد منتقل می‌گردد.

ب- به دلیل جریان هوا و گاز حاصل از سوختن و وجود مکش در عقب کوره مقدار زیادی از این حرارت به وسیله گاز حاصل از سوختن جابجائی به قسمت‌های عقب تر کوره منتقل گشته و با گرم کردن بدنه کوره و پیش گرمکن و همچنین مخلوط گشتن با مواد (ایجاد فضای گردبادی انتقال حرارت بین جامد و گاز) نهایتاً باعث خشک شدن، گرم شدن، کلسینه شدن و پختن مواد می‌گردد.

ج- به دلیل تفاوت زیاد درجه حرارت شعله، مواد، کوتینگ، نسوز کاری و نهایتاً بدنه کوره و پیش گرمکن با درجه حرارت محیط، مقداری از حرارت حاصله به طریق هدایت و تشعشع به فضای بیرون منتقل می‌گردد.

## ۲-۸-۲- شعله

شعله آن قسمت از جریان سوخت و هواست که فعل و انفعال سوختن در آن صورت می‌گیرد (ضرورت ندارد که حتماً قابل رویت باشد). شعله‌ها را برحسب نوع جریان آنها و چگونگی اختلاط آنها با هوا به ۳ گروه زیر تقسیم می‌نمایند:



۱- شعله خطی(منظم) که همانند شعله بخاری خانگی و شعله شمع می باشد.

۲- شعله درهم مانند شعله کوره ها و تنوره های معمولی

۳- شعله مختلط که برای بدست آوردن آن ابتدا و قبل از سوختن، سوخت و هوا با یکدیگر مخلوط می گردند.

در صنعت سیمان نوع سوم مورد استفاده است.

### ۳-۸-۲- درجه حرارت شعله

با توجه به اینکه قسمت زیادی از انتقال حرارت به طریقه تشعشع صورت می گیرد، پس ضرورت و نقش درجه حرارت شعله محرز می گردد. عوامل موثر روی درجه حرارت شعله عبارتند از:

#### الف- نوع سوخت

به طور کیفی درجات حرارت شعله در نقاط مختلف شعله برای انواع سوخت عبارتند از:

۱- فاصله نقطه حداکثر درجه حرارت تا سر مشعل بستگی به جنس سوخت دارد و نفت کوره دارای حداقل فاصله است.

۲- حداکثر درجه حرارت شعله بستگی به نوع سوخت دارد و گاز طبیعی دارای بالاترین رقم است. در مواقع تعویض نوع سوخت به نوع دیگر برای رسیدن به درجه حرارت ماکزیمم، یک سری کنترلها نظیر تغییر سرعت(فشار) سوخت، تعویض سر مشعل و یا تغییر چگونگی و چرخش سوخت انجام می شود.

#### ب- نسبت هوا

یکی دیگر از عوامل موثر روی درجه حرارت شعله نسبت هوا می باشد.

## ج- هوای اولیه

مقدار هوای اولیه دارای تاثیر روی درجه شعله می‌باشد. البته چگونگی تاثیر آن به مقدار و درجه حرارت هوای ثانویه بستگی دارد که در قسمت (د) شرح داده خواهد شد. در قسمتهای بعد ملاحظه خواهد شد که نقش هوای اولیه بیشتر در طول و شکل شعله می‌باشد.

## د- مقدار و درجه حرارت هوای ثانویه

به طوریکه در قسمت (ب) ذکر گردید نسبت هوا دارای تاثیر روی درجه حرارت شعله می‌باشد از آنجایی که قسمت اعظم هوای سوخت همان هوای ثانویه می‌باشد، لذا مقدار هوای ثانویه و همچنین درجه حرارت آن دارای تاثیر اساسی روی درجه حرارت شعله هستند. به طوریکه ملاحظه می‌گردد:

۱- در مواردی که درجه حرارت هوای ثانویه حدود ۸۰۰ درجه سانتیگراد است افزایش نسبت هوای اولیه به ثانویه باعث پایین آمدن درجه حرارت شعله می‌گردد.

۲- در سایر موارد که درجه حرارت هوای ثانویه پایین است معمولاً افزایش نسبت هوای اولیه به ثانویه باعث افزایش درجه حرارت شعله می‌گردد.

۳- با توجه به اینکه در سیستم سوخت کوره سیمان مقدار هوای اولیه کمتر از ۱۰ درصد است و درجه حرارت هوای ثانویه حدود ۷۰۰-۹۰۰ درجه سانتیگراد است، لذا اثر تغییرات مقدار هوای اولیه به حداقل ممکن کاهش داده شده است.

## ه- سرعت جریان سوخت

سرعت جریان سوخت یا مخلوط سوخت و هوا دارای تاثیر اساسی روی طول شعله و همچنین فاصله نقطه حداکثر درجه حرارت تا سر مشعل می‌باشد. از چگونگی این تاثیرات می‌توان برای شعله مورد استفاده در کوره سیمان چنین نتیجه گرفت که:

۱- در شرایطی که سایر متغیرها ثابت مانده است، با افزایش سرعت خروج سوخت درجه حرارت ماکزیمم سوخت افزایش می یابد.

۲- با افزایش سرعت خروج سوخت درجه حرارت ماکزیمم شعله به سر مشعل نزدیکتر می شود.

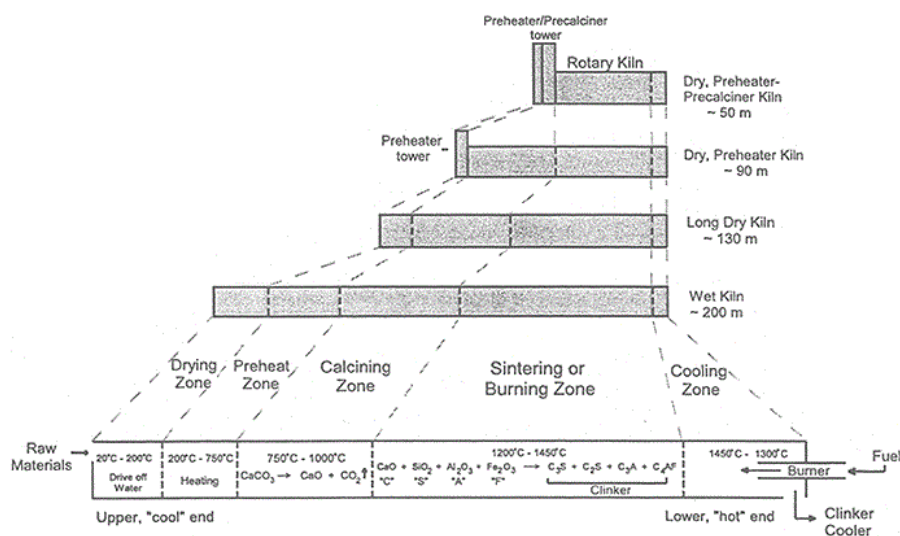
۳- با افزایش سرعت خروج سوخت طول شعله نسبتاً کاهش می یابد.

۴- با افزایش سرعت خروج سوخت حرارت آزاد شده از سوخت افزایش می یابد.

## فصل سوم

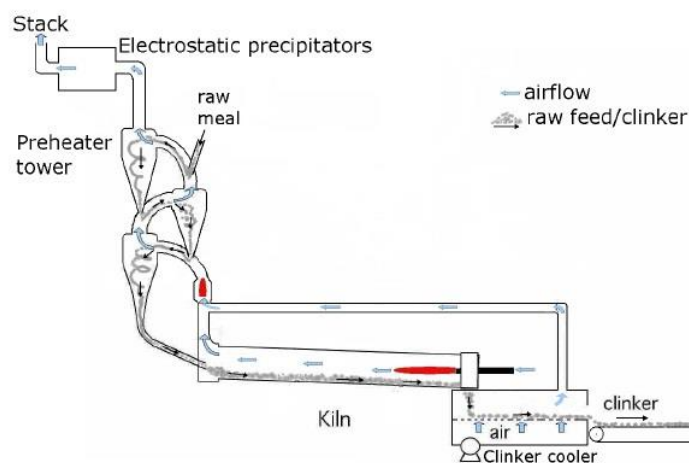
### پیشینه ی تحقیق

قبل از مدل سازی هر فرآیند ابتدا باید آن فرآیند را به درستی شناخت لذا در این قسمت مروری بر کوره و شناخت آن صورت گرفته است. به کارگیری کوره دوار در صنعت سیمان اولین بار توسط فردریک رانسوم<sup>۱</sup> در سال ۱۸۸۵ انجام گرفت و این اختراع که ۱/۵ متر قطر و ۷/۵ متر طول داشت در انگلستان به ثبت رسید و به تدریج، طی سال ها تحولات چشم گیری در ساخت کوره و نحوه تولید کلینکر پدید آمد. در شکل زیر (۳-۱) سیر تکاملی کوره ی دوار سیمان نشان داده شده است:



شکل ۳-۱ سیر تکاملی کوره ی دوار سیمان

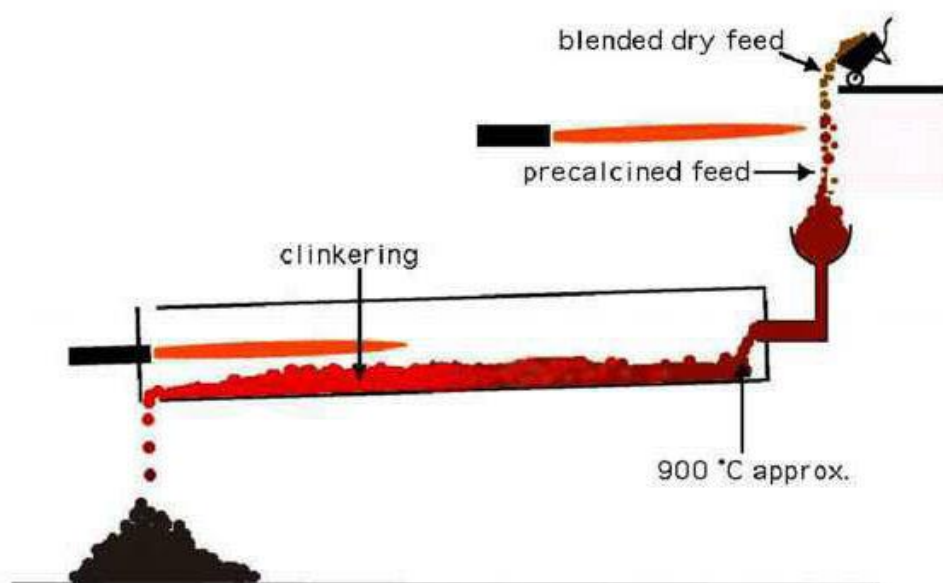
در شکل زیر (۳-۲) کوره با پیش گرم کن نشان داده شده است :



شکل ۳-۲ کوره با پیش گرم کن



در شکل زیر (۳-۳) کوره با پیش خشک کن نشان داده شده است :



شکل ۳-۳ کوره با پیش خشک کن

لیون<sup>۱</sup> و همکارانش شبیه سازی کوره دوار تولید سیمان به روش تر که در آن پروفیل دما و ترکیب تابعی از طول کوره است را با کامپیوتر انجام داده اند. ساس<sup>۲</sup> شبیه سازی انتقال حرارت در کوره دوار بدون واکنش شیمیایی که در مورد کوره سیمان تا قبل از شروع کلسیناسیون می تواند کاربرد داشته باشد را انجام داد. مانیتیوس<sup>۳</sup> و بلینگر<sup>۴</sup> به ترتیب مدل های ریاضی حالت پایدار کوره دوار اکسید آلومینیوم و دی اکسید تیتانیم را تشریح کردند. اسپنگ<sup>۵</sup> شبیه سازی دینامیکی کوره دوار سیمان را انجام داد، اما داده های آزمایشی برای برآورد دقت مدل در اختیار نداشت.

<sup>۱</sup> Lyon

<sup>۲</sup> Sass

<sup>۳</sup> Manitius

<sup>۴</sup> Belanger

<sup>۵</sup> Spang

متزگر<sup>۱</sup> مدل ریاضی ساده برای حالت پایدار کوره همراه با کولر مشبک ارائه کرد.

گروز<sup>۲</sup> مدل ریاضی کوره دوار را در حالت پایدار با تقسیم کوره به ده قسمت طولی و تاکید خاص روی محاسبه ضرایب نشر و سطوح انتقال حرارت تشعشعی انجام داد.

فریش<sup>۳</sup> مدل سازی ریاضی حالت پایدار کوره با پیش کلسیناتور بدون کانال هوای سوم را انجام داد.

به گفته ی بیشتر محققین و مهندسان صنعت سیمان کاملترین شبیه سازی دینامیکی کوره دوار توسط اسپنگ تشریح شده است. (موجودمدار و راناده "دینامیک سیالات محاسباتی در کوره دوار سیمان" ۱۳۹۰)

می توان معادلات ریاضی فرآیند را جهت مدل سازی به دست آورد. سپس با بررسی اثر تغییر متغیرهای روی مدل و تجارب حاصل از آن و نیز اطمینان از صحت و دقت مدل، می توان حالت بهینه و کنترل مناسب سیستم را مورد مطالعه قرار داد.

تاثیر افزایش دمای شعله بر میزان آلاینده ها بسیار حائز اهمیت است به طوری که میزان آلاینده ها با افزایش دما افزایش ناگهانی دارد. (زهره ماجدی اصل، امین سالم، سیامک شفقتیان، "تخمین دمای کوره های دوار سیمان با استفاده از شبکه های عصبی"، ۱۳۸۷).

با افزایش تعداد پیش گرمکن ها، مواد قبل از ورود به کلساینر با دمای بالاتری پیش گرم می شوند در نتیجه انرژی کمتری در کلساینر مصرف شده گر چه قیمت کل سرمایه اولیه افزایش می یابد. (رضوان بهفر، رضا بهفر، محمد رضا حسین زاده، "تحلیل پدیده های انتقال در کوره های دوار"، ۱۳۹۲).

---

<sup>۱</sup> Metzger

<sup>۲</sup> Guruz

<sup>۳</sup> Frisch

## **فصل چهارم**

### **شناخت متغیرهای کنترل سیستم پخت**

## ۱-۴- کنترل کوره

راهبری کوره هنر پیچیده‌ای است و اخیراً چندین سیستم کامپیوتری برای آن عرضه شده است. متغیرهای اساسی کنترل کوره عبارتند از :

۱- مقدار متعارف درجه حرارت منطقه پخت  $1500^{\circ}\text{C}$

۲- مقدار متعارف درجه حرارت عقب کوره  $1000^{\circ}\text{C}$

۳- مقدار متعارف درصد اکسیژن عقب کوره ۲درصد

با تنظیم سرعت چرخش کوره، مقدار سوخت و دور فن میتوان کوره را کنترل کرد. اغلب کوره‌ها چه به صورت دستی یا اتوماتیک هدایت شوند در هر حال در معرض خطر واژگونی هستند. این واژگونی و به هم خوردن تعادل می‌تواند ناشی از تشکیل رینگ، ریزش کوتینگ، هجوم مواد نپخته و یا گلوله شدن کلینگر باشد که در هر حال لازم است هدایت کوره را تا رسیدن به حالت تعادل به صورت دستی انجام داد.

غالباً باید از تغییر دور کوره به عنوان یک وسیله مناسب کوتاه مدت برای کنترل کوره (مثلاً کنترل هجوم بار) استفاده کرد و اصولاً کوره می‌باید همواره با دور ثابت کار کند. مکرراً ثابت شده است که بسیاری از کوره‌ها با دور ثابت بهتر از کوره با نسبت ثابت سرعت به مقدار خوراک، کار می‌کند. در موارد زیادی راهبری کوره به کمک دور فن است. در این حالت برای کاهش اکسیژن می‌باید مقدار سوخت و خوراک هر دو تنظیم و تصحیح شوند.

در کوره‌های مجهز به کلساینر، هوای داغ خنک کن از طریق مجرای میانی (کانال هوای سوم) به کلساینر فرستاده می‌شود. اغلب این کوره‌ها در ابتدا یا انتهای این مجرا دریچه‌ای دارند که از آن برای تنظیم و کنترل هوای ارسالی به دو مشعل‌های کوره و کلساینر استفاده می‌شود و با این کار مقدار سوخت مصرفی در مشعل‌ها تقسیم و تنظیم می‌گردد. درصد اکسیژن در ته کوره در حد ۲-۳ درصد نگهداشته می‌شود.

مجدداً تاکید می‌شود که پایداری کوره، بازده حرارتی سیستم پخت، قدرت مصرفی در آسیاب سیمان و کیفیت سیمان تولیدی به مقدار زیادی بستگی به تامین خوراک کوره‌ای دارد که از جنبه ترکیب شیمیایی و کمیت حداقل نوسان را دارد.

باید نسبت به علائم و هشدارهایی که ابزارهای سنجش و گزارشات کتبی می‌دهند کنجکاو بود و از موارد اطلاعات غلط ناشی از جنبه‌های زیر غافل نبود:

علائم غلط ابزارهای سنجش خصوصاً فشارسنج‌ها و دستگاههای آنالیز گاز

تغییرات کوتاه مدت که در سایه انبوه علائم الکترونیکی پنهان می‌شوند.

نوسانات دستگاه تغذیه خصوصاً در مواردی که مواد یا چسبنده و یا نرم و خشک می‌باشند.

ظاهر کلینکر روشن‌تر بسیاری از خصوصیات آن است. ترجیحاً می‌باید سیاه رنگ و درخشان باشد، سخت باشد ولی نسوخته باشد، مقدار نرمه و دانه‌های خاکستری تیره در آن کم باشد.

دانه‌های کلینکر با مغز روشن معمولاً در اثر وجود شرائط احیاءکننده در کوره و یا غلظت بالای بلیت و یا سولفات می‌باشد که از تبدیل  $Fe^{2+}$  به  $Fe^{3+}$  در مرحله خنک کردن پدید می‌آید. از جمله دلایل این پدیده نوسان در ترکیب و مقدار خوراک کوره و یا کمی شدت تبخیر سولفور در کوره هم می‌تواند باشد.

برخی علائم در کوره جنبه بحرانی دارند، جدای از علائم مکانیکی متعارف و کنترل درجه حرارت بدنه کوره از جنبه وضعیت نسوزکاری داخل آن، در مورد احتمال وقوع انفجار باید دقت ویژه‌ای داشت. تجزیه گاز در انتهای کوره و ورودی الکتروفیلتر کار متعارفی است. وجود CO بیش از ۱ درصد باعث هشدار(آلارم) می‌شود و بالاتر از مدار ۲درصد آن باعث قطع سوخت و الکتروفیلتر خواهد شد. در هنگام گرم کردن کوره، وجود دستگاه بازبینی شعله غیرقابل اجتناب است و در صورت قطع شعله می‌باید بلافاصله فرمان قطع سوخت عمل کند. وقتی که درجه حرارت بالا رفت دیگر نیازی به دستگاه بازبینی نیست و می‌توان آن را از مدار خارج کرد. در هر حال در موقع روشن کردن کوره می‌باید حتماً دستگاه بازبین(Detector) وجود داشته باشد.

روشن کردن مجدد کوره نوعاً کار خطرناکی است زیرا ممکن است درجه حرارت کافی برای تداوم سوختن وجود نداشته باشد. مواد سوختنی به سرعت در کوره جمع می‌شود و در صورتی که جرقه زده شود احتمال انفجار وجود دارد. به همین خاطر مهم است که بلافاصله پس از پاشیدن سوخت جرقه زده شود. اگر ضمن



گرم شدن کوره شعله خاموش شود می‌باید به کل سیستم پخت هوا دمیده شود تا مواد نسوخته از بخشهای مختلف آن نظیر کوره، پیش گرم کن، کانال گاز و الکتروفیلتر خارج شوند.

## ۲-۴- خنک کردن کلینکر

در خنک کن در اثر تبادل حرارت کلینکر با هوا درجه حرارت کلینکر از حدود  $1200^{\circ}\text{C}$  به  $100^{\circ}\text{C}$  می‌رسد و هوای داغ شده راهی کوره می‌شود. از انواع خنک کنهای موجود، بیشترین تعداد مربوط به نوع مشبک (Grate) است. این نوع خنک کن متشکل از یک سری صفحات مشبک است که زیر آنها به تعدادی خانه تقسیم شده است و هر خانه دارای فن جداگانه‌ای است که به راحتی می‌توان فشار و حجم هوای دمیده شده به آن را کنترل نمود. ممکن است تا ۸ خانه و ۲ یا ۳ بخش مجزای صفحات مشبک وجود داشته باشد. فشار زیر صفحات خانه اول تقریباً ۶۰۰ میلیمتر آب است که به تدریج در خانه‌های بعدی تا ۲۰۰ mmHg کاهش می‌یابد.

بازرسی مداوم خنک کن مهم است. به ویژه مشاهده سرخ رنگی در خنک کن موید وجود مشکلی مرتبط با شکل هندسی خنک کن و یا توزیع هوا می‌باشد. جریان سرخ رنگ را از جداره خنک کن دور کرده و با نصب زره های بدون سوراخ در محلهای مناسب جریان بستر سرخ را در سطح کولر توزیع نمود. از آنجائیکه اندازه دانه‌های کلینکر را می‌توان با چگونگی تصدی کوره تغییر داد، لذا افت فشار در بستر کلینکر در طول کولر نیز تغییر خواهد کرد. با ایجاد پیوستگی کاری (Interlocking) بین فشار زیر صفحات و سیستم حرکت خنک کن می‌توان فشار زیر صفحات را ثابت نگه داشت.

متغیرهای سنجش و هدایت خنک کن مشبک عبارتند از:

درجه حرارت هوای ثانویه

درجه حرارت هوای سوم (میانی)

درجه حرارت کلینکر خروجی

درجه حرارت هوای خروجی اضافی

حجم هوای خروجی اضافی یا آمپر فنهای خنک کن

برای تجزیه و تحلیل فرآیند نیاز به گزارش مفصلی از فشار زیر صفحات هر یک از خانه‌های کولر و همچنین سرعت و قدرت مصرفی سیستم حرکت کولر داریم.

وجود زره‌های شکسته می‌تواند باعث ریزش کلینکر داغ به داخل خانه‌های زیر صفحات و وارد آمدن زیان عمده شود. با تعبیه ترموکوپل در زیر سیستم حرکت خنک کن از پیش آمدن این مشکل آگاه می‌شویم.

### ۳-۴- سوخت کوره

سوخته‌های متعارف مصرفی در کوره‌های سیمان نفت کوره، گاز و ذغال سنگ است که در ایران صرفاً از سوخته‌های مایع و گاز استفاده می‌شود. انتخاب نوع سوخت در کشورهای صنعتی بستگی به بهاء و در دسترس بودن آن دارد.

شعله گاز دارای پائین ترین ضریب انتشار (Emissivity) است و سوخت گاز نیاز به هوای بیشتری دارد و به همین خاطر بازده گاز پائین تر از دو نوع دیگر سوخت است. وقتی که ذغال سنگ جایگزین گاز می‌شود. معادل ۲-۳ درصد بازده کوره افزایش می‌یابد. از سوی دیگر سوخت گاز ارزانترین و سهل‌الوصل‌ترین انواع سوخت است. بخصوص اینکه پس از مصرف صورتحساب دریافت می‌شود و نیازی به پیش خرید و ذخیره‌سازی نیست. با فرض مصرف ویژه حرارت  $750 \text{ KCal/KgClinker}$  و ۲ درصد اکسیژن اضافی جدول زیر قابل عرضه است:

جدول ۱-۴- مشخصه‌ای از سوخته‌های مصرفی در کوره سیمان

درجه حرارت شعله	گاز حاصل از احتراق	کل گاز خروجی
$^{\circ}\text{C}$	میلیون کالری / $\text{Nm}^3$	تن کلینکر / $\text{Nm}^3$
۲۲۵۰	۱/۲۷	۱۲۷۰
۲۳۵۰	۱/۳۱	۱۳۱۰
۲۴۰۰	۱/۴۷	۱۴۳۰
ذغال سنگ		
نفت کوره		
گاز		

برای افزایش روان بودن نفت کوره و سهولت پاشیدن آن باید قبلاً گرم شود و با فشار  $10-30 \text{ Kg/Cm}^2$  راهی مشعل شود. اندازه قطرات سوخت مایع باید کمتر از ۲۰۰ میکرون باشد تا بتوانند در فاصله زمانی حضور در محیط اشتعال به خوبی سوخته شوند.

معمولاً سوخت گاز با فشار  $10-70 \text{ Kg/Cm}^2$  دریافت می‌شود. نیاز به هوای اولیه ندارد و خود گاز به صورت محوری و یا ترکیبی از محوری و پیچشی و با فشار  $3-10 \text{ Kg/Cm}^2$  و سرعت خروج  $300-500 \text{ m/sec}$  در لوله مشعل جریان دارد. در مقایسه با سوخت جامد و مایع، حرارت سوخت گاز آهسته‌تر آزاد می‌شود و اوج درجه حرارت آن در فاصله ۲۰ متری است. درحالی‌که این فاصله برای نفت کوره ۵-۱۰ متر است. این خاصیت باعث می‌شود که در پاسخ تغییرات انجام شده برای کنترل بهتر کوره عکس العمل کندتری از کوره گازسوز دریافت شود.

#### ۴-۴- تغذیه کوره

ترکیب شیمیایی و میزان تغذیه کوره می‌بایستی یکنواخت و با حداقل نوسان باشد. در کوره‌های دارای پیش گرم کن سیکلونی بخشی از مواد با گازهای خروجی خارج می‌شود و در نهایت پس از عبور از آسیاب مواد در الکتروفیلتر جمع‌آوری و به سیلو و یا کوره برگردانیده می‌شود. از این رو ترکیب مواد برگشتی با آنچه که از کوره خارج شده است یکسان نمی‌باشد و می‌باید به طریقی کنترل شده مصرف شود.

معیار سنجش و هدایت خوراک کوره عبارتست از:

آنالیز شیمیایی نمونه ساعتی برای تعیین آماری میزان انحراف استاندارد از مقادیر تعیین شده به عنوان هدف. آنالیز شیمیایی شامل تعیین اکسیدهای اصلی است و در مواردی با تیتراسیون منظور برآورده می‌شود. اگر اکسیدها تعیین می‌شوند می‌باید بررسی آماری روی  $\text{L.S.F}$  یا  $\text{C}_3\text{S}$  نیز صورت گیرد. نسبت تبدیل خوراک کوره به کلینکر  $1/7-1/65$  است که هراز چندگاهی باید اندازه‌گیری و تصحیح شود.

#### ۵-۴- متغیرهای تصدی کوره

با ورود خوراک کوره به سیستم پخت واکنشهای شیمیایی حرارتی از مرحله تبخیر آب آزاد و سپس آب کریستاله مواد آغاز و پس از تجزیه خاک رس و کربناتها و بوجود آمدن اکسیدها، فازهای کلینکر بوجود می‌آید. در نهایت با پشت سر گذاشتن شعله، کریستالها تثبیت و دانه‌های کلینکر سرد شده از خنک کن خارج می‌شوند.

معیارهای سنجش و متغیرهای تصدی کوره عبارتند از:

تولید ساعتی کلینکر

ساعت کارکرد

ساعات توقف ناخواسته

حرارت ویژه مصرفی برحسب کیلوکالری بر کیلوگرم کلینکر

مقدار کل سوخت مصرفی برحسب تن در ساعت

مدار کل سوخت مصرفی در کلساینر

درجه حرارت هوای ثانویه

مکش سر کوره

درجه حرارت گاز خروجی از پیش گرمکن

درصد اکسیژن ته کوره

درصد افت حرارتی مواد عقب کوره

درصد  $SO_3$  مواد عقب کوره

کیلووات مصرفی موتور گرداننده کوره

برای کنترل و ارزیابی بهتر کوره متغیرهای دیگری نیز وجود دارند از جمله:

سرعت هوای اولیه برحسب متر در ثانیه

درصد بار حجمی متر در ثانیه

درصد بار حجمی کوره

سرعت گاز در منطقه پخت برحسب  $m/sec$

بار ویژه اعمالی به منطقه پخت برحسب کیلوکالری در هر ساعت بر هر مترمربع از مقطع مفید منطقه پخت.

هوای خنک کن برحسب مترمکعب نرمال در هر مترمربع خنک کن کلینکر

مجموع هوای اولیه و هوای خنک کن برحسب مترمکعب نرمال بازا هر کیلوگرم کلینکر

بلافاصله پس از ملاحظه حرارت اضافی مصرفی می باید بررسی لازم صورت گیرد و علل آن مشخص شود و

معلوم گردد آیا مقدار خوراک، ترکیب خوراک، غیرعادی بودن مشعل، اکسیژن زیادی یا اکسیژن ناکافی،

نشستی هوا در ته کوره یا دریچه های پیش گرمکن، سرد بودن هوای ثانویه و یا بالاخره به هم خوردن تنظیم

صفحات توزیع کننده خوراک در پیش گرمکن باعث این افزایش مصرف حرارت شده اند یا نه.

آهک آزاد کلینکر می باید در محدوده معقولی باشد ( $۰/۵-۰/۲$ ) و از انجائیکه سنجش آهک آزاد طولانی است از

معیارهای دیگری که همان وزن لیتری است استفاده می شود که خیلی سریع جواب می دهد. وزن یک لیتر

از دانه های کلینکر واقع بین الک های ۵ و ۱۲ میلیمتر می باید حدود ۱۱۰۰-۱۳۰۰ گرم بر لیتر باشد.

درجه حرارت هوای ثانویه می باید تا حد امکان زیاد باشد ( $۸۰۰-۱۰۰۰$  درجه سانتی گراد) و افزایش این

درجه حرارت بستگی به محدودیت مصرف هوای ورودی به خنک کن بخصوصی در بخش اولیه آن دارد.

در کوره های دارای کلساینر ۶۰٪ سوخت در عقب کوره مصرف می شود و بدینوسیله بار حرارتی کوره کم

شده، تداوم کار آن افزایش می یابد و عمر اجر طولانی تر می شود.

تشکیل رینگ در کوره از عواملی است که مانع جریان منظم مواد و گاز می شود و در صورت شکسته شدن

آن هجوم مواد نپخته به سمت منطقه پخت را در پی خواهیم داشت. تشکیل رینگ در کوره عموماً منتسب به

راهبری نامنظم کوره و بالا رفتن فاز مایع می باشد. با اندازه گیری درجه حرارت بدنه کوره می توان زودتر از

تشکیل و رشد رینگ آگاه شد و به فکر چاره افتاد. با تغییر دور کوره و جابجایی مختصر محل مشعل (حدود

۱۰ سانتیمتر) می توان از رشد رینگ تا حدودی پیش گیری کرد.

#### ۴-۶- مکانیک کوره

آببندی ابتدا و انتهای کوره مهم است و در صورت وجود تغییر شکل در سروته کوره احتمال پدید آمدن مشکل نشتی وجود دارد. سازندگان مختلف طرحهای گوناگونی برای حل این معضل ابداع کرده‌اند که عموماً موفق هم می‌باشند.

شکل (۴-۱) نشان دهنده الکتروفیلتر کولر، خنک کن، پیش گرمکن، آسیاب مواد و الکتروفیلتر آسیاب مواد است. در نقطه (۱) که بین سیکلونه‌های ۲ و ۳ است. درصد اکسیژن موجود در گازهای جاری ۲/۵ درصد است. این کوره هر ساعت ۱۰۰۰۰۰ کیلوگرم کلینکر تولید می‌کند (m) و کالری مصرفی آن به ازاء هر کیلوگرم کلینکر برابر  $q=3.4\text{MJ/Kg Clinker}$  است.

نقطه بعدی اندازه‌گیری بالای پیش گرمکن و قبل از برج خنک کن است. درصد اکسیژن اندازه‌گیری شده در گاز خروجی ۳/۵ درصد است. با قراردادن عدد ۳/۵ در رابطه مذکور به  $V=145800$  می‌رسیم. معنی این عدد این است که هر ساعت  $145800 - 138500 = 7300$  مترمکعب هوا به داخل سیستم نفوذ می‌کند. در نهایت ملاحظه می‌شود اگر قبل از الکتروفیلتر آسیاب مواد درصد اکسیژن گازهای جاری ده درصد باشند، حاصل محاسبه این است که در این قسمت ۲۱۶۰۰ مترمکعب هوا به سیستم اضافه می‌شود.

معمولاً کوره‌های با قطر بیشتر از ۳/۵ متر دارای شیب بیش از ۳ درجه هستند و انبساط طولی کوره در حال کار در حدود ۲۰ سانتیمتر است و در نتیجه موقعیت و ابعاد رینگ و غلطک‌ها آنچنان می‌باشد که کوره همواره روی پایه قرار داشته باشد.

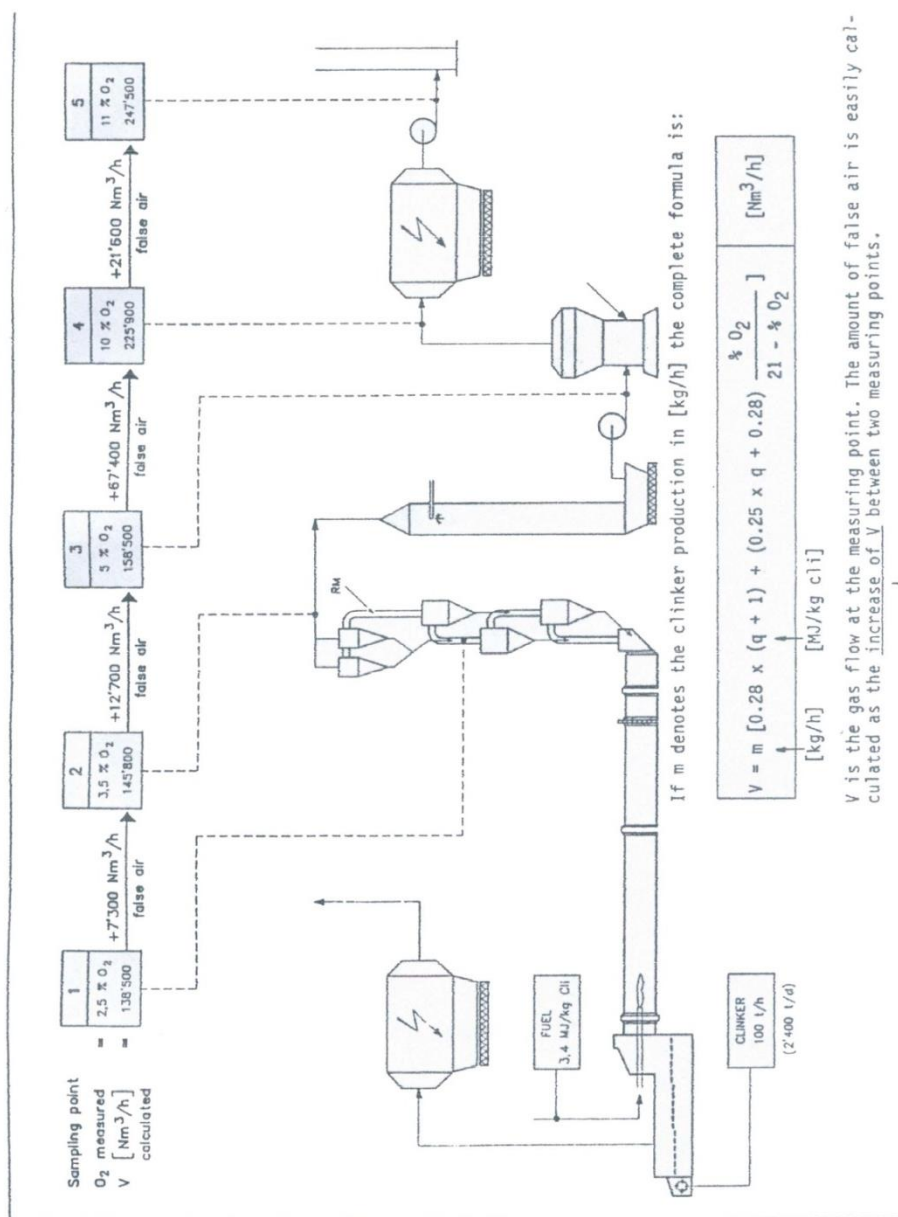
تغییر شکل بدنه چه به صورت طولی یا محیطی می‌تواند باعث خسارات عمده به نسوزکاری و زیانهای تاسف بار به بدنه اصلی و غلطک بشود. می‌باید به طور متناوب کوره تراز شود و مرتباً انحراف کوره کنترل گردد. باید تماس شعاعی بین رینگها و غلطکها ملاحظه شود. جدا بودن رینگ از پایه ممکن است نشانی از عدم توازن حرارتی و یا تراز نبودن کوره باشد. درجه حرارت روغن یاتاقان پایه‌ها نیز نقش مهمی در تشخیص اعمال بار نامتناسب دارند.



تغییر محل بالشتکهای زیر رینگ می‌تواند علامت وجود تنش باشد. در مواقعی که کوره گرم است باید همواره بین رینگ و بدنه یک حرکت نسبی وجود داشته باشد. مقدار این حرکت می‌تواند از یک تا سه سانتیمتر در هر بار چرخش کوره باشد. در کوره‌های بزرگ غلطک‌ها موازی محور کوره نصب می‌گردند. حرکت رفت و برگشت کوره توسط غلطک‌های بالابر (Trustroller) هدایت می‌شود. این غلطک‌ها می‌توانند ثابت و یا هیدرولیک باشند.

ترک در بدنه کوره معمولاً در امتداد درزهای جوشکاری مشکوک پدید می‌آید. این ترک‌ها می‌باید به دقت تجزیه و تحلیل و تعمیر شوند. وجود این ترک‌ها ممکن است علامت وجود تنش غیرعادی و یا اشکال در جنس بدنه و جوشکاری باشد.

خوردگی بدنه کوره معمولاً مشکل جدی نیست، مگر اینکه مقدار زیادی گوگرد و یا کلر وجود داشته باشد. نکته مهم این است که از کاهش درجه حرارت گازهای خروجی کوره به کمتر از نقطه شبنم آنها قبل از خروج از دودکش پیشگیری شود.



شکل ۱-۴- محاسبه مقدار هوای نشتی در بخشهای مختلف سیستم پخت و آسیاب مواد

## ۴-۷- شرایط خاص تصدی کوره

### ۴-۷-۱- کلیات

عملکرد بهینه کوره وقتی فراهم می‌شود که نوسانات و تنظیمات هنگام کار کوره به حداقل مطلق برسد. در صورت نیاز به تنظیمات می‌باید کار تنظیم تدریجی و مرحله‌ای باشد. هنگامی که تمام حلقه‌های کنترل (Control Loops) فعال هستند در این صورت در مورد نگهداری و پایداری حالات زیر اطمینان وجود دارد: درجه حرارت پائین‌ترین سیکلون در بالاترین رقم لازمه قرار دارد و بدینوسیله درصد ثابت و مطلوبی از کلسیناسیون انجام می‌شود.

فشار منفی (مکش) سر کوره متناسب است و به همین خاطر شرایط کار پایدار و مداوم خنک کن و درجه حرارت و مقدار هوای ثانویه و هوای سوم مطلوب است. فشار بعد از فن پیش گرمکن متناسب است و در نتیجه مکش در سیستم پخت وجود دارد، مقدار سوخت مصرفی در سیستم پخت متناسب با کم و کیف کلینکر تولیدی یعنی وزن لیتری، مقدار آهک آزاد و وضعیت ظاهری کلینکر است.

معیار تعیین کننده دیگر شرایط موجود کوره است، همانند تمایل و جهت منحنی گشتاور کوره، امکان ذاتی تشکیل کوتینگ و یا سایر بی‌نظمی‌هایی که اخیراً در سیستم و کوره پیش آمده‌اند.

مقدار خوراک کوره و دور کوره همزمان (Synchronise) هستند و کوره بان می‌تواند نسبت ارتباط این دو به یکدیگر را تغییر دهد.

در زیر مواردی از عوامل تاثیرگذار روی تصدی کوره شرح داده می‌شود.

### ۴-۷-۲- تجزیه شیمیایی گاز خروجی کوره

تجزیه شیمیایی گاز خروجی حاوی اطلاعات مهمی برای ارزیابی کم و کیف فرآیند احتراق می‌باشد. بنابراین عملکرد خوب و سلامت کاری دستگاه آنالیز گاز قطعاً بسیار مهم است. گازهای خروجی نباید حاوی هیچگونه مواد نسوخته همانند کربن (C) و یا مونواکسید کربن (CO) باشند.

وجود چنین ترکیباتی در گاز خروجی، می‌تواند در صورت گستردگی ایجاد آتش یا انفجار نماید. بعلاوه وجود اینگونه ترکیبات نشان دهنده این است که از کالری سوخت استفاده کامل نشده است.

وجود یک درصد CO در گازهای خروجی می‌تواند برابر با مصرف بیشتر ۴۰ Kcal/Kg Clinker حرارت باشد. حضور مواد نسوخته مشخص کننده ناکافی بودن مقدار هوای لازم برای سوختن و احتراق است. حتی در صورت وجود هوای کافی، به علت عدم اختلاط متناسب سوخت و هوا امکان وجود مواد نسوخته وجود دارد. بنابراین باید همواره مقداری هوای اضافی در فرآیند احتراق مصرف کرد.

همان گونه که قبلاً اشاره شد، گازهای خروجی از پیش گرمکن باید حاوی ۴-۶٪ اکسیژن باشند. امکان نصب آلارم برای مقدار حداقل اکسیژن وجود دارد. مثلاً حد  $2O_2$ ٪ را تعیین نمود. این هشدار به کوره‌بان خطر وجود مواد نسوخته در گازهای خروجی را اعلام می‌کند.

دستگاه سنجش CO به طور پیوسته مقدار CO موجود در گازهای خروجی را اندازه‌گیری می‌کند. محدوده آلارم و هشدار باید به شرح زیر باشد:

Max I	0.5% CO
Max II	0.9% CO
Max III	1.2% CO

Max I آلارم را به صدا درمی‌آورد و در این حالت کوره‌بان باید تنظیمات لازمه را انجام دهد. وقتی آلارم Max II به صدا درمی‌آید می‌باید سوخت مصرفی در کلساینر تا ۲۰٪ کاهش داده شود. کنترل مقدار سوخت در این حالت به صورت دستی و غیراتوماتیک است. اپراتور باید تنظیمات بیشتری روی فرآیند احتراق انجام دهد تا بدینوسیله مقدار اکسیژن را به سطح مطلوب برساند.

Max III برای وقتی است که مقدار CO در گازهای خروجی ۱/۲ درصد یا بیشتر است. در این صورت آلارم عمل می‌کند و با علامت دهی خود بلافاصله برق فشار قوی الکتروفیلتر را قطع می‌کند.

### ۳-۷-۴- حجم هوای اولیه

هوای اولیه از طریق لوله مشعل وارد می‌شود و شرایط اختلاط خوب و موثر بین سوخت و هوا را فراهم می‌کند. معمولاً مقدار هوای اولیه جاری از طریق مشعل حدود ۸-۱۰٪ حجم هوای لازم برای احتراق است.

#### ۴-۷-۴- درجه حرارت گاز خروجی پیش گرم کن

فن پیش گرمکن آنچنان طراحی شده است که بتواند درجه حرارت گاز خروجی تا ۴۳۵ درجه سانتیگراد را تحمل کند. با این وجود در صورت افزایش درجه حرارت تا ۴۵۰ درجه سانتیگراد برای مدتی کوتاه برای فن قابل تحمل خواهد بود.

#### ۴-۷-۵- درجه حرارت یاتاقانها

هرگونه افزایش درجه حرارت در هر یک از یاتاقانهای فن باعث اعلام هشدار و قطع اتوماتیک فن خواهد شد. این آلام برای فن پیش گرمکن و فن هوای اضافی خنک کن گریت تعبیه شده است. هرگونه افزایش درجه حرارت در یاتاقانهای هر یک از پایه‌های کوره فقط باعث اعلام هشدار و روشن شدن چراغ آلام می‌شود. اپراتور باید در شرایطی که کوره کار می‌کند فوراً درصدد رفع و رجوع مشکل برآید.

#### ۴-۷-۶- الکتروفیلترها

هیچگاه نباید درجه حرارت کاری الکتروفیلترها بالاتر از حداکثر درجه حرارت تعیین شده توسط سازنده دستگاه باشد.

پیرومترهای تعبیه شده در ورودی و خروجی الکتروفیلترها با فن پیش گرمکن اینترلاک هستند و در صورت بالا رفتن این درجه حرارت فن متوقف می‌شود.

#### ۴-۷-۷- گرفتگی سیکلونها

تغییرات در درجه حرارت مواد جاری در خروجی‌های سیکلونها ممکن است، نشان اولیه از شروع گرفتگی سیکلونها داشته باشد. در انتهای پائینی هر یک از سیکلونها دستگاه سنجش مکش نصب شده است. اگر فشار منفی یکی از این نقاط در حین کار عادی کوره کاهش یابد و همزمان تغییراتی در درجه حرارت نیز پیش بیاید در این صورت می‌باید از شروع گرفتگی در سیستم مطمئن بود. در صورت افت فشار تا مقدار حداقل تنظیم شده، فشارسنج آلام می‌دهد. در این حالت باید اپراتور نقطه به نقطه سیستم را بررسی کند، حالت‌های مختلف را ارزیابی نماید و نهایتاً در صورت لزوم کوره را متوقف کند.

معمولاً وجود و تعبیه لوله‌های فشرده با طولهای مختلف در نقاط مختلف پیش گرمکن بسیار موثر است. در حین تمیز کردن باید احتیاط‌های لازم را انجام داد.

نکته: درجه حرارت مواد کیک مانند که ایجاد گرفتگی کرده‌اند تا حدود  $800^{\circ}\text{C}$  است و هر آن امکان دارد همانند مواد سیال جاری شوند. بنابراین لازم است احتیاط‌های لازم در حین کار را انجام داد و عاقلانه این است که افراد درگیر تمیز کردن، ملبس به لباسهای عایق حرارت باشند.

#### ۸-۷-۴- گرفتگی در رایزر پایپ (لوله قائم) و ورودی کوره

تشخیص امکان گرفتگی شدید در رایزر پایپ و ورودی کوره با بررسی فشار منفی موجود بین پائین‌ترین سیکلون و ورودی کوره میسر است در این مورد نیز می‌باید موارد احتیاطی رعایت شود. تجربه کاری در مورد هر سیستم پختی نشان می‌دهد که آیا لازم است دریچه‌های اضافی به همراه تجهیزات لازم نظیر Air Blaster در آن نصب کرد یا نه.

#### ۹-۷-۴- نسوزکاری کوره

درجه حرارت کاری سیستم پخت انچنان بالاست که اغلب بخشهای آن توسط آجرنسوز و یا بتن نسوز نسوزکاری می‌شود و در مقابل حرارت بالا محافظت می‌گردند. پیش شرط کار یکنواخت و مداوم کوره این است که نسوزکاری بی‌عیب و برخوردار از کیفیت لازم باشد. همچنین باید نحوه کار با کوره انچنان باشد که تداوم عمر و حفظ نسوزکاری که بسیار مهم است رعایت شود.

معمولاً نسوزکاری پیش گرمکن، کانال هوای میانی و اغلب قسمت‌های خنک کن دارای عمر چند ساله هستند و نیازی به تعویض ندارند. با این وجود بخشهایی از نسوزکاری خصوصاً آجرهای منطقه پخت متناوباً می‌باید تعمیر و تعویض شوند. دوره زمانی تعمیر و تعویض نسوزکاری بخشهای مختلف به عوامل زیادی بستگی دارد. عموماً توصیه این است که به هنگام کاهش ضخامت آجرها به حد نصف مقدار اولیه- در اثر فرسایش- قسمت آسیب دیده و فرسوده شده تعمیر یا تعویض شود.

هر نوع آسیب دیدگی لایه نسوزکاری می‌تواند خطر داغ شدن بدنه کوره را در پی داشته باشد. خصوصاً می‌باید شرایط کاری منطقه پخت کوره سیمان تحت نظارت مداوم باشد.

اگر درجه حرارت بدنه کوره به  $420^{\circ}\text{C}$  -  $450^{\circ}\text{C}$  برسد، باید این منطقه به وسیله فن هوا خنک شود. در صورت بالاتر رفتن درجه حرارت بدنه و مشاهد سرخی و عدم امکان رفع آن می‌باید کوره متوقف شود. با نصب حرارت سنج نوری (Scanner) می‌توان درجه حرارت بدنه کوره در حین کار کوره را زیرنظر داشت و کنترل کرد. آلام مربوط به این درجه حرارت نباید بالاتر از  $420^{\circ}\text{C}$  باشد.

در مواقعی که کوره متوقف است باید با استفاده از فرصت، نسوزکاری داخل کوره را بررسی کرد و در صورت لزوم برنامه تعمیر یا تعویض را اجرا کرد.

#### ۸-۴- چرخاندن کوره با موتور کمکی (Barring)

موقعی که کوره داغ متوقف می‌شود می‌باید آن را چرخاند تا از تغییر شکل کوره و آسیب دیدن بدنه آن پیشگیری شود. معمولاً چرخاندن کوره باید حداقل ممکن و صرفاً برای پیشگیری از تغییر شکل بدنه کوره باشد و زیاده‌تر چرخاندن آن مترادف با آسیب دیدن لایه نسوزکاری داخل کوره می‌باشد.

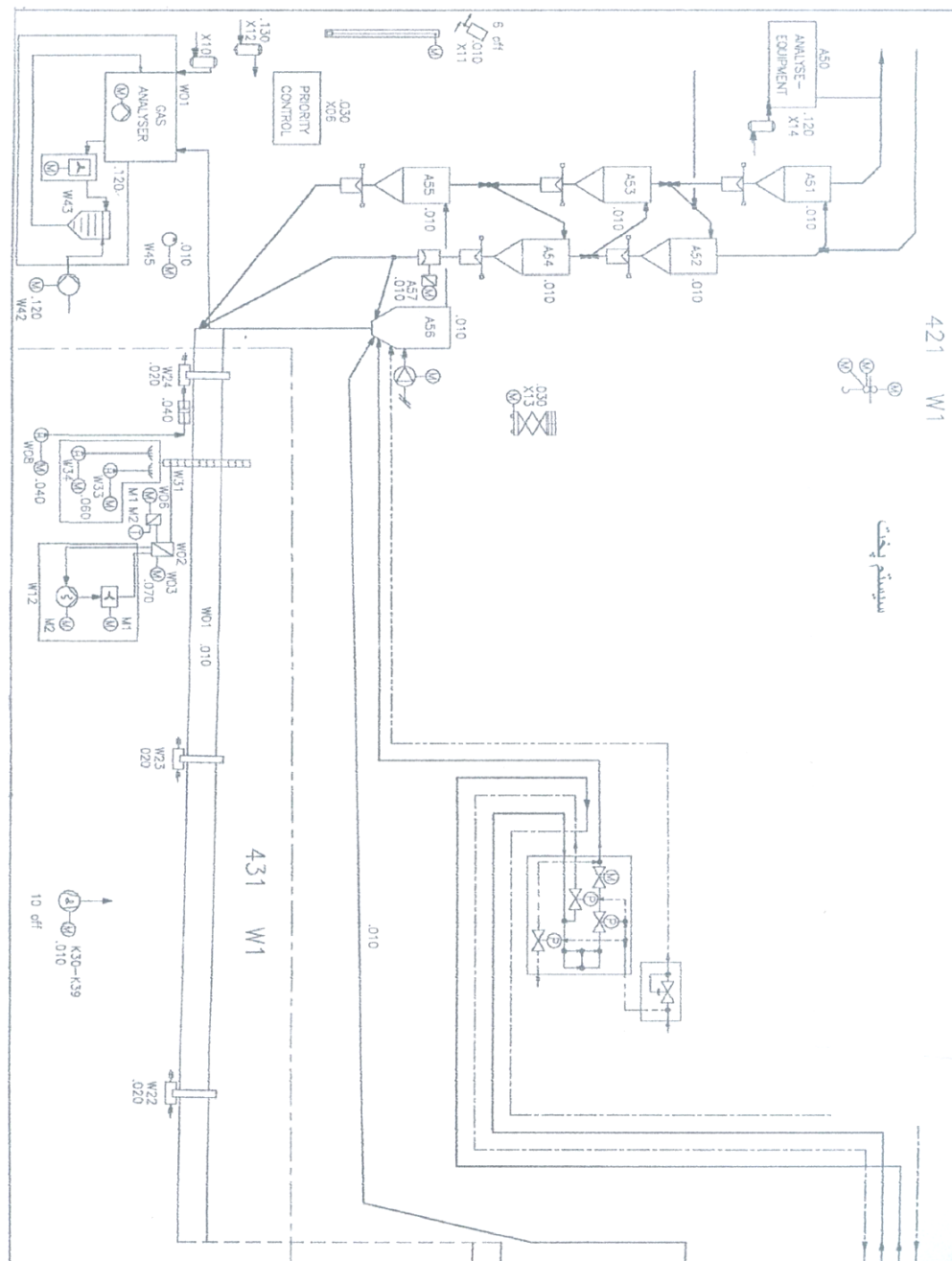
از لحظه توقف تا مدت نیم ساعت پس از توقف کوره داغ می‌باید کوره به طور پیوسته و مداوم چرخانده شود. اگر شرایط محیطی و آب و هوایی آنچنان است که بدنه کوره در معرض سرد شدن شدید باشد، همانند ریزش باران سیل‌آسا، در این صورت می‌باید چرخاندن مداوم ادامه داشته باشد.

نکته: اگر به هر علت ناگهانی کوره برای مدت ۲ ساعت نچرخد- البته از پیش آمدن چنین حالتی باید جدا پیشگیری شود- در این صورت اولین اولویت چرخاندن هرچه زودتر کوره است. پس از وقوع مشکلات و آماده شدن کوره برای راه‌اندازی عادی می‌باید یک بازرسی مکانیکی کامل از بدنه کوره و پایه‌ها به عمل آید.

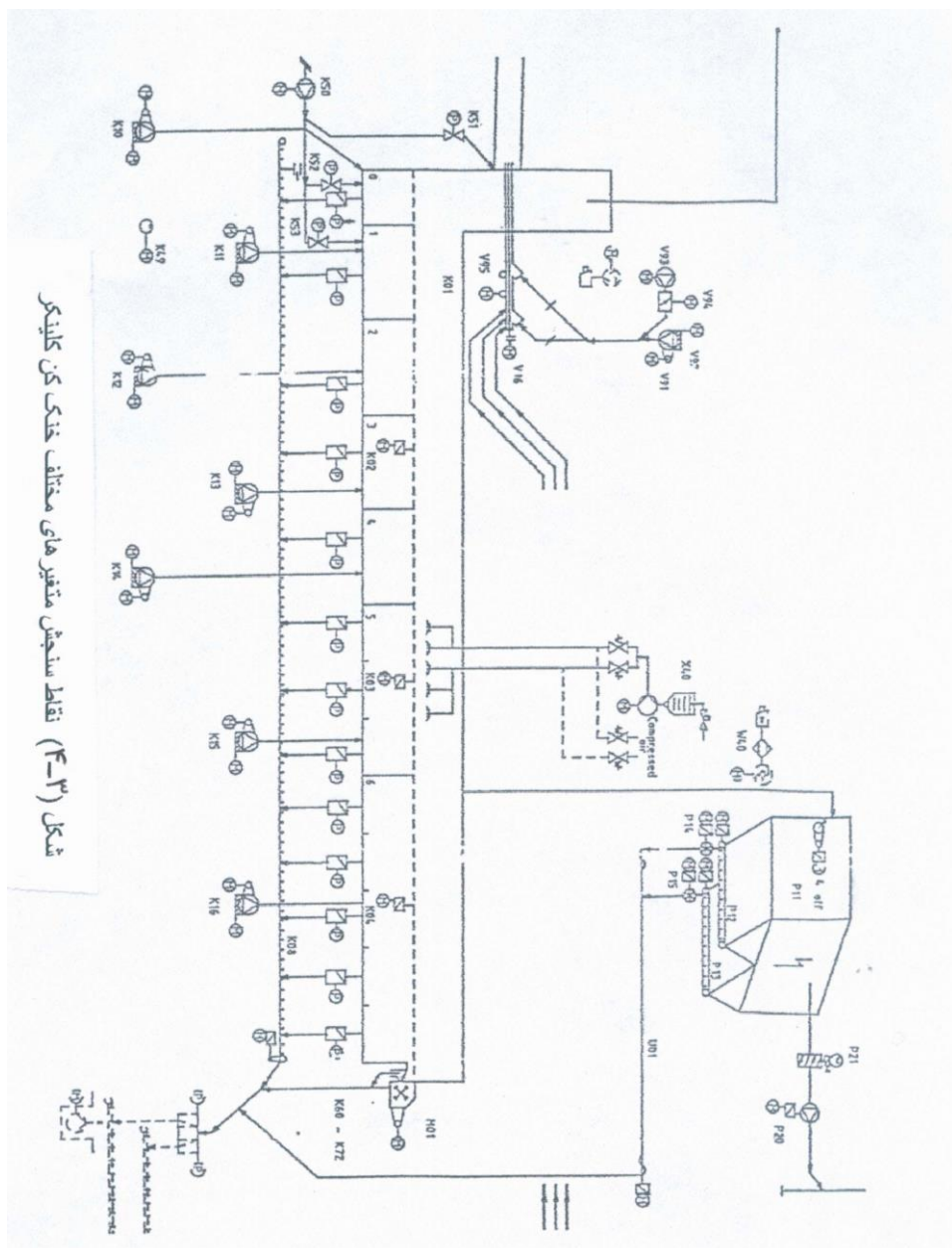
#### ۹-۴- تحلیل گزارشات ساعتی سیستم پخت

با مطالعه گزارشات ساعتی سیستم پخت و تحلیل نتایج بدست آمده از آنها خیلی از توقفات تکرار نمی‌شود و تولید افزایش یافته و عمر آجرنسوز هم طولانی‌تر می‌شود و اصل تولید بیشتر و هزینه کمتر تحقق می‌یابد.





شکل ۲-۴- نقاط سنجش متغیرهای مختلف سیستم پخت



شکل (۳-۴) نقاط سنجش متغیرهای مختلف خنک کن کلینر

شکل ۳-۴- نقاط سنجش متغیرهای مختلف خنک کن کلینر

## **فصل پنجم**

### **رعایت اصول کوره بانی**

## ۵-۱- مشخصه‌هایی از سیستم پخت

ابزار و وسایلی که جهت سنجش یا نشان دادن منطقه پخت در تابلو کنترل تعبیه شده‌اند. همگی اجزائی از چشم کوره‌بان هستند که بدون چشم کوره‌بان و تیزبینی و نگاه استادانه او به منطقه پخت کامل نخواهد بود. یک کلینکر خوب دارای حداکثر ۰.۳ تا ۰.۷ درصد آهک آزاد است و این بدان معناست که مقدار عمده آهک موجود در خوراک کوره با اکسیدهای سیلسیم و آلومینیوم و آهن ترکیب شده است. از آنجائیکه اندازه‌گیری آهک آزاد نمونه‌های ساعتی کلینکر زمان‌بر است. از این رو تا بدست آمدن نتیجه اندازه‌گیری بایستی وزن لیتری کلینکر خروجی از خنک کن را اندازه‌گیری نمود. وزن لیتری کلینکر عبارتست از وزن یک لیتر از کلینکر رد شده از غربال ۱۰ میلیمتر و باقیمانده روی غربال ۵ میلیمتر. مشروط به تغییر نکردن ترکیب مواد اولیه هرچقدر وزن لیتری بالاتر باشد کلینکر بهتر پخته شده است و هرچقدر وزن لیتری پائین‌تر باشد کلینکر نپخته‌تر است. (خانزادی و شفیع. "کوره‌های دوار". ۱۳۸۹)

برای غربالهای فوق رقم ۱۲۵۰ تا ۱۳۵۰ ارقام مطلوبی است. البته ذکر این نکته ضروری است که کلینکری که سوخته (کلینکری که شدیداً داغ پخته شده است) دارای وزن لیتری کمتری است چون در این حالت کلینکر متخلخل گشته و پوک می‌شود.

هر رنگی که در کوره مشاهده می‌شود، می‌توان آن را مستقیماً به درجه حرارت ربط داد. به دلیل اینکه از شیشه‌های رنگی متفاوتی برای نگاه کردن به داخل کوره استفاده می‌شود نسبت دادن رنگ خاصی به درجه حرارت معین مشکل است. با این وجود آنچه را که در داغ‌ترین نقطه منطقه پخت و در مجاورت شعله ملاحظه می‌گردد می‌توان به صورت کلی به شرح زیر بیان نمود:

قرمز ----- سرد

قمر روشن (گیلاسی) ----- نزدیک به سرد

نارنجی ----- عادی

زرد ----- عادی

سفید ----- داغ

هر رنگی که خارج از زرد تا نارنجی پدید آید بایستی بلافاصله به دنبال علت آن بود و تنظیمات لازم را ایجاد کرد. در غیر این صورت کوره به سمت غیرعادی شدن و نامتعادل شدن پیش خواهد رفت.

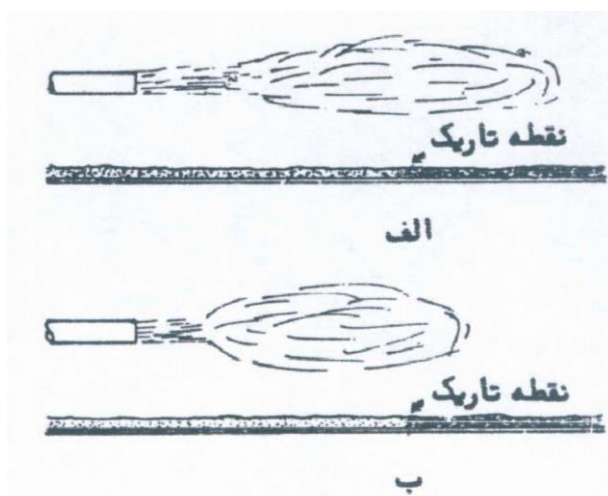
### ۵-۱-۱- جلو شعله

کنترل وضعیت خوارک کوره در منطقه جلو شعله دارای تاثیر و نقش شایانی در راهبری کوره است و از جمله فاکتورهای مهم در عمل پختن می‌باشد. به طوریکه می‌دانید در مناطق کوره به دلیل رخ دادن فعل و انفعالات فیزیکی و شیمیایی مختلف، مواد جاری در کوره دارای سرعت سیرمتفاوتی است. در منطقه تکلیس (کلیسناسیون) مواد حالت سیلان بیشتری دارد و همراه با جهش به سمت منطقه پخت نزدیک می‌شود. گاهی مواقع این جهش و پاشیدن مواد آنچنان است که باعث می‌شود مستقیماً و به سرعت مواد به سوی منطقه پخت دویده و وارد خنک کن شود.

به تبع این حالت کوره گرفتار عدم تعادل جدی شده و کنترل دوباره کوره مشکل می‌گردد. هنگامیکه مواد ناپخته (خاک) وارد خنک کن می‌شود، به دلیل ریزبودن دانه‌بندی عمل خنک کردن به سختی صورت

می‌گیرد. هوای گرمی که از خنک کن وارد کوره میشود به دلیل خاک آلود بودن، فضای داخل کوره را آنچنان تاریک می‌کند که مشاهده منطقه پخت تقریباً غیرممکن می‌شود. در مواردی پیش آمدن این حالت باعث خفه شدن مشعل و خاموش شدن شعله نیز می‌گردد. از این روست که عدم اجاره ورود به مواد ناپخته به داخل خنک کن به صورت یکی از قوانین و اصول مسلم و مهم کوره‌بانی درآمده است.

بایستی توجه خاصی به مشخصات فیزیکی مواد جلو شعله داشت. گرچه در اغلب موارد نگاه کردن به جلو شعله به دلیل آمیختگی شعله با فضای خاک آلود مشکل است، با این وجود بایستی از هیچگونه سعی و تلاش در هرچه بیشتر نگاه کردن و دید زدن به جلو شعله مضایقه نکرد. زیرا که منشاء و مبدأ بروز حالات نابجا و نامتعادل کوره از این منطقه است و با دقت و بررسی روی آن می‌توان جلو حالات واژگونه کوره را گرفت.



شکل ۱-۵- موقعیت نقطه تاریک نسبت به شعله

به طوریکه در شکل (۱-۵) ملاحظه می‌گردد. با نگاه کردن به داخل کوره یک تغییر رنگ سریع از تاریکی (تیره بودن) به روشنی (سفید بودن) مشاهده می‌شود. در امر راهبری کوره، وجود این نقطه (خط) تغییر رنگ برای کوره‌بان دارای اهمیت زیادی است. اهمیت این نقطه در این نکته نهفته است که کوره‌بان با ملاحظه آن می‌تواند پی به محل و نقطه گرم شدن یا سرد شدن منطقه پخت ببرد و این نقطه پیشگام‌ترین عامل نشان دهنده تغییر حالت کوره است. در شرایط پایدار و حالت عادی کار کوره محل این نقطه - نقطه تیره بودن مواد یا نقطه تاریک (Drak Feed) - تقریباً ثابت است و حدوداً باندازه یک چهارم طول شعله در زیر شعله پیش روی کرده است.

اگر بیش از این جلو آمده باشد (به سمت خروجی کوره)، در این صورت منطقه پخت سرد خواهد شد و در صورتیکه عقب‌نشینی کرده باشد (به سمت عقب کوره) در این صورت منطقه پخت داغ خواهد شد.

هرگونه تغییری در مشخصات شعله دارای تاثیر مستقیم روی نقطه تاریک مواد می‌باشد. به عنوان مثال هروقت شعله کوتاه شود نقطه تاریک به سمت خروجی کوره نزدیکتر می‌گردد. هرگونه تغییری در محل نقطه تاریک نمی‌تواند همواره به معنی سرد شدن یا گرم شدن منطقه پخت باشد. محل نقطه تاریک می‌تواند در رابطه با تغییر شکل شعله، قابلیت پخت مواد و تغییر مقدار بار کوره متغیر باشد.

در مواقعی نقطه تاریک جلو می‌آید (به سمت زیر شعله) که یا شعله کوتاه باشد، یا مواد دیرپز باشد، یا بار کوره در منطقه پخت زیاد شود و یا اینکه منطقه پخت سرد شود.

همچنین در مواقعی نقطه تاریک دور می‌شود که یا طول شعله بلندتر شود (و حرارت لازم برای راندن نقطه تاریک به عقب کوره وجود داشته باشد)، یا خوراک کوره زودپز باشد، یا بار کوره در منطقه پخت کاهش یابد و یا اینکه منطقه پخت داغ شود.

هرگونه تغییری در محل تاریک را بایستی در پرتو اثرات مذکور در فوق مورد توجه قرار داد. کوره‌بان بایستی با هر بار نگاه کردن به داخل کوره قادر به دیدن نقطه تاریک باشد و آنچنان کوره را راه ببرد که این نقطه در جای مطلوب خود باشد. لازمه یک تغییر جزئی در محل نقطه تاریک و قرار دادن آن در جای مناسب خود، تغییرات جزئی در مقدار سوخت ورودی می‌باشد.

هرگز نباید به نقطه تاریک اجازه نزدیکتر شدن بیش از نصف طول شعله به منطقه پخت را داد. هنگامیکه مواد ناپخته بیش از حد لازم در منطقه پخت پیش رفته است، می‌بایستی با کم کردن طول شعله موقعیت نقطه تاریک نسبت به شعله را تنظیم کرد. این روش در قسمت زیرین شکل (۱-۵) به خوبی نشان داده شده است. قسمت بالائی شکل فوق نمایانگر حالتی است که نقطه تاریک پیشروی نموده است. با افزایش فشار و درجه حرارت هوای اولیه و در صورت امکان درجه حرارت هوای ثانویه و یا بسته به طرح مشعل با استفاده از راههای دیگر می‌توان طول شعله را کم کرد و آن را به صورت قسمت زیرین شکل (۱-۵) درآورد.

توجه نمائید که محل نقطه تاریک تغییر نکرده است، ولی موقعیت آن نسبت به شعله متناسب گشته است. کوتاه کردن شعله باعث خواهد شد که حرارت بیشتری به این منطقه بحرانی برسد.

توجه به این نکته ضرورت دارد که تغییرات شکل شعله عوارض دیگری به دنبال دارد. از جمله اینکه با کوتاه کردن شعله و توپی کردن آن، حرارت بیشتری به کوتینگ می‌رسد و لذا خطر ذوب شدن آن پیش می‌آید، از این روست که در قدم اول کوره‌بان بایستی مطمئن از حفظ و دوام کوتینگ باشد. در صورتیکه لکه سرخی در این منطقه بحرانی باشد، کوتاه کردن و توپی کردن شعله چندان عاقلانه نیست و اشتباه جدی و بزرگی است و باعث می‌گردد منطقه‌ای که ضعیف است بیشتر در معرض حرارت و داغ شدن قرار بگیرد.

آنچه که تحت عنوان جلو شعله ذکر شد، به وضوح در کوره‌های روشن‌تر قابل ملاحظه است و امکان دیدن آن در کوره‌های با تکنولوژی روز نیست. مطالب فوق حاوی نکات جالبی است که در پرده غبار و نرمه کلینکر کوره‌های بزرگ جدید پنهان است، ولی به هر حال در تمام کوره‌ها نقطه تاریک وجود دارد.

## ۲-۱-۵- هوای ثانویه

در شرایط کار عادی کوره، ظاهر هوای ورودی از کولر معمولی است و نیاز به آنچنان توجهی ندارد. ولی در شرایط کار غیرعادی (واژگونه) کوره، وضع هوای ثانویه به هم می‌خورد و نیاز به توجه بیشتری دارد.

وقتی که کلینکر خام وارد کوره می‌شود، هوای خروجی از کولر همراه با مقداری گرد و غبار و نرمه کلینکر وارد کوره شده و نگاه کردن به منطقه پخت را با اشکال مواجه می‌نماید. مضافاً اینکه در این چنین شرایطی درجه حرارت هوای ثانویه نیز افت می‌کند و سردتر وارد کوره می‌شود. به دلیل این سرد بودن، شکل شعله تغییر نموده و بیشتر به سمت عقب کوره حرکت می‌نماید. همچنین به دلیل وجود گرد و غبار عمل سوختن مشکل‌تر صورت می‌گیرد و شعله سرد می‌شود.

ظواهر فوق باعث می‌گردد که تصور سرد بودن منطقه پخت پیش بیاید و البته این تصور نمی‌تواند در تمام مواقع صددرصد درست باشد، زیرا که ممکن است جلو این گرد و خاکها (که محیط را تاریک کرده‌اند) کاملاً روشن و حاکی از عادی بودن منطقه پخت باشد. در شرایطی که غبار بیشتر می‌شود نگاه کردن مشکل شده، و کوره‌بان می‌بایستی نهایت سعی خود را در جهت دیدن زیر و جلو شعله بنماید. به تجربه این قاعده ثابت شده است که هنگامیکه منطقه پخت غبارآلود است، به جای توجه به عقب شعله، با توجه به زیر و جلو شعله می‌توان به نتیجه‌ای رسید که با استفاده از آن کوره را از حالت واژگونه و غیرعادی بیرون آورد.

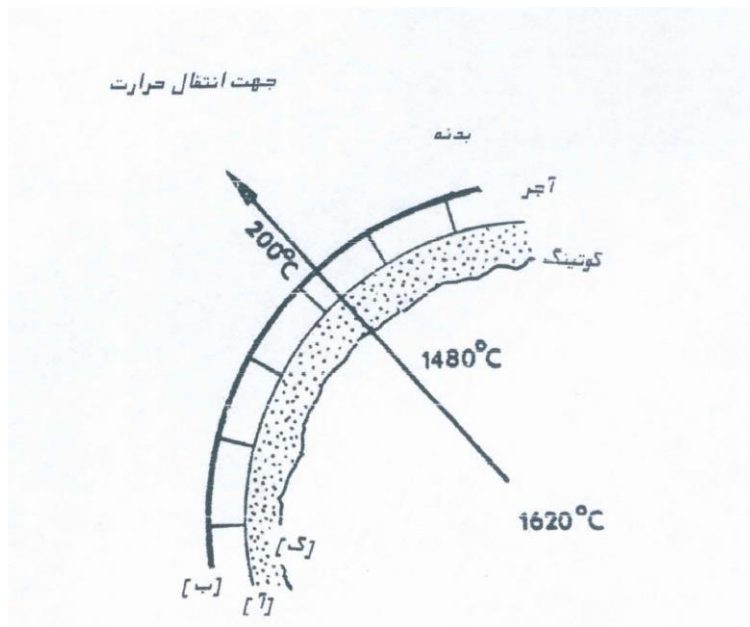
کوتینگ: وجود کوتینگ (قشر محافظ - آستر - پوشش) روی آجر کمک موثری به تداوم عمر آجر است. آجر چینی مکرر باعث هزینه‌های گرانی می‌شود، مضافاً افت تولید را نیز به دنبال دارد. نقش یک کوره بان در تداوم عمر آجر و یا کم بودن عمر آجر از جمله نقشهای اصلی است.

جدول ۱-۵ دمای ذوب آجرهای دیرگداز	
نوع آجر	دمای ذوب (درجه کلوین)
نسوز معمولی	۱۶۰۰ - ۱۷۰۰
سیلیسی	۱۷۰۰
کائولنی	۱۷۸۵
رسی غنی از آلومین	۱۸۰۲ - ۱۸۸۰
آلومین	۲۰۵۰
منیزی	۲۲۰۰
زیر کونیوم	۲۲۰۰ - ۲۷۰۰

آستر کوره یا کوتینگ عبارتست از مقداری کلینکر یا ذرات غبار داخل کوره که به صورت مایع یا خمیری درآمده‌اند و با نزدیک شدن به بدنه کوره بر روی آجر می‌چسبند و به صورت جامد درمی‌آیند. شکل (۲-۵) ذرات جامد شده (ک) در شکل (۲-۵) تا موقعی در روی سطح کوتینگ یا آجر باقی می‌مانند که درجه حرارت آنها پائین‌تر از درجه حرارت نقطه ذوبشان باشد از سوی دیگر تشکیل کوتینگ تا جایی ادامه پیدا می‌کند که درجه حرارت سطح به درجه حرارت نقطه ذوب ذرات چسبیده برسد.

در مواقعی که کوره با این چنین درجه حرارتی کار می‌کند، کوتینگ باقی خواهد ماند. از جنبه تئوریک این بدان معنی است که دیگر کوتینگی تشکیل نخواهد شد.

هنگامیکه این درجه حرارت بالا برود، ذرات موجود در روی سطح کوتینگ شروع به ذوب شدن می‌کنند و از حالت جامد به مایع تبدیل می‌گردند و سپس از پوسته کوتینگ جدا شده و وارد کلینکر می‌شوند.



شکل ۲-۵- جهت انتقال حرارت از مرکز کوره به بدنه

بین سطح کوتینگ و بدنه کوره تفاوت درجه حرارتی وجود دارد که وجود این تفاوت درجه حرارت باعث انتقال حرارت از داخل کوره به بیرون کوره می‌شود، میزان انتقال حرارت بستگی به قابلیت هدایت حرارت کوتینگ و آجر دارد. هرچه هدایت حرارتی آجر بالا باشد شانس تشکیل کوتینگ بیشتر است.



شکل ۳-۵ کوتینگ روی آجرچینی های کوره

رنگ کوتینگ حاوی بسیاری نکات در مورد شرایط حرارتی و درجه حرارت منطقه پخت می‌باشد. در شرایط کار عادی کوره رنگ کوتینگ بین زرد و سفید می‌باشد. هنگامیکه تغییر رنگ به سمت سفید باشد بیانگر داغ شدن منطقه پخت است.

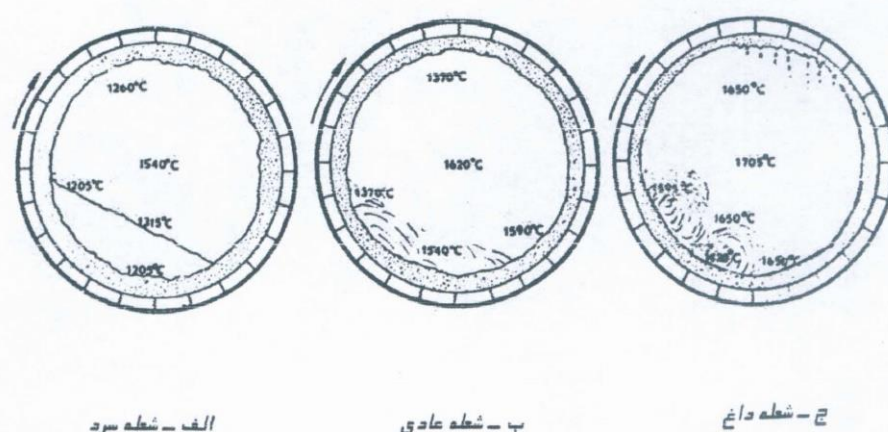


از آنجائیکه کوتینگ در ابتدا از فاز مایع داخل منطقه پخت جدا شده است، از این رو درصد فاز مایع موجود در کلینکر دارای نقش مهمی در نحوه تشکیل کوتینگ است. هرچه مقدار فاز مایع در منطقه پخت بیشتر باشد سرعت تشکیل کوتینگ بیشتر است (نسبت به مواردی که مقدار فاز مایع کم است). هرچقدر مواد زود ذوب (کمک ذوب) نظیر آهن-آلومینیوم منیزیم و قلیائی‌ها در خوراک کوره بیشتر باشد، میزان سیلان مواد بالا می‌باشد و درصد فاز مایع بیشتر خواهد بود. به دلیل ذوب پائین و فراریت بالای مواد قلیائی، این مواد در درجه حرارت منطقه پخت تبخیر و وارد فاز گازی (جریان گاز کوره) می‌شوند و در قسمت‌های عقب‌تر کوره ایجاد کوتینگ ناخواسته و گرفتگی و در موارد زیادی ایجاد رینگ (طوق) که عاملی مزاحم است، می‌نمایند. از آنجائیکه درجه حرارت سطح کوتینگ احتمالاً دارای عمده‌ترین نقش در تشکیل آستر می‌باشد، از این رو دقت در چگونگی شکل شعله، طول شعله و جهت شعله که تعیین کننده درجه حرارت سطح کوتینگ است دارای اهمیت ویژه است. شعله‌ای که زیاد کوتاه باشد به صورت توپی و پر حرارت می‌باشد و این حرارت در سطح کمی از داخل کوره پخش می‌گردد و در نتیجه دارای اثر سایشی و خورنده روی آستر خواهد بود. شعله بلند برای تشکیل آستر مفیدتر است. البته شعله هرچقدر کوتاه‌تر باشد، کنترل منطقه پخت راحت‌تر است و این کوتاه بودن نباید آنچنان باشد که اثر سوء روی کوتینگ بگذارد.

## ۲-۵- کوره بان و کوتینگ (آستر کوره)

نحوه راهبری کوره و کوره‌بانی از جمله عوامل و ضرورت‌های اساسی برای تشکیل کوتینگ می‌باشد. کوره‌ای را در نظر بگیرید که خوراک آن دارای نقطه انجماد (میعان) ۱۳۱۵ درجه سانتیگراد و درصد فاز مایع برابر ۲۴ درصد باشد. سه حالت برای این کوره، که در فاصله وسیع درجه حرارت داغ تا سرد کار می‌کند. فرض نمائید شکل (۴-۵).

حالت (الف) حالتی است که کوره سرد است. در این حالت تقریباً کوتینگ تشکیل نمی‌شود. درجه حرارت سطح کوتینگ و همچنین درجه حرارت مواد داخل منطقه پخت آنقدر پائین است که امکان بوجود آمدن مقدار لازم از فاز مایع برای تشکیل آستر فراهم نیست.



شکل ۴-۵- حالات مختلف منطقه پخت

حالت (ب) حالتی است که کوره در شرایط عادی است و مقدار فاز مایع در حد لازم (حدود ۲۴٪) و مناسب برای تشکیل آستر می‌باشد. درجه حرارت سطح آستر به هنگام بیرون آمدن و همچنین رفتن زیر مواد

(ضمن چرخش کوره) مقداری کمتر از نقطه انجماد ذرات مواد منطقه پخت می‌باشد و در نتیجه ذراتی که به مجاورت آستر می‌رسند منجمد شده و تا آنجائی که به سطح آستر می‌چسبند که درجه حرارت سطح به نزدیک نقطه انجماد برسد ( $1315^{\circ}\text{C}$ ). در این حالت آستر به نقطه تعادل رسیده است.

حالت (ج) معرف حالتی است که کوره داغ است و در این حالت به دلیل فوق‌العاده بالا بودن درجه حرارت مواد و آستر، مقدار فاز مایع زیاد است. از آنجائیکه تمام درجه حرارتها بالاتر از نقطه انجماد است، از این رو کوتینگ ذوب شده و از بدنه کوره جدا و وارد فاز مایع می‌شود. مواد داخل کوره نیز به دلیل بالا بودن مقدار فاز مایع شروع به سر رفتن و بالا رفتن از جداره کوره می‌نماید. شاید نیاز به تذکر نباشد که پدید آمدن این حالت برای کوره بسیار زیان‌آور است.

به طور خلاصه عوامل حاکم بر تشکیل یا از بین رفتن کوتینگ (آستر) عبارتند از:

الف- ترکیب شیمیائی خوراک کوره و مقدار فاز مایع

ب- قابلیت هدایت حرارتی آجر نسوز

ج- درجه حرارت مواد در لحظه تماس با کوتینگ

د- درجه حرارت سطح کوتینگ به هنگام تماس با مواد داخل کوره

و- شکل و درجه حرارت شعله

ه- سایر عوامل (در قسمت بعد توضیحات بیشتری داده خواهد شد).

شناخت بیشتر کوتینگ و رفتار آن: رنگ کوتینگ حاوی بسیاری نکات در مورد شرایط حرارتی و درجه حرارت منطقه پخت می‌باشد. در شرایط کار عادی کوره رنگ کوتینگ بین زرد و سفید می‌باشد. هنگامیکه تغییر رنگ به سمت سفید باشد بیانگر داغ شدن منطقه پخت است.

با توجه به اینکه مقدار زیادی حرارت به طریق تشعشع و هدایت از بدنه کوره تلف می‌شود و از این رو اهمیت درجه حرارت سطح روئی کوتینگ محرز می‌گردد. مضافاً اینکه کوتینگ نقش مخزن ذخیره حرارت منطقه پخت را نیز بازی می‌کند. با داشتن کوتینگ داغ می‌توان در بسیاری از موارد عوارض هجوم مواد خام و ناپخته به منطقه پخت را خنثی نمود. در صورتیکه درجه حرارت کوتینگ افت نماید و بار زیادی در منطقه پخت باشد چاره‌ای جز پائین آوردن دور کوره وجود ندارد.

علاوه بر رنگ، حالت عمومی کوتینگ نیز مهم است. می‌بایستی کوره‌بان توجه و سعی در بررسی نقطه‌های ضعیف با کوتینگ نازک، جاهائی که کوتینگ ریزش کرده است و جاهائی از منطقه پخت که در حال بستن رینگ است بنماید. این بررسیها هرچه زودتر صورت بگیرد (درست در مواقعی که تغییراتی در کوتینگ بوجود می‌آید) مفیدتر و دارای درجه اهمیت بیشتری است. این وظیفه بر عهده کوره‌بان است که همواره سعی در نگهداری کوتینگ و شکل‌گیری و تشکیل آن بنماید تا بدینوسیله از فرسایش سریع آجر و استهلاک بدنه کوره جلوگیری شود.

حالتی وجود دارد که اگر سریعاً چاره جوئی نشود، خسارت زیادی به کوره وارد می‌گردد. این حالت عبارتست از موقعی که منطقه پخت شدیداً داغ شده است و کلینکر شروع به دوییدن و سر رفتن می‌کند. بدتر اینکه اگر داغی زیاد باشد کوتینگ شروع به ذوب شدن می‌کند.

وجود این حالت برای کوتینگ زیانبار است و باعث می‌شود کوتینگ نرم و ذوب شده و ریزش نماید. هنگام پیش آمدن این حالت می‌بایستی کوره‌بان از چگونگی و خوب بودن کلینکر صرف‌نظر کند و صرفاً تمام توجه خود را به حفاظت آجرنسوز و بدنه کوره معطوف نماید و در صورتیکه در تصحیح این حالت غفلتی صورت بگیرد و اقدام فوری نشود، لکه‌های سرخی روی سطح خارجی کوره پدید می‌آید که تأیید کننده و حکایت‌گر راهبری غلط کوره است.

به دلیل اینکه ریزش کوتینگ و پدید آمدن لکه‌های سرخ باعث گرانتترین تعمیرات برای کوره است، لذا کوره‌بان بایستی نهایت توجه را به حفظ کوتینگ بنماید. عمده‌ترین عوامل پدیدآورنده این حالت از کوره عبارتند از: داغ شدن منطقه پخت، سرشکن شدن و نازک بودن آجر، نوسان و تغییرات شدید در ترکیب خوراک کوره، قطع بار کوره پیشروی و طی مسیر ناجور و نامنظم مواد در داخل کوره (شرایط سیکلی) و نحوه عمل غلط کوره‌بان. وجود لکه‌های سرخ معرف فرسایش آجر در آن نقاط است.

می‌بایستی کوره‌بان از پیش به وسیله آزمایشگاه در جریان تغییرات مواد قرار بگیرد تا بدینوسیله تغییر احتمالی در قابلیت پخت مواد خام را مدنظر داشته باشد. هنگامیکه مواد به سمت زودپز بودن تغییر می‌کند، می‌بایستی حدود ده دقیقه قبل از ورود مواد به منطقه پخت سوخت را کمتر کرد.

در صورت تغییر مواد به سمت زودپز بودن، خطر ریزش کوتینگ وجود دارد. اگر مواد به سمت دیرپز بودن تغییر نماید، می‌بایستی کوره‌بان مطمئن از گرم بودن نسبی کوره باشد و مضافاً اینکه آن را برای شرایط پخت مشکل‌تر آماده نماید.

هرگز نبایستی اجازه داد برای مدت بیش از ۵ دقیقه (برای کوره خشک) کوره با دور بالا و در حالتی که بار قطع شده است کار بکند. اگر چنین شود قسمتی از کوره خالی می‌شود و مناطق پخت و عقب کوره به شدت داغ می‌شوند. در این حالت باید دور کوره را کم کرد و به حداقل ممکن رسانید تا فضای خالی در کوره پیدا نشود. در ضمن همزمان با کم کردن دور کوره بایستی دور فن و مقدار سوخت نیز کم شود تا از افزایش درجه حرارت نقاط مختلف سیستم پخت پیشگیری شود. چنانچه در فاصله زمانی مذکور رفع اشکال تغذیه نشد می‌بایستی کوره متوقف شود.

ریزش کوتینگ و پدید آمدن لکه‌های سرخ می‌تواند ناشی از تنظیم غلط مشعل یا شکل شعله (حتی در شرایطی که منطقه پخت دارای درجه حرارت عادی است) باشد. این حالت را خورندگی شعله (Flame Erosion) می‌نامند و ناشی از تمرکز شدید حرارت در قسمت محدودی از جداره داخل کوره می‌باشد.

شوک حرارتی ناشی از سریع گرم شدن یک کوره سرد باعث سرشکن شدن آجرهای کوره و در صورت تکرار باعث پدید آمدن لکه سرخ روی بدنه و گسترش آن می‌گردد.

درحالتی که کوتینگ ریزی شده است و درجه حرارت بدنه بالا رفته است، ولی تغییر رنگی در بدنه ملاحظه نمی‌شود، در صورت امکان بایستی نقطه تاریک را از منطقه بحرانی (به کمک کم کردن مقدار جری سوخت یا تغییر موقعیت مشعل) تغییر مکان داد. همچنین تغییر شکل از تویی به کشیده خالی از فایده نخواهد بود. برای این منظور کافی است مقداری هوای اولیه کاهش داده شود. تا حد امکان بایستی از سرد شدن کوره و پدید آمدن حالت واژگونه پرهیز نمود.

در حالتی که مختصر لکه سرخ تیره روی بدنه ملاحظه می‌شود، نیز باید طبق دستورالعمل فوق و با توجه به احتراز از واژگونه شدن کوره عمل شود.

در حالتی که لکه سرخ روشن در حد یک متر از محیط کوره پدیدار می‌شود، بوجود آوردن و تشکیل کوتینگ کار مشکلی خواهد بود. در این حالت بایستی برای جلوگیری از تغییر شکل بدنه کوره اقدام فوری انجام داد. برای این منظور کلاً شعله را خاموش نمائید و کوره را در حال چرخش (بدون سوخت) نگهدارید تا نقطه تاریک مواد به روی منطقه بحرانی (لکه) برسد. کوره را در حالتی نگه دارید که لکه زیر پوشش مواد قرار بگیرد.

پس از این مرحله کوره را طبق دستورالعمل مربوط به توقف برای آجرچینی راهبری نمائید.

دو وسیله موثر دیگر برای تشکیل هرچه بهتر کوتینگ وجود دارد:

۱- در واحدهائی که مواد دیرپز هستند، استفاده از کمک ذوب برای دو سه روز اول راه‌اندازی (بعد از هر آجرچینی) بسیار مفید خواهد بود. این عمل برای مواردی که لکه سرخ کوچک پیدا شده نیز مفید است.

۲- دمیدن هوا به روی لکه سرخ کوچک مفید است. با در نظر گرفتن صفحه ساعت، می‌بایستی موقعیت دمنده (فن) هوا در حدود موعیت ساعت ۴ تا ۸ باشد. جریان دمیدن هوا یا پاشیدن آب بایستی تا موقعی ادامه یابد که درجه حرارت بدنه در آن نقطه تا حدود ۲۰۰ درجه سانتیگراد افت نماید. برای لکه‌های سرخ به هیچ وجه نباید از آب استفاده کرد. بسیاری از کوره‌ها دارای سیستم اندازه‌گیری پیوسته و مداوم درجه حرارت بدنه کوره می‌باشند. این دستگاه وسیله موثری برای تشخیص حالات افزایش درجه حرارت بدنه کوره در دقیقه‌های اول می‌باشد، لذا کمک موثری در تداوم عمر آجر است.

تا حدود ۳۱۵ درجه سانتیگراد درجه حرارت بدنه خطرناک نیست، وقتی که درجه حرارت بالاتر از این رقم می‌شود می‌بایستی کوره‌بان تنظیمات و اقدامات لازم را بکند. در درجات حرارت ۴۲۵ تا ۴۸۰ درجه سانتیگراد لکه‌ها در شب قابل رویت هستند. در درجات حرارت ۴۵۰ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد لکه‌ها قرمز تیره هستند و در درجه حرارت بالاتر از ۶۵۰ درجه سانتیگراد لکه‌ها قرمز روشن می‌باشند و احتمال تغییر شکل بدنه کوره وجود دارد.

### ۳-۵- عقب کوره

یکی از راههای کنترل و راهبری کوره، کنترل عقب کوره است. شاید دلیل اساسی کنترل عقب کوره آگاه شدن زودتر از موقع از اتفاقاتی است که چند دقیقه بعد ممکن است در منطقه پخت صورت گیرد. این کنترل از دو طریق صورت می‌گیرد:

۱- کنترل درجه حرارت عقب کوره

۲- مکش عقب کوره

کنترل درجه حرارت عقب کوره دارای نقش مهمتر و دقت بالاتری است.

#### ۱-۳-۵- درجه حرارت عقب کوره

منظور از درجه حرارت عقب کوره، درجه حرارت گازهای خروجی از قسمت انتهائی کوره است. کنترل دقیق و به موقع درجه حرارت عقب کوره، کلید موفقیت در پایدار نگهداشتن حالت و نحوه کار کوره می‌باشد. دلیل معتبری که در کنترل درجه حرارت عقب کوره (که دارای فاصله تغییرات کمی است) نهفته است، این است

که: در خوراک کوره، ضمن عبور و سیر در داخل کوره، تغییرات فیزیکی و شیمیایی صورت می‌گیرد و به خاطر پایداری هرچه بیشتر کار کوره نایستی از هیچ یک از این تغییرات چشم پوشی کرد. پخت کامل و مناسب وقتی صورت می‌گیرد که خوراک کوره قبل از ورود به منطقه پخت کلسینه شده باشد. به عبارت دیگر، کلینکر بوجود نمی‌آید مگر اینکه تمام  $CO_2$  موجود در سنگ آهک مواد خام بیرون رفته باشد. درجه حرارت عقب کوره مناسبترین وسیله برای اپراتور کوره جهت کنترل تغییرات مذکور (خشک شدن، درصد تکلیس و داغ بودن مواد ورودی به کوره) است.

برای مقدار معین دور کوره و تغذیه کوره، درجه حرارت ایده‌آلی برای عقب کوره وجود دارد. اگر حرارت زیادی به عقب کوره برود، باعث می‌گردد که خوراک کوره به طور زودرس کلینکر شود و در نتیجه پخت مواد در نقاط عقب‌تر کوره صورت گیرد. این عمل باعث خواهد شد که بازده حرارتی سوخت کم شود و سوخت مصرفی زیاد گردد. به عکس وقتی که حرارت کمتری به عقب کوره برسد، نتیجه این خواهد شد که خوراک کوره به صورت ناقص تکلیس شود و سپس وارد منطقه پخت گردد و در نتیجه مواد فوق العاده دیرپز است و احتمالاً باعث واژگونه (Upset) شدن کوره می‌شود.

درجه حرارت عقب کوره تحت فرمان چهار عامل است:

- ۱- دور فن کوره باعث تغییر مکش عقب کوره و سرعت گازهای خروجی می‌شود.
  - ۲- مقدرا سوخت مصرفی در کلساینر که روی میزان تکلیس خوراک کوره و داغ شدن آن اثر دارد.
  - ۳- مقدرا سوخت مصرفی در مشعل اصلی کوره که باعث تغییر گرمای منطقه پخت می‌گردد.
  - ۴- مقدار خوراک کوره که باعث تغییرات در درصد پر بودن کوره می‌گردد.
- از این ۴ عامل، عوامل دور فن و مقدار سوخت، علت‌های اصلی تغییرات درجه حرارت عقب کوره هستند. بالا رفتن درجه حرارت عقب کوره ممکن است به دلیل افزایش دور فن، یا افزایش مقدرا سوخت یا کاهش خوراک کوره باشد. بعکس پائین آمدن درجه حرارت عقب کوره می‌تواند منتج از پائین آمدن دور فن، کاهش سوخت و افزایش خوراک کوره باشد.

دو حالت عمومی در رابطه با کنترل درجه حرارت عب کوره پیش می‌آید که ضرورت به خرج دادن دقت و مهارت توسط کوره‌بان را ایجاد می‌نماید. کوره‌ای را با شرایط زیر در نظر بگیرید:

درجه حرارت عقب کوره	$850^{\circ}C$ (مطلوب) $870^{\circ}C$ (موجود)
درجه حرارت منطقه پخت	$1540^{\circ}C$ (مطلوب) $1565^{\circ}C$ (موجود)
درصد اکسیژن گاز خروجی	$1-1/5$ (مطلوب) $0/7$ (موجود)

به طوریکه ملاحظه می‌گردد درجه حرارت عقب کوره و منطقه پخت هر دو بالاست و درصد اکسیژن پائین‌تر از حد مجاز است. دور فن را نمی‌توان پائین آورد چون باعث کم شدن اکسیژن و سوختن ناقص سوخت می‌شود. فاکتور ارزشمند موجود بالا بودن درجه حرارت منطقه پخت است، چون منطقه پخت با حرارت مطلوب مهمترین ضرورت برای هرگونه تنظیمی است. اولین قدم در تنظیم کوره‌ای با این حالت کاهش جزئی از مقدار سوخت مصرفی است و در صورتیکه تنظیم دیگری صورت نگیرد. بدینوسیله اکسیژن بالا خواهد رفت. باین عمل درجه حرارت منطقه پخت پائین خواهد آمد. از این رو برای جلوگیری از سرد شدن

منطقه پخت و به محض افزایش درصد اکسیژن، دور فن تا آنجائی کم می‌شود که مجدداً درصد اکسیژن به رقم قبلی (۰/۷ درصد) برسد. با این شرایط، درجه حرارت عقب کوره کاهش می‌یابد و از نظر تئوری درجه حرارت منطقه پخت همان درجه حرارت قبلی باقی خواهد ماند زیرا که با کاهش دور فن، حرارت کمتری به عقب کوره می‌رود.

برای اینکه درجه حرارت عقب کوره به اندازه ۲۰ درجه سانتیگراد پائین بیاید می‌بایستی روشی که در فوق گفته شد در چند مرحله انجام شود تا ۲۰ درجه سانتیگراد کاهش فوق صورت گیرد.

منطقه پخت می‌بایستی همواره خوب گرم نگهداری شود و هر وقت در انجام مراحل تنظیم فوق مشاهده گردید که درجه حرارت منطقه پخت افت می‌کند، باید تنظیم را متوقف کرد تا منطقه پخت گرم شود.

نشانه‌های خیلی بالا بودن درجه حرارت عقب کوره:

- کوره به طور یکنواخت و به مدت طولانی در حال کار با درصد اکسیژن بالا باشد.
- زودپز بودن مواد به صورت مداوم که باعث شود منطقه پخت بیش از حد لازم به عقب کشیده شود.
- نحوه کار قبلی کوره نشان بدهد که در حالت پایدار و با پارامترهای یکسان، کوره با درجه حرارت عقب کمتری کار می‌کرده است.

- کوره با بازده حرارتی پائین سوخت کار بکند. بدین معنی که برای مقدار معین و با ترکیب معین خوراک کوره، سوخت زیادتری مصرف شود.

نشانه‌های زیاد پائین بودن درجه حرارت عقب کوره:

- کوره برای مدت طولانی با درصد اکسیژن پائین کار کند.
- ورد موادی که به صورت ناقص کلسینه شده‌اند به منطقه پخت و ایجاد شرایط پخت مشکل برای مدت زمان طولانی.

- وجود رطوبت بیش از حد معمول در مواد خام ورودی به پیش گرمکن.

نکته مهم، بررسی برگه‌های گزارش، ثباتها و سایر اطلاعات موجود در مورد حالات قبلی موید کار نسبتاً پایدار کوره می‌باشد. در ضمن باید توجه کرد که کنترل لحظه به لحظه درجه حرارت عقب کوره از ضرورت‌های پایدار کار کردن کوره است و اصولاً در شرایطی که نوسان درجه حرارت عقب کوره وجود دارد، شانس پایدار بودن کوره در حد صفر می‌باشد.

## ۲-۳-۵- مکش عقب کوره

از مکش عقب کوره برای پی بردن به تشکیل رینگ، جمع شدن مواد، اشکالات بوجود آمده در فن کوره، نشیتهای احتمالی هوا در قسمتهای فی‌مابین کوره و فن استفاده می‌شود. از مکش عقب کوره نمی‌توان به عنوان عامل کنترل کننده و تعیین کننده درجه حرارت عقب کوره استفاده کرد، زیرا که عوامل زیادی روی این مکش تاثیر دارند. برای رسیدن به شرایط عادی و رضایتبخش کار کوره می‌بایستی شرایط اصلی یعنی ثابت بودن درجه حرارت عقب کوره، درصد اکسیژن در حدود ۱/۵-۰/۷ درصد و ثابت بودن درجه حرارت هوای ثانویه (تا حد امکان) فراهم باشد. برای دستیابی به این شرایط می‌توان دور فن را تغییر داد و بدینوسیله مکش عقب کوره تغییر می‌نماید. مشروط به ثابت ماندن سایر پارامترها، با افزایش دور فن، مکش (خلاء- فشارمنفی) عقب کوره افزایش خواهد یافت.

تغییرات دور فن کوره، عامل اصلی تغییرات مکش در عقب کوره می‌باشد. دلیل این امر تغییر سرعت جریان گازهای کوره است. از این رو وقتی که کوره‌بان تغییری در مکش عقب کوره ملاحظه می‌کند، می‌بایستی در وهله اول این سوال مطرح شود که آیا دور فن تغییر کرده است یا نه؟ در صورتی که جواب منفی باشد، بایستی علت را با توجه به طراحی سیستم پخت احتمالاً در عواملی دیگر نظیر باز بودن دریچه، تغییر درصد باز بودن هوای سوم و... پیدا کند.

در صورت باز بودن هر یک از دریچه‌های فوق، مکش عقب کوره افت می‌کند. دلیل این موضوع این است که هوای مکیده شده از طریق این دریچه‌ها باعث ممانعت از مکش گازهای کوره می‌گردند. بعکس در صورت بسته شدن هریک از دریچه‌های مذکور مکش کوره بالا خواهد رفت.

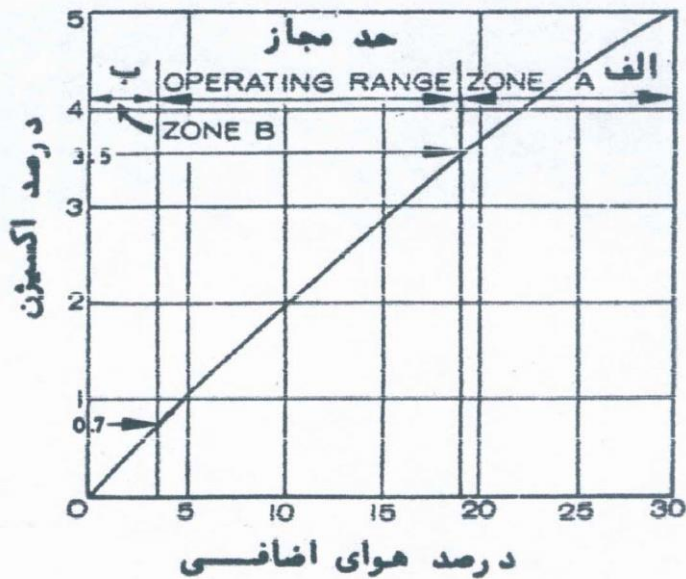
فرض نمائید که افت شدید مکش در عقب کوره پیش آمده است ولی نه دور فن تغییر کرده است و نه دریچه‌ای باز می‌باشد. منبع ایجاد این حالت را بایستی در داخل کوره پیدا کرد. وقتی که دور فن ثابت است، ولی یک شکست یا حرکت ناگهانی در رینگ مواد داخل کوره پیش می‌آید، مکش عقب کوره شدیداً افت می‌نماید. بعکس درحالتی که رینگ در حال تشکیل شدن باشد مکش عقب کوره نیز تا ادامه افزایش رینگ به طور پیوسته بالا خواهد رفت. پدید آمدن این حالتها از دلایل عمده دیگر دقت کردن روی مکش عقب کوره است.

### ۳-۳-۵- اکسیژن عقب کوره

همواره می‌بایستی دستگاههای سنجش درصدی از اکسیژن را نشان دهند و هیچگاه منواکسیدکربن در گازهای خروجی وجود نداشته باشد. به عبارت دیگر هرگز نبایستی مقدار هوا آنچنان باشد که عمل سوختن ناقص باشد.

برای اطمینان از سوختن کامل سوخت، می‌بایستی همواره با مقداری هوای اضافی کار کرد تا به درصد اکسیژنی معادل ۰/۷ تا ۱/۵ درصد رسید. چنانچه درصد اکسیژن خیلی کم باشد (کمتر از ۰/۴ درصد) در این صورت سوختن ناقص خواهد بود و نمایانگر مصرف سوخت زیادی است. دراینچنین شرایطی شعله سردتر است و درجه حرارت منطقه پخت سریعاً افت می‌کند، مضافاً اینکه منواکسیدکربن نیز پدید خواهد آمد که در صورت جلوگیری نکردن از آن خطر انفجار وجود دارد. منطقه (ب) از شکل (۴-۵).

از سوی دیگر چنانچه مقدار اکسیژن خیلی بالا باشد (بیش از ۲/۵ درصد) این نتیجه مترادف با بازده پائین سوخت خواهد بود. زیرا که اولاً مقداری سوخت جهت گرم کردن هوای اضافی ورودی به کوره مصرف می‌گردد، ثانیاً حرارت با ارزش منطقه پخت به دلیل وجود هوای اضافی به عقب کوره (که نیازی به آن نیست) برده می‌شود. (منطقه الف- شکل ۴-۵) پرواضح است که اگر مقدار هوا خیلی کم و یا خیلی زیاد باشد در هر دو صورت به زیان کوره خواهد بود. در شرایط پایدار کوره می‌بایستی درصد اکسیژن در حدود ۰/۴ تا ۲/۵ درصد و ترجیحاً بین ۰/۷ تا ۱/۵ درصد باشد. توجه شود که این ارقام برای حالت پایدار (تثبیت شده) کوره می‌باشد. در حالتی که کوره ناپایدار (واژگونه) است امکان این هست که در خارج از حدود ذکر شده کارکرد و بدینوسیله منطقه پخت و عقب کوره را به شرایط مطلوب رسانید.



شکل ۵-۵- رابطه بین درصد هوای اضافی و اکسیژن عقب کوره

#### ۴-۵- کنترل مقدار سوخت

منظور از میزان سوخت عبارت است از مقدار سوخت مجاز برای کوره. هرگز نباید کوره‌بان فقط با کم و زیاد کردن سوخت اقدام به تنظیم درجه حرارت منطقه پخت بنماید و یا اینکه با افزایش دور فن کوره خود را مجاز به بالا بردن سوخت بداند. با این وجود باید بر این نکته تاکید کرد که تنظیم سوخت دارای سریعترین عکس‌العمل، خصوصاً برای مواقعی که هدف تغییرات درجه حرارت منطقه پخت است، می‌باشد. به منظور توجیه یک کوره‌بان درباره کنترل درصد اکسیژن، درجات حرارت عقب کوره و منطقه پخت، به هنگام اقدام به تغییر مقدار سوخت، مثال زیر قابل توجه است:

در حالت عادی ارقام چنین است:

درجه حرارت عقب کوره ۸۱۰ درجه سانتیگراد

درجه حرارت منطقه پخت ۱۵۴۰ درجه سانتیگراد

درصد اکسیژن در گاز خروجی کوره ۱ تا ۱/۵ درصد

حالا فرض نمائید که هدف عقب کوره است، درصد اکسیژن رضایتبخش و برابر ۱/۵ درصد است، ولی درجه حرارت منطقه پخت به نحو خطرناکی بالا می‌باشد و برابر ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد است. در این درجه حرارت، کوتینگ صدمه‌پذیر است و کلینکر شیشه‌ای می‌شود. در اینچنین حالتی باید به طریق زیر عمل شود:

۱- سوخت را کم نمائید، این عمل باعث افت درجه حرارتهای عقب کوره و منطقه پخت خواهد شد و در ضمن درصد اکسیژن بالا خواهد رفت.

۲- دور فن کوره اضافه شود، این عمل درصد اکسیژن و درجه حرارت عقب کوره را بالا خواهد برد.  
مثال ۲:

درجه حرارت منطقه پخت ۱۳۷۵ درجه سانتیگراد

درجه حرارت عقب کوره ۸۳۵ درجه سانتیگراد

درصد اکسیژن گاز خروجی ۰/۴ درجه سانتیگراد



در این مثال درجه حرارت منطقه پخت آنچنان پائین است که خطر تولید کلینکر ناپخته وجود دارد و در این حالت نیاز به سوخت بیشتر وجود دارد. ولی به دلیل کم بودن اکسیژن این کار امکان پذیر نیست. از آنجائیکه درجه حرارت عقب کوره مقداری بالاست (حدود ۲۵ درجه سانتیگراد)، افزایش دور فن کوره برای افزایش درصد اکسیژن نیز ناممکن است. در این حالت به طریق زیر عمل نمائید:

- قدم اول عبارتست از کاهش دور کوره که باعث بالا رفتن درجه حرارت منطقه پخت می شود.
- قدم دوم کاهش دور فن و مقدار سوخت به طور همزمان به منظور تثبیت درجه حرارت عقب کوره و درصد اکسیژن در حدود ۰/۸ تا ۰/۴ درصد.

مثال ۳:

درجه حرارت منطقه پخت ۱۴۲۵ درجه سانتیگراد

درجه حرارت عقب کوره ۷۹۰ درجه سانتیگراد

درصد اکسیژن ۰/۴ درصد

در این حالت نیز منطقه پخت سرد است ولی برعکس مثال ۲ عقب کوره نیز کمتر از درجه حرارت عادی می باشد.

در این صورت قدم اول عبارتست از بالا بردن دور فن که باعث بالا رفتن درصد اکسیژن، درجه حرارت عقب کوره و پائین آمدن حرارت منطقه پخت می گردد. قدم دوم افزایش مقدار سوخت تا حدی است که درصد اکسیژن در فاصله ۰/۴ تا ۰/۸ درصد باقی بماند. این عمل همچنین باعث افزایش درجه حرارت در طول کوره خواهد شد.

## ۵-۵- کنترل مقدار خوراک کوره و دور کوره

کوره ها دارای دستگاه توزین و اندازه گیری مقدار خوراک کوره هستند و این سیستم همزمان (Synchronized) و هم آهنگ با دور کوره است و بدین وسیله درصد بار و عمق بستر مواد برای دوره های مختلف کوره یکنواخت حفظ می شود.

چهار قاعده اصولی حاکم بر میزان خوراک کوره و پیشروی مواد در کوره را که می بایستی کوره بان بدانها توجه نماید و به یاد داشته باشد به شرح زیر است:

- ۱- هرگز نبایستی بار کوره برای مدت بیش از ۵ دقیقه قطع باشد.
  - ۲- هرگز نبایستی بالا بردن بار کوره به قیمت از دست رفتن ثبات و پایداری کوره تمام شود.
  - ۴- در مواقعی که کوره بان از قبل توجه می شود که تغییراتی در بستر مواد واقع در زیر شعله در حال وقوع است هرگز نبایستی در انجام تنظیمات لازمه جهت پیش گیری تعلل نماید.
- کنترل دور کوره: به دلیل تغییراتی که پیش می آید، یک کوره هرگز نمی تواند برای مدت زمان نامحدود با ثبات و پایدار کار بکند. اگر هدف تولید کلینکر مرغوب باشد، دیر یا زود با پیش آمدن تغییراتی بایستی دور کوره را تغییر داد.

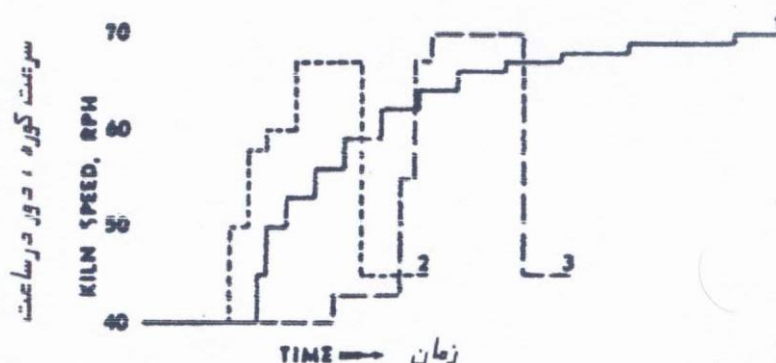
فرض کنید کوره برای مدت زمانی طولانی به صورت متعادل و پایدار کار می کند و سپس کوره بان متوجه هجوم مقداری مواد در قسمتهای جلو شعله می شود. در اینجا اپراتور باید حساب کند که آیا می تواند فقط با

افزایش مقدار سوخت جلو بار اضافی را بگیرد یا اینکه شرایط آنچنان است که نقطه تاریک مواد، با وجود افزایش مقدار سوخت، قادر خواهد بود به زیر شعله و مرکز پخت نفوذ نماید.

فرض نمائید شرایط آنچنان است که نمی‌توان دور کوره را ثابت نگه داشت و ضرورت کاهش دور حتمی است. پس از آهسته کردن کوره تغییراتی پدید می‌آید که می‌بایستی کوره‌بان مواظب آنها باشد و اعمال اصلاحی لازم را انجام دهد. در ابتدا درجه حرارت عقب کوره شروع به بالا رفتن می‌کند. پدید آمدن این حالت مطلوب نیست و می‌بایستی میزان تغییرات درجه حرارت عقب کوره حدود  $\pm 10$  درجه سانتیگراد باشد. با کم کردن دور فن می‌توان از افزایش درجه حرارت عقب کوره پیش‌گیری کرد. از آنجائیکه با کم کردن دور فن، مکش عقب کوره کاهش می‌یابد لذا اکسیژن کافی برای سوخت کامل وجود نخواهد داشت. برای حل این مشکل می‌بایستی مقدار سوخت را آنقدر کم کرد که درصد اکسیژن به حد  $0/4$  تا  $0/8$  درصد برسد. به خاطر کم شدن دور کوره، کلینکر کمتری وارد خنک کن می‌شود و لذا درجه حرارت هوای ثانویه و فشار هوای زیر صفحات خنک کن کاهش می‌یابد. لذا بایستی سرعت حرکت صفحات خنک کن را کاهش داد تا بدینوسیله فشار هوای زیر صفحات را کم و بیش ثابت نگه داشت. البته انجام این کار مشکل است و در دور خیلی پائین کوره بدست آوردن فشار هوای معادل دور عادی کوره تقریباً امکان‌پذیر نیست.

هنگامیکه دو کوره پائین است تصمیم‌گیری در مورد هر چه زودتر بالا بردن دور از جمله ضرورتهاست. در وهله اول بایستی حصول اطمینان از گرم شدن منطقه پخت بشود و یا اینکه نشانه‌هایی از اینکه در چند دقیقه دیگر (از روشن تر بودن رنگ مواد) منطقه پخت گرم خواهد شد، پدیدار گردد. در غیر این صورت هرگز نبایستی اقدام به افزایش دور کرد. پس از مطمئن شدن از اینکه منطقه پخت به حد کلینکر کردن رسیده است بایستی بلافاصله دور افزوده شود.

هرچقدر مقدار افزایش دور بیشتر باشد بایستی فاصله زمانی اقدام به افزایش دور بعدی نیز بیشتر انتخاب شود. نحوه افزایش دور احتمالاً مهمترین عامل رسیدن به حالت پایدار و تثبیت شده مجدد کوره می‌باشد. در این جهت به سه مثال زیر توجه نمائید. شکل (۵-۵)



شکل ۵-۶- سه نمونه از افزایش دور کوره نسبت به زمان

مثال یک: بیانگر یک حالت اجرایی ایده‌آل افزایش دور است. کوره‌بان دور کوره را در هر مرحله ۵ دور در ساعت (حدوداً  $0/1$  دور در دقیقه) اضافه می‌کند تا به دور ۵۰ دور در ساعت برسد. از این به بعد مقدار

افزایش دور در هر مرحله را کاهش داده و فاصله زمانی بین دو افزایش دور را زیادتیر می‌نماید. مقادیر مربوط عبارتند از:

- در فاصله ۵۰ تا ۶۲ دور در ساعت هر مرحله ۳ دور در ساعت اضافه می‌شود.
  - در فاصله ۶۲ تا ۶۶ دور در هر ساعت هر مرحله ۲ دور در ساعت اضافه می‌شود.
  - در فاصله ۶۶ تا دور کامل ۷۰ دور در ساعت هر مرحله ۱ دور در ساعت اضافه می‌شود.
- مثال ۲: در این مثال کوره‌بان گرفتار اشتباه می‌شود و در شروع (قبل از اینکه منطقه پخت آمادگی داشته باشد) سریعاً دور کوره را اضافه می‌کند. خیلی زود مجبور است که به عقب برگردد و مجدداً شروع به گرم کردن منطقه پخت با دور پائین بنماید.

مثال ۳: در این مثال عمل برعکس مثال ۲ است و کوره‌بان در افزایش دور کوره کندی می‌کند و زمان زیادی کوره در دور پائین باقی می‌نماید. در این حالت منطقه پخت (به دلیل جذب سریع حرارت) کوره‌بان را در فشار افزایش زیاد دور در فواصل زمانی کوتاه قرار می‌دهد. ناخواسته و در فاصله زمانی کمی کوره به دور کامل می‌رسد و این در حالی است که کوره گرفتار بار اضافی شده است و قادر به پخت آن نیست. در این حالت کوره‌بان مجبور است مجدداً دور را کم کند و برنامه گرم کردن را مجدداً آغاز نماید.

توجه داشته باشید که هر وقت دور زیاد می‌شود، به دلیل افزایش مقدار بار درجه حرارت عقب کوره کاهش می‌یابد، لذا بایستی در هر افزایش دور مقدار سوخت و دور فن به نسبت افزوده شود.

حالت ایده‌آلی که در مثال ۱ ذکر شد، بدان معنی نیست که کوره برای مدت زمان طولانی به طور یکنواخت و پایدار با دور کامل کار خواهد کرد. در فواصل زمانی دو تا سه ساعت هجوم مواد مشاهده خواهد شد که الزاماً بایستی دور کاسته شود و در ضمن شدت تهاجم هر بار کمتر از دفعه قبل خواهد بود، در نتیجه فاصله زمانی آهسته‌تر کار کردن کوره به مرور کم می‌گردد و احتمال عادی شدن وضع کوره و رسیدن به دور کامل هر بار بیشتر از بار قبل می‌شود. بعضی مواقع یکبار کم کردن دور کافی است ولی در مواقعی لازم می‌شود که دو یا سه بار عمل آهسته کردن دور کوره صورت گیرد تا کوره به حالت پایدار و تثبیت شده‌ای برسد.

## ۶-۵- کنترل متغیرهای خنک کن مشبک

در این قسمت در مورد متغیرهایی که از خنک کن مشبک (grate Cooler) نظیر فشار هوای زیر صفحات خنک کن، زمان سیر کلینکر در خنک کن، فنهای خنک کن، هوای ثانویه و هوای سوم مطالبی ذکر خواهد شد.

کوره‌بان بایستی آنچنان با خنک کن کار کند که تا حد امکان اهداف زیر حاصل آید:

الف- کلینکر خروجی از خنک کن تا حد امکان دارای پائین‌ترین درجه حرارت باشد. زیرا که کلینکر با درجه حرارت بالا باعث صدمه دیدن سیستم‌های نقاله کلینکر می‌شود، مضافاً مقداری از حرارت قابل بازیابی تلف می‌گردد.

ب- درجه حرارت هوای ثانویه می‌بایستی تا حد امکان ثابت و بالا باشد. این فاکتور از ضرورت‌های کار کردن پایدار و تثبیت شده کوره و همچنین باعث بازده حرارتی بالا می‌باشد.

ج- درجه حرارت هوای اضافی خروجی از خنک کن می‌بایستی تا حد امکان پائین و حجم آن نیز پائین باشد تا بدینوسیله هوای آلوده کمتری به محیط اطراف فرستاده شود.

د- فشار هوای درب کوره (Kiln Hood) می‌بایستی به مقدار جزئی منفی باشد.  
ه- ارتفاع بستر کلینکر در روی صفحات خنک کن آنچنان باشد که هوا به راحتی بتواند از لابه لای آن عبور نماید.

و- اعداد مبنای سنجش (Control Setting) بایستی آنچنان باشند که صفحات کولر، نیروی محرکه خنک کن، خردکن کلینکر از شدت داغ بودن کلینکر آسیب نبیند.  
برای رسیدن به اهداف فوق متغیرهای زیر در اختیار کوره‌بان است:  
۱- با تغییر سرعت حرکت صفحات خنک کن می‌تواند زمان اقامت کلینکر در خنک کن و ارتفاع بستر کلینکر را تغییر دهد.

۲- توزیع هوا در خنک کن را تغییر دهد.

۳- فشار هوا در بخشهای مختلف خنک کن را تغییر دهد.

۴- درصد باز و بسته بودن دریچه هوای سوم را تغییر دهد.

در حالت اضطراری، همانند داغ شدن ناجور خنک کن، دو عامل کنترل دیگر در اختیار کوره‌بان قرار دارد. یکی اهسته‌تر کردن دور کوره و کم کردن مقدار کلینکر ورودی به خنک کن، دیگری کم کردن درجه حرارت کلینکر ورودی به خنک کن به وسیله جلوتر بردن شعله و نزدیکتر کردن مشعل به عقب کوره.

#### ۱-۶-۵- کنترل مکش درب کوره

مقدار معینی هوا برای احتراق و مقدار معینی هوا برای خنک کردن کلینکر لازم است. در شرایط ایده‌آل این دو مقدار هوا تقریباً معادل یکدیگرند و لذا از هوای ورودی به کولر برای تامین اکسیژن برای سوخت مصرفی در کوره و کلساینر استفاده می‌شود. البته به ندرت این حالت پیش می‌آید و اغلب هوای لازم برای خنک کردن کلینکر بیش از هوای موردنیاز کوره و کلساینر است و از این رو خنک کن دارای یک دودکش برای خروج هوای اضافی است.

این دودکش مجهز به دریچه‌ای است که توسط آن مقدار هوای اضافی خروجی کنترل می‌گردد.  
مکش سر کوره به وسیله تنظیم مقدار هوای اضافی خروجی تامین می‌گردد. هنگامی که فشار زیاد بالاست بایستی دریچه را باز کرد و هنگامی که مکش سر کوره خیلی پائین است می‌بایستی دریچه بسته شود.  
فشار سر کوره می‌تواند مثبت یا منفی باشد و قاعده کلی این است که هیچوقت نبایستی با فشار مثبت کار کرد. زیرا در صورت کار با فشار مثبت گرفتار در دسرهایی نظیر غبارآلود بودن جلو منطقه پخت و همچنین سایش دهانه خروجی کوره و سایر وسائل سنجش خواهیم شد.

#### ۲-۶-۵- فشار زیر صفحات خنک کن

کنترل فشار زیر صفحات کولر و جریان هوا مهمترین قسمت از کنترل یک خنک کن هستند. شناخت کامل نسبت به این دو فاکتور ضرورت اساسی راهبری پایدار و متعادل کوره و پیش‌گیری از داغ شدن اجزاء و تشکیلات کولر می‌باشد.

فشار زیر صفحات کولر بستگی به عوامل زیر دارد:

الف- ارتفاع بستر کلینکر روی صفحات

ب- دانه‌بندی متوسط کلینکر

ج- درجه حرارت کلینکر در خنک کن

د- مقدار هوای ورودی به خنک کن

ه- دور خنک کن

### ۳-۶-۵- کنترل درجه حرارت هوای ثانویه

درجه حرارت هوای ثانویه اثر مستقیم روی شکل شعله و نقطه اشتعال شعله دارد. چنانچه درجه حرارت هوای ثانویه متغیر باشد باعث می‌گردد که مکرراً شعله تغییر ماهیت دهد و نهایتاً منطقه پخت تغییر مکان خواهد داد. چنانچه درجه حرارت هوای ثانویه بیش از مقدار  $\pm 40$  درجه سانتیگراد نوسان داشته باشد ثبات کار کوره برای مدت طولانی امکان‌پذیر نیست.

کوره می‌بایستی دارای هوای ثانویه‌ای با بالاترین درجه حرارت ممکن باشد، تا بدینوسیله هم بیشترین رقم حرارت از کلینکر بازیابی شود و هم اینکه بازده سوخت بالا و مصرف سوخت پائین بیاید. درضمن هرچه درجه حرارت هوای ثانویه بالاتر باشد منطقه پخت به خروجی کوره نزدیکتر خواهد بود.

سه عامل عمده روی درجه حرارت هوای ثانویه اثر دارد:

۱- سرعت حرکت صفحات کولر و تناسب آن با حجم و درجه حرارت هوای ورودی به خنک کن.

۲- درجه حرارت و دانه‌بندی کلینکر خروجی از کوره

۳- تولید ساعتی کوره

در شرایط کاری متعادل کوره درجه حرارت هوای ثانویه فقط با تغییر سرعت صفحات کولر تغییر داده می‌شود، این بدان معنی است که ارتفاع بستر کلینکر عامل کنترل کننده است. از این رو با افزایش سرعت حرکت صفحات (ارتفاع کمتر کلینکر) ثابت ماندن سایر متغیرها، درجه حرارت هوای ثانویه افت می‌نماید. با کم کردن سرعت حرکت صفحات و ثابت نگه داشتن سایر متغیرها درجه حرارت هوای ثانویه بالاتر می‌رود.

خلاصه کارهایی که برای بالا بردن یا پائین آوردن درجه حرارت هوای ثانویه باید انجام داد به شرح زیر است:

۱- برای پائین آوردن درجه حرارت می‌توان اعمال زیر را صورت داد:

افزایش سرعت صفحات خنک کن

کاهش ارتفاع بستر کلینکر

کم کردن دانه‌بندی کلینکر

کم کردن مقدار کلینکر

عقب‌تر بردن منطقه پخت

۲- برای بالا بردن درجه حرارت می‌توان اعمال زیر را انجام داد:

کم کردن سرعت حرکت صفحات خنک کن

افزایش ارتفاع بستر کلینکر

افزایش دانه‌بندی کلینکر

افزایش مقدار کلینکر

نزدیکتر کردن منطقه پخت به سمت خروجی کوره

## ۷-۵- بیست و هفت حالت اساسی کوره

در مباحث قبل درباره کنترل درجه حرارت منطقه پخت و درجه حرارت عقب کوره، مکرراً صحبت شد و ضرورت اینکه نباید در راهبری کوره صرفاً به یک متغیر توجه کرد و سایر متغیرها را رها کرد تا به امان خود تغییر نماید، توجه داده شده است.

هدف نهایی یعنی پایداری و بازدهی مطلوب کوره فقط هنگامی دست یافتنی است که کوره‌بان تمام جدیت و سعی خود را معطوف به ایجاد حالت پایدار در سروته، کوره یعنی نگهداشتن تغییرات درجه حرارتهای منطقه پخت و عقب کوره در یک محدوده کوچک نماید. اقدام به تنظیم و تخفیف یک مشکل در یک سر کوره و فراموش کردن اثر این تنظیم روی سمت دیگر کوره منجر به شرایط ناپایدار بعدی خواهد شد. با ذکر دو مثال این اصل مهم راهبری کوره تشریح خواهد شد. در این مثالها عنوان «فعلی» به مفهوم حالت فعلی کوره و «هدف» به مفهوم حالت بهینه و مطلوب کوره است.

مثال ۱	فعلی	هدف
درجه حرارت منطقه پخت	۱۴۰۰ درجه سانتیگراد	۱۴۸۰ درجه سانتیگراد
درجه حرارت عقب کوره	۸۴۰ درجه سانتیگراد	۸۱۵ درجه سانتیگراد
درصد اکسیژن	۲/۵ درصد	۱-۱/۵ درصد

جواب مسئله «کاهش دورفن» است. این تنظیم ساده همزمان سه انحراف از هدف را تصحیح می‌کند. پائین آوردن دورفن باعث کمتر مکیدن حرارت به عقب کوره و در نتیجه افزایش درجه حرارت منطقه پخت، کاهش درجه حرارت عقب کوره و همچنین کاهش مقدار اکسیژن خواهد شد. کوره‌بان با بسیاری از مسائل مواجه خواهد شد که برای رفع آنها قابلیت و مهارتهای خود را آزمایش خواهد کرد.

در مثال دوم حالت پیچیده و مشکلتری ارائه شده است:

مثال دوم	فعلی	هدف
درجه حرارت منطقه پخت	۱۵۱۰ درجه سانتیگراد	۱۴۸۰ درجه سانتیگراد
درجه حرارت عقب کوره	۸۷۰ درجه	۸۱۵ درجه
درصد اکسیژن	۰.۷ درصد	۱.۵-۱ درصد

واضح است که درجات حرارت عقب کوره و منطقه پخت بسیار بالا هستند و درصد اکسیژن از حد مجاز پائین‌تر است. اولین قدم کاهش مقدار سوخت است که به دنبال آن اکسیژن بالا خواهد رفت. اگر اقدام دیگری شود حرارت منطقه پخت رو به سردی خواهد رفت. بنابراین در این صورت درجه حرارت عقب کوره پائین خواهد آمد و از نظر تئوری به دلیل دور پائین‌تر فن حرارت منطقه پخت محفوظ خواهد ماند و حرارت کمتری به عقب کوره خواهد رفت.

برای کاهش ۱۰۰ درجه سانتیگراد از درجه حرارت عقب کوره باید دستورالعمل بالا در چندین مرحله و با گامهای کوچک اجرا شود، بدینوسیله امیدواری از صحت عملیات و تحت کنترل بودن اوضاع حاصل می‌شود. در تمام مراحل باید منطقه پخت به خوبی گرم نگهداشته شود.

مثال سوم	فعلی	هدف
درجه حرارت منطقه پخت	۱۵۴۰ درجه سانتیگراد	۱۴۸۰ درجه سانتیگراد
درجه حرارت عقب کوره	۷۶۰ درجه	۸۱۵ درجه
درصد اکسیژن	۱.۵ درصد	۱-۱.۵ درصد

در این مورد نیز فرض کنید کوره با دور کامل کار می‌کند. درجه حرارت منطقه پخت و درصد اکسیژن هر دو در حد دلخواه هستند ولی درجه حرارت عقب کوره کمتر از مقدار لازم است. ابتدا به مقدار جزئی دورفن را اضافه کنید. این کار باعث بالا رفتن درجه حرارت عقب کوره و درصد اکسیژن می‌شود. اگر قدم دیگری برداشته نشود درجه حرارت منطقه پخت کاهش خواهد یافت. به محض اینکه نشان دهنده اکسیژن مقدار بالاتری را نشان داد مقدار سوخت را انچنان افزایش دهید که اکسیژن به سطح قبلی یعنی ۱.۵ درصد برسد. این افزایش سوخت جبران حرارت منتقل شده به عقب کوره در اثر افزایش دورفن را خواهد نمود.

مجدداً باید مطمئن شد که این دستورالعمل در گامهای کوچکی صورت گیرد و در صورت ملاحظه هرگونه تغییری در شرایط منطقه پخت باید دستورالعمل را تا رسیدن به شرایط عادی متوقف کرد.

موارد زیر نشانه‌های بسیار بالا بودن درجه حرارت عقب کوره هستند:

- ۱- کوره پیوسته با درصد اکسیژن بالایی در گازهای خروجی کار می‌کند.
- ۲- شرایط زودپز بودن پیوسته مواد با علامت تشکیل کلینکر در مناطق عقب‌تری از کوره مشخص می‌شود. در این حالت درجه حرارت منطقه پخت به نحو غیرمتعارفی بالاست.
- ۳- عملکرد گذشته نشان می‌دهد که با مقادیر دور کوره، مقدار و ترکیب خوراک، کوره برای مدتهای طولانی و پایدار با درجه حرارت عقب پائین‌تری کار می‌کرده است.
- ۴- کوره با بازده سوخت پائینی کار می‌کند. برای پختن مقدار معینی مواد با ترکیب یکسان سوخت بیشتری موردنیاز است.

۵- رطوبت نمونه‌های برداشته شده از بخش پائینی منطقه زنجیر کوره تر، پائین‌تر از مقدار عادی است.

موارد زیر نشانگر پائین بودن درجه حرارت عقب کوره هستند:

- برای دوره زمانی طولانی کوره با درصد اکسیژن پائینی در گازهای خروجی کار می‌کند.
- به مدت طولانی به ویژه در اثر تکلیس شده ورودی به منطقه پخت مشکلی فراهم شده است.
- رطوبت نمونه‌های برداشته شده از بخش پائینی منطقه زنجیر کوره تر، بالاتر از مقدار عادی است.
- قبل از اقدام به هرگونه بررسی روی وضعیت درجه حرارت عقب کوره، بسیار مهم است که کوره در شرایط پایداری باشد. مطالعه نحوه عملکرد کوره از روی ثباتها و برگه‌های گزارش، اطلاعات ارزشمندی در مورد

اینکه هم اکنون تنظیمات موجود تا چه میزان نزدیک به شرایط پایدار و طولانی گذشته‌های کوره است، می‌دهند. برای حفظ پایداری کوره کنترل از نزدیک درجه حرارت عقب کوره، بسیار ضروری است. اگر به درجه حرارت عقب کوره اجازه نوسان آزادانه داده شود، عملاً شانس بدست آوردن شرایط پایدار کوره صفر است.

گرچه متغیرهای زیادی با ترکیبات عددی چندین گانه وجود دارند، ولی معلوم شده است که سه متغیر کلیدی فوق در درجه اول اهمیت هستند. بجز شرایط اضطراری یا واژگونه (نامتعادل کوره)، اپراتور می‌باید که با تنظیم یک یا بیشتر سه عامل کنترل اساسی، این سه متغیر را در حدود معقولی نگاه دارد.

### ۱-۷-۵- سه متغیر و کنترل کننده اساسی

حالات و شرایط کوره به وسیله متغیرهای زیر مشخص می‌شود:  
درجه حرارت منطقه پخت، که اثر برجسته‌ای روی کیفیت محصول دارد.  
درجه حرارت عقب کوره، که روی نحوه کار پایدار کوره کنترل اساسی را دارد.  
درصد اکسیژن در گاز خروجی، که چگونگی اشتعال و بازده سوختن و سوخت را تحت نفوذ خود دارد. همچنین حالات هر یک از این متغیرها می‌تواند در فاصله حدود مجاز، زیر حداقل مجاز و یا بالاتر از حداکثر مجاز باشد. لذا کوره‌بان در ارتباط با این سه متغیر مواجه با ۲۷ حالت اساسی می‌شود. در شکل (۵-۶) این حالتها نشان داده شده‌اند. توجه نمائید که به هر حالت شماره‌ای داده شده است تا بوسیله آن مشخص شود. کنترل‌های اساسی: بجز موارد استثنائی حالات اضطراری و واژگونه (نامتعادل) کوره، در اغلب موارد کنترل سه متغیر اصلی را می‌توان به وسیله تنظیمات روی مقدار سوخت، دور کوره، سرعت فن کوره و در حدود مقادیر مجاز انجام داد.

بکارگیری دستورالعمل‌های کنترل: در ابتدا لازم است برای هر یک از متغیر: درجه حرارت منطقه پخت، درجه حرارت عقب کوره و درصد اکسیژن گازهای خروجی، تعیین هدف شود. این اطلاعات بستگی به ترکیب خوراک کوره، نوع کلینکری که باید پخته شود و سایر فاکتورها دارد و تمام این اطلاعات توسط سرپرست به کوره‌بان داده می‌شود. واضح است که هر یک از این متغیرها نمی‌توانند همواره کاملاً منطبق با هدف باشند لذا لازم است که برای آنها حدود تغییرات مجاز منظور شود. پس از تعیین اهداف و حدود مجاز آنها، می‌توان برای تصحیح هر وضعیت خارج از کنترل با استفاده از شکل (۵-۶) و دستورهای جدول (۵-۱) اقدام کرد. حروف خلاصه بکار رفته در شکل و جداول عبارتند از:

م- درجه حرارت منطقه پخت

ع- درجه حرارت عقب کوره

ا- درصد اکسیژن گازهای خروجی از کوره

البته در موقع ارزیابی وضعیت، تشخیص خوب و درست حالت موجود از حالات اضطراری و واژگونه، ضروری است.

مثال: فرض کنید در کوره‌ای مقادیر زیر برقرار است:

متغیر	علامت	هدف	حدود تغییر	محدوده
-------	-------	-----	------------	--------



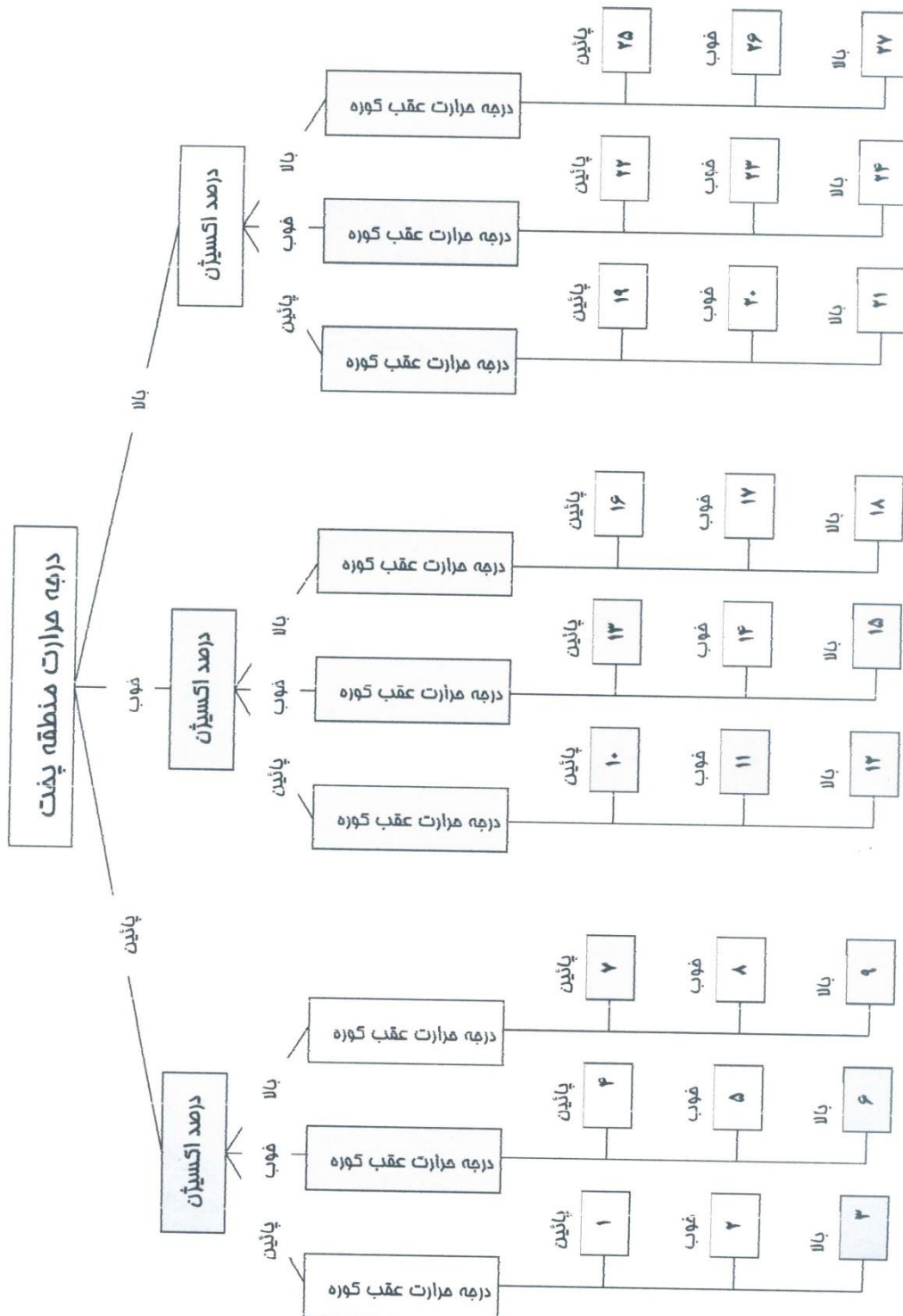
درجه حرارت منطقه پخت	°C	م	۱۵۴۰	±۳۰	۱۵۷۰-۱۵۱۰
درجه حرارت عقب کوره	°C	ع	۷۸۰	±۱۰	۷۸۰-۸۰۰
درصد اکسیژن	%	ا	۱/۲	±۰/۸	۰/۴-۲

مفهوم اعداد بالا این است که: اگر (م) کمتر از ۱۵۱۰ باشد «پائین» است اگر در فاصله ۱۵۷۰-۱۵۱۰ باشد «خوب» است و اگر بیشتر از ۱۵۷۰ باشد «بالا» است. اگر (ع) کمتر از ۷۸۰ باشد «پائین» است، اگر بین ۷۸۰-۸۰۰ باشد «خوب» است و اگر بیشتر از ۸۰۰ باشد «بالا» است. اگر (ا) کمتر از ۰/۴ باشد «پائین» اگر بین ۰/۴-۲ باشد «خوب» و اگر بیشتر از ۲ باشد «بالا» است.

در حالت مورد بررسی فرض کنید درجه حرارت منطقه پخت ۱۴۵۵ درجه سانتیگراد است (م=پائین) درصد اکسیژن ۲/۸ (ا=بالا)، درجه حرارت عقب کوره ۸۱۵ درجه سانتیگراد (ع=بالا). از روی خط (م=پائین، ا=بالا، ع=بالا) به حالت شماره ۹ مندرج در شکل و جدول می‌رسیم. در جدول دستور تصحیح حالت داده شده است.

برای هر یک از ۲۷ حالت دیگر دستورالعملهایی درج شده است. به محض اینکه وضعیت کوره و مواد از حدود ارقام مبنی خارج می‌شود، باید کوره‌بان هوشیارانه درصدد اصلاح حالت خارج از کنترل برآید. عملیات تصحیح باید با چالاکتی صورت گیرد و دقت شود که کنترل از دست نرود، چون در این صورت امکان پدید آمدن حالت سیکلی (Cycling) وجود دارد.

شکل ۶-۵- نمودار بیست و هفت حالت اساسی کوره



## ۲-۷-۵- شرح بیست و هفت حالت - راه حل ها و دلایل

جدول ۲-۵

م = درجه حرارت منطقه پخت، ا = درصد اکسیژن عقب کوره، ع = درجه حرارت عقب کوره

مورد	حالت کوره	عملی که بایستی صورت گیرد	دلیل
۱	م - پائین ا = پائین ع - پائین	وقتی که درجه حرارت منطقه پخت شدیداً پائین است: ۱- دور کوره کم شود ۲- مقدار سوخت کم شود وقتیکه درجه حرارت منطقه پخت کمی پائین است: ۳- سرعت فن کوره افزوده شود ۴- مقدار سوخت افزوده شود	بالا رفتن درجه حرارت منطقه پخت و عقب کوره رسیدن درصد اکسیژن به حد متعارف درجه حرارت عقب کوره بالا رود و درضمن اکسیژن برای افزایش سوخت (۴) تامین شود. درجه حرارت منطقه پخت بالا رود و اکسیژن اضافه شده مصرف شود.
۲	م - پائین ا = پائین ع - خوب	۱- دور کوره کم شود ۲- سوخت کم شود ۳- دور فن کم شود	بالا رفتن درجه حرارت منطقه پخت مقدار اکسیژن برای مرحله ۳ بالا رود. درجه حرارت عقب کوره قابت بماند.
۳	م - پائین ا = پائین ع - بالا	۱- دور کوره کم شود ۲- سوخت کم شود ۳- سرعت فن کم شود	درجه حرارت منطقه پخت بالا رود. مقدار اکسیژن برای مرحله ۳ بالا رود درجه حرارت عقب کوره پائین بیايد(مواظب شدت نقصان باشید).

۴	م- پائین ا= خوب ع- پائین	<p>وقتیکه درجه حرارت منطقه پخت شدیداً پائین است:</p> <p>۱- دور کوره کم شود</p> <p>وقتیکه درجه حرارت منطقه پخت جزئی پائین است:</p> <p>۲- دور فن اضافه شود</p> <p>۳- سوخت اضافه شود</p>	<p>درجه حرارت منطقه پخت و عقب کوره بالا رود.</p> <p>برای بالا بردن درجه حرارت عقب کوره و تامین اکسیژن برای مرحله ۳ حرارت منطقه پخت بالا رود</p>
۵	م- پائین ا= خوب ع- خوب	<p>وقتیکه درجه حرارت منطقه پخت شدیداً پائین است و اکسیژن در مرز پائین حدمجاز است:</p> <p>۱- دور کوره کم شود</p> <p>۲- سوخت کم شود</p> <p>۳- دور فن کم شود</p> <p>وقتیکه منطقه پخت جزئی سرد است و درصد اکسیژن در مرز بالای حدمجاز است:</p> <p>۴- سوخت افزوده شود</p>	<p>درجه حرارت منطقه پخت بالا رود.</p> <p>اکسیژن برای مرحله ۳ تامین شود.</p> <p>درجه حرارت عقب کوره تغییر نکند.</p> <p>درجه حرارت منطقه پخت بالا رود.</p>
۶	م- پائین ا= خوب ع- بالا	<p>وقتیکه منطقه درجه حرارت منطقه پخت شدیداً پائین است:</p> <p>۱- دوره کوره کم شود</p> <p>۲- سوخت کم شود</p> <p>۳- دور فن کم شود</p> <p>وقتیکه درجه حرارت منطقه پخت مقدار جزئی پائین است:</p> <p>۴- دور فن کوره کم شود</p>	<p>درجه حرارت منطقه پخت بالا رود.</p> <p>درصد اکسیژن برای مرحله ۳ بالا رود.</p> <p>حرارت عقب کوره پائین بیاید.</p> <p>درجه حرارت عقب کوره پائین بیاید.</p>
۷	م- پائین ا= بالا ع- پائین	<p>وقتیکه درجه حرارت منطقه پخت زیاد پائین است:</p> <p>۱- دور کوره کم شود</p>	<p>درجات حرارت منطقه و عقب کوره بالا می‌رود درجه حرارت عقب کوره تغییر</p>

		۲- دور فن کم شود وقتیکه درجه حرارت منطقه پخت جزئی پائین است: ۳- سوخت افزوده شود.	نکند.  درجه حرارت منطقه پخت بالا می‌رود. درصد اکسیژن پائین می‌آید و درضمن درجه حرارت عقب کوره بایستی بالا رود. چنانچه بالا نرفت افزایش سوخت را ادامه دهید و دور فن را زیاد کنید.
۸	م - پائین ا = بالا ع - خوب	وقتیکه درجه حرارت منطقه پخت شدیداً پائین است: ۱- دور کوره کم شود. ۲- دور فن کوره کم شود.  وقتیکه منطقه پخت جزئی سرد است: ۳- سوخت افزوده شود.	درجه حرارت منطقه پخت بالا رود. درجه حرارت عقب کوره ثابت ماند. چنانچه هنوز درصد اکسیژن بالاست مقدار سوخت افزوده شود.  درجه حرارت منطقه پخت بالا می‌رود و اکسیژن پائین می‌آید.
۹	م - پائین ا = بالا ع - بالا	وقتیکه پخت شدیداً سرد است: ۱- دور کوره کم شود. ۲- دوره فن کم شود.  ۳- سوخت افزوده شود.  وقتیکه منطقه پخت جزئی سرد است: ۴- دور فن کوره کم شود.	درجه حرارت منطقه پخت بالا می‌رود. درجه حرارت عقب کوره پائین می‌آید و درصد اکسیژن کم می‌شود. درجه حرارت منطقه پخت بالا رود و درصد اکسیژن کم شود.  درجه حرارت منطقه پخت بالا می‌رود و درجه حرارت عقب کوره و درصد اکسیژن پائین می‌آید.
۱۰	م - خوب ا = پائین ع - پائین	۱- دور فن کوره زیاد شود.  ۲- سوخت افزوده شود.	درجه حرارت عقب کوره بالا می‌رود و اکسیژن برای مرحله ۲ تامین می‌شود. درجه حرارت منطقه پخت ثابت نگهداشته شود.
۱۱	م - خوب ا = پائین ع - خوب	۱- مقدار جزئی سوخت کم شود.	درصد اکسیژن بالا می‌رود.
۱۲	م - خوب	۱- مقدار سوخت کم شود.	درصد اکسیژن برای مرحله ۲ زیاد شود.

	۱= پائین ع- بالا	۲- دور فن کوره کم شود.	حرارت عقب کوره پائین می آید و منطقه پخت ثابت می ماند.
۱۳	م- خوب ۱= خوب ع- پائین	۱- دور فن کوره افزوده شود. ۲- سوخت افزوده شود.	درجه حرارت عقب کوره بالا می رود. درجه حرارت منطقه پخت ثابت می ماند.
۱۴	م- خوب ۱= خوب ع- خوب	هیچ: نبایستی گرفتار اعتماد زیاد از حد شد. بلکه بایستی تمام حالات و جوانب کار را دقیقاً زیر نظر گرفت.	
۱۵	م- خوب ۱= خوب ع- بالا	وقتیکه درصد اکسیژن در مرز بالای حد مجاز است: ۱- دور فن کوره کم شود. وقتیکه درصد اکسیژن در مرز پائین حد مجاز است: ۲- سوخت کم شود. ۳- دور فن کم شود.	درجه حرارت عقب کوره پائین بیاید.  درصد اکسیژن برای مرحله ۳ بالا رود. درجه حرارت عقب کوره پائین می آید و درجه حرارت منطقه پخت ثابت می ماند.
۱۶	م- خوب ۱= بالا ع- پائین	۱- دور فن کوره زیاد شود. ۲- سوخت افزوده شود.	درجه حرارت عقب کوره بالا می رود. درجه حرارت منطقه پخت ثابت می ماند و درصد اکسیژن پائین می آید.
۱۷	م- خوب ۱= بالا ع- خوب	۱- به مقدار جزئی دور فن کم شود.	درصد اکسیژن پائین می آید.

۱۸	م - خوب ا = بالا ع - بالا	۱- دور فن کم شود. ۲- مقدار جزئی سوخت کم شود.	درجه حرارت عقب کوره و درصد اکسیژن کم می شود. درجه حرارت منطقه پخت ثابت می ماند.
۱۹	م - بالا ا = پائین ع - پائین	وقتی که درجه حرارت منطقه پخت شدیداً بالا است: ۱- دوره کوره زیاد شود. ۲- دور فن کوره زیاد شود. ۳- مقدار سوخت کم شود. وقتی که حرارت منطقه پخت کمی بالاست: ۴- دور فن کوره زیاد شود.	برای جلوگیری از داغ شدن منطقه پخت. برای بالا بردن درجه حرارت عقب کوره و درصد اکسیژن درجه حرارت منطقه پخت پائین می آید و اکسیژن بالا می رود. درجه حرارت منطقه پخت پائین می آید و درصد اکسیژن و حرارت عقب کوره بالا می رود.
۲۰	م - بالا ا = پائین ع - خوب	وقتی که منطقه پخت زیاد داغ است: ۱- دور کوره افزوده شود. ۲- سوخت کم شود. ۳- دور فن زیاد شود. وقتی که درجه حرارت منطقه پخت کمی بالاست: ۴- سوخت کم شود.	از داغ شدن کوره جلوگیری می کند. درجه حرارت منطقه پخت کم می شود. درصد اکسیژن بالا می رود و درجه حرارت عقب کوره ثابت می ماند. درجه حرارت منطقه پخت پائین می آید و درصد اکسیژن بالا می رود.

۲۱	م - بالا ا = پائین ع - بالا	<p>وقتی که منطقه پخت شدیداً داغ است: ۱- دور کوره زیاد شود.</p> <p>۲- سوخت کم شود.</p> <p>وقتی که درجه حرارت منطقه پخت کمی بالاست: ۳- سوخت کم شود.</p>	<p>از داغ شدن کوره جلوگیری می شود و درجه حرارت عقب کوره پائین می آید.</p> <p>درجه حرارت منطقه پخت و عقب کوره پائین می آید و درصد اکسیژن اضافه می شود.</p> <p>درجات حرارت منطقه پخت و عقب کوره پائین می آید و درصد اکسیژن بالا می رود.</p>
۲۲	م - بالا ا = خوب ع - پائین	<p>وقتی که منطقه پخت زیاد داغ است: ۱- دور کوره زیاد شود.</p> <p>۲- دور فن کوره زیاد شود.</p> <p>۳- سوخت کم شود.</p> <p>وقتی که کوره کمی داغ است: ۴- دور فن کوره زیاد شود.</p>	<p>از داغ شدن منطقه پخت جلوگیری می شود.</p> <p>درجه حرارت عقب کوره بالا می رود.</p> <p>درجه حرارت منطقه پخت پائین می آید.</p> <p>درجه حرارت عقب کوه بالا می رود و درجه حرارت منطقه پخت پائین می آید (به نکته آخر جدول توجه شود).</p>
۲۳	م - بالا ا = خوب ع - خوب	<p>وقتی که منطقه پخت زیاد داغ است: ۱- دور کوره زیاد شود.</p> <p>۲- سوخت کم شود.</p> <p>۳- دور فن زیاد شود.</p> <p>وقتی که منطقه پخت کمی داغ است: ۴- سوخت کم شود.</p>	<p>از داغ شدن منطقه پخت جلوگیری می شود.</p> <p>درجه حرارت منطقه پخت پائین می آید.</p> <p>درجه حرارت عقب کوره ثابت می ماند.</p> <p>درجه حرارت منطقه پخت پائین می آید (به نکته آخر جدول توجه شود).</p>
۲۴	م - بالا ا = خوب ع - بالا	<p>وقتی که منطقه پخت زیاد داغ است: ۱- دور کوره زیاد شود.</p> <p>۲- سوخت کم شود.</p> <p>وقتی که منطقه پخت کمی داغ است: ۳- سوخت کم شود.</p>	<p>از داغ شدن منطقه جلوگیری می شود و حرارت عقب کوره پائین می آید.</p> <p>حرارت منطقه پخت کم می شود.</p> <p>درجات حرارت منطقه پخت و عقب کوره کم می شود (توجه به نکته آخر جدول).</p>
۲۵	م - بالا ا = بالا ع - پائین	<p>وقتی که منطقه پخت زیاد داغ است: ۱- دوره کوره زیاد شود.</p> <p>۲- دور فن کوره زیاد شود.</p>	<p>از داغ شدن منطقه پخت جلوگیری شود.</p>



		<p>وقتیکه کوره کمی داغ است: ۳- دور فن کوره زیاد شود.</p>	<p>درجه حرارت عقب کوره زیاد و درجه حرارت منطقه پخت کم می شود.</p> <p>درجه حرارت منطقه پخت کم و حرارت عقب کوره بالا می رود (توجه به نکته آخر جدول).</p>
۲۶	<p>م - بالا ا = بالا ع - خوب</p>	<p>وقتیکه منطقه پخت زیاد داغ است: ۱- دور کوره زیاد شود. ۲- دور فن کوره زیاد شود. ۳- سوخت کم شود. وقتیکه منطقه پخت کمی داغ است: ۴- سوخت کم شود.</p>	<p>از داغ شدن منطقه پخت جلوگیری شود. درجه حرارت عقب کوره ثابت می ماند. درجه حرارت منطقه پخت کم می شود.</p> <p>حرارت منطقه پخت پائین می آید (به نکته آخر جدول توجه شود).</p>
۲۷	<p>م - بالا ا = بالا ع - بالا</p>	<p>وقتیکه منطقه پخت زیاد داغ است: ۱- دور کوره زیاد شود. ۲- سوخت کم شود. وقتیکه منطقه پخت کمی داغ است: ۳- سوخت کم شود. ۴- دور فن کوره کم شود.</p>	<p>درجات حرارت منطقه پخت و عقب کوره پائین می آید. درجه حرارت منطقه پخت پائین می آید.</p> <p>درجه حرارت عقب کوره پائین می آید (توجه به نکته آخر جدول)</p>

نکته: چنانچه باین تنظیم درصد اکسیژن بالا رفت بدان توجه نکنید تا درجه حرارتها به حد مطلوب برسد.

### ۳-۷-۵- حالات اضطراری

نکات اضطراری زیر برای کوره‌های سیمان وجود دارد و برای رفع هر یک راه‌حلهائی وجود دارد:

۱. وجود لکه قرمز روی بدنه
۲. سرازیر شدن مواد نپخته به سوی خنک کن
۳. خرد شدن رینگ مواد در داخل کوره
۴. منطقه پخت به طور خطرناکی داغ است.
۵. افزایش ناگهانی درجه حرارت عقب کوره
۶. خروج دود سیاه از دودکش کوره
۷. شکل شعله ناجور است.
۸. ازبین رفتن آجرنسوز
۹. توقف سیستم حرکت خنک کن یا نوار نقاله کلاینکر
۱۰. وجود کلینکر سخ در خروجی خنک کن
۱۱. قطع برق
۱۲. بارندگی شدید با رعد و برق
۱۳. فشار مثبت بالا و ناگهانی در سر کوره

#### ۱- لکه قرمز روی بدنه

علائم:

- دیدن با چشم
- حرارت سنج بدنه: افزایش تیز و سریع درجه حرارت بدنه تا سطح ۴۵۰ درجه سانتیگراد
- ملاحظه قطعات آجرنسوز در داخل کلینکر جاری در منطقه پخت

اثرات ممکنه و خطرات:

- تغییر شکل جدی کوره و صدمه دیدن بدنه کوره.

کارهای مورد توصیه:

- در صورت وجود لکه کوچک در بالای منطقه پخت یا وسط منطقه پخت:
- کار عادی کوره را ادامه دهید ولی:
- فنهای خنک کن بدنه را در محل لکه روشن کنید.
- شعله را کوتاه کنید تا خوراک سیاه (Black Feed) روی لکه بیاید و سعی کنید کوتینگ جدید تشکیل شود.
- درجه حرارت منطقه پخت را در حد عادی نگه دارید.
- ترکیب شیمیایی خوراک کوره را با هدف تهیه مواد زودپز تغییر دهید.
- لکه قرمز بزرگ در نزدیکی یا زیر تایر کوره یا مناطقی که معمولاً در آنها کوتینگ تشکیل نمی‌شود، ظاهر شده است: کوره را فوراً متوقف کنید.

اخطار: تحت هیچ شرایطی نباید از پاشیدن آب روی لکه قرمز استفاده کرد چونکه این عمل سریعاً منتج به آسیب دیدگی شدید بدنه می شود.

کارهای ممکنه برای پیش گیری از تکرار:

- مطمئن شوید که تغییرات در شکل و مشخصه های شعله باعث سایش موضعی یا پیوسته کوتینگ در اثر داغ شدن زیاد نشود.
- روشهای آجرچینی مناسب را بکار ببرید.
- توقفات و حالات واژگونه کوره را به حداقل برسانید.
- از پختن مواد دیرپز احتراز کنید (مثلاً خوراک کوره با درصد مناسب فاز مایع برای تشکیل کوتینگ تهیه نمائید).

## ۲- مواد نپخته در خنک کن کلینکر

- هجوم مواد خام به سوی منطقه پخت و پشت آن
- «خوراک سیاه» بیش از نصف طول شعله به سوی منطقه پخت پیش آمده است.
- تیره شدن منطقه پخت
- سرخی صفحات مشبک خنک کن
- افزایش سریع درجه حرارت خنک کن مشبک و کلینکر خروجی
- افزایش آمپر زنجیر نقاله خنک کن

اثرات ممکنه و خطرات:

- آسیب حرارتی به صفحات خنک کن و سیستم حرکت آن.
- خاموش شدن شعله منطقه پخت
- آتش روی نوار نقاله های کلینکر.

اخطار: وقتی که امکان دیدن منطقه پخت به شدت محدود شده است موضوع ناقص سوختن را بررسی نمائید.

کاری که باید انجام شود:

اولین و مهمترین کار این است که منتظر رسیدن مواد نپخته به خنک کن نشوید، بلافاصله پس از ملاحظه اولین نشانه های اشکال در منطقه پخت به شرح زیر عمل کنید:

- بلافاصله دور کوره را به حداقل برسانید (یا کوره را روی موتور کمکی قرار دهید).
- مقدار سوخت و دور فن کوره را براساس دستورالعملهای استاندارد کاهش دهید و بدینوسیله درجه حرارت عقب کوره را ثابت نگهدارید.
- سرعت حرکت خنک کن را کم کنید (به حالت دستی قرار دهید) و بدینوسیله فرصت بیشتری به مواد برای خنک شدن بدهید.
- میزان جریان هوا به داخل خنک کن را برای حداکثر سرعت خنک کردن افزایش دهید. و ضمناً مواظب باشید فشار سر کوره مثبت نشود.
- به تمام افراد غیرمجاز دستور دهید دور از سکوی کوه و خنک کن بروند.

راههای پیشگیری از تکرار مجدد:

- دفعات بازدید چشمی از منطقه پخت را برای دریافت زودتر حالات واژگونه خنک کن زیاد کنید.
- میزان خروج کلینکر از کوره را با قابلیت خنک کن مقایسه کنید و شرایط پایدار کار کردن کوره را ارزیابی نمایید.

### ۳- خرد شدن رینگ مواد در داخل کوره

علائم:

- ملاحظه کلوخه‌های بزرگ در منطقه پخت.
- افت ناگهانی مکش عقب کوره.
- افت مقدار اکسیژن در گازهای عقب کوره.
- تمایل به مثبت بودن فشار سر کوره.
- تغییر ناگهانی آمپر مصرفی موتور کوره.

اثرات ممکنه و خطرات:

- وجود بار اضافی ناشی از هجوم مواد نپخته در خنک کن.
- هجوم مقادیر زیاد خوراک کوره به منطقه پخت.
- آسیب دیدن صفحات و سیستم حرکت خنک کن.
- مسدود شدن کلینکر شکن به وسیله قطعات و کلوخه‌های درشت.
- خروج کلینکر سرخ از خنک کن.

کاری که باید انجام شود:

وقتی که مقدار خوراک کوره و قطعات رینگ در منطقه پخت بسیار بزرگ است:

- فوراً دور کوره به حداقل کاهش داده شود.
- مقدار سوخت و دور کوره را کاهش دهید تا درجه حرارت عقب کوره تحت کنترل باشد.
- کلید کنترل خنک کن را روی دستی قرار دهید و سرعت آن را کم کنید.
- مقدار جریان هوای خنک کن را، بی‌آنکه فشار درب کوره مثبت شود تا مقدار حداکثر ممکن تنظیم کنید.

- نفراتی را در کنار خنک کن و کلینکر شکن بگمارید تا مواظب اضافه بار، داغ شدن و مسدود شدن‌ها باشند.

راههای ممکنه برای پیشگیری از تکرار مجدد:

- بررسی ترکیب شیمیایی خوراک کوره و مقدار مواد برگشتی به منظور امکان حذف شرایط تشکیل رینگ.
- طبق برنامه منظم اقدام به کندن و حذف رینگ، گرفتگی‌های سنگین و تجمع مواد، به کمک ابزارهای خاص طراحی شده برای این کار بنمائید.
- براساس دستورالعمل منظم اقدام به تغییر روزانه طول منطقه پخت نمائید (مثلاً موقعیت مشعل را هر روز صبح تغییر دهید).

#### ۴- منطقه پخت به طور خطرناکی داغ است.

علائم:

- گلوله‌ای شدن کلینکر در منطقه پخت.
- چکیدن کوتینگ از جدار کوره.
- لغزش بستر مذاب کلینکر در منطقه پخت.
- حرارت سنج منطقه پخت درجه حرارت بسیار بالایی را نشان نمی‌دهد.
- فشار زیر صفحات خنک کن بسیار بالاست.
- رنگ منطقه پخت زرد مایل به سفید است.

اثرات ممکنه و خطرات:

- از بین رفتن کوتینگ و صدمه حرارتی به اجزای منطقه پخت.
- پدید آمدن لکه‌های قرمز روی بدنه کوره.
- صدمه حرارتی به خنک کن و اجزاء درب کوره.

کارهای ممکنه:

- مقدار سوخت را به حداقل کاهش دهید تا حالت گلوله شدن کلینکر متوقف شود.
- دور کوره را به اندازه ۵-۱۰ دور در ساعت افزایش دهید تا گلوله شکسته شود.
- حداکثر جریان هوا را در خنک کن برقرار کنید (بدون اینکه فشار سر کوره مثبت شود).
- مقدار هوای اولیه را کاهش دهید.
- سپس، به محض اینکه هدف اولیه شکستن گلوله تحقق یافت:
- دور کوره و سرعت فن کوره را کاهش دهید، مقدار سوخت را افزایش دهید تا به شرایط کار عادی

برسید.

راههای پیشگیری:

- اگر حالت گلوله شدن متناوباً پیش می‌آید و ناشی از زودپز بودن مواد است، باید آزمایشگاه خوراک کوره با درصد فاز مایع کمتر تنظیم کند.
- مکرراً وضعیت پخت را با دقت بررسی نمایید.
- موقعیت و شکل شعله را ارزیابی کنید، امکان باریکتر و طولی‌تر شدن شعله را بررسی نمایید.

#### ۵- افزایش شدید و ناگهانی درجه حرارت عقب کوره

دلائل ممکنه:

- کاهش مقدار خوراک کوره.
- وجود مواد سوختنی در گاز خروجی.
- بالا بودن سرعت فن کوره.
- وجود آتش در منطقه زنجیر.

اثرات ممکنه و خطرات:

- بوجود آمدن شعله در منطقه زنجیر کوره‌های تر و خشک بلند.
- صدمه حرارتی به عقب کوره، گردگیرها و اجزاء پیش گرمکن.
- اشتعال تاخیری سوخت در عقب کوره.

کارهای ممکنه:

- فوراً الکتروفیلتر را از مدار خارج کنید.
- فوراً سوخت و دور فن کوره را کاهش دهید تا به درصد اکسیژن کمتر از ۰/۳ درصد در گاز خروجی برسید.

اخطار: مقدار سوخت را کاملاً قطع نکنید زیرا این کار خطر انفجار را به دنبال دارد.

- دور کوره و مقدار خوراک کوره را افزایش دهید.
- به افراد اخطار کنید که از عقب کوره دور باشند.
- هیچ دریچه‌ای را در عقب کوره باز نکنید.
- سپس به محض اینکه هدف اولیه یعنی کنترل درجه حرارت عقب کوره حاصل شد:
- متغیرهای کنترل کوره را به حالت نرمال برگردانید تا به شرایط کار عادی کوره برسیم.
- عقب کوره را بازرسی کنید تا زیانهای حرارتی احتمالی تعیین شوند.

راههای پیش‌گیری:

- هیچگاه بیش از ۱۰ دقیقه کوره بدون خوراک کار نکند.
- علائم هشدار دهنده و ابزارهای سنجش مناسبی تعبیه نمائید تا قبل از خارج شدن کنترل درجه حرارت عقب کوره، اخطار لازم بشود.
- در مواقع راه انداختن، متوقف کردن و واژگونه بودن کوره دقت نظر روی نحوه احتراق، وضعیت عقب کوره و چگونگی جریان خوراک کوره داشته باشید.

## ۶- خروج دود سیاه از دودکش کوره

علائم:

- وجود مواد قابل اشتعال در گازهای خروجی.
- اکسیژن موجود در گاز خروجی بسیار کم است.
- به دلیل شرایط نامناسب احتراق شعله خاموش می‌شود.
- درجه حرارت منطقه پخت بسیار پایین است.
- مصرف سوخت اضافی و یا وجود مکش ناکافی در کوره.

اثرات ممکنه و خطرات:

- انفجار و یا آسیب حرارتی به دستگاههای عقب کوره.

کارهای ممکنه:

- فوراً الکتروفیلتر را از مدار خارج کنید.
- فوراً مقدار سوخت را کاهش دهید سوخت را (قطع نکنید) و دور فن کوره را افزایش دهید

تا:

- مواد قابل اشتعال در گاز خروجی صفر شود.
- اکسیژن در گاز خروجی بین ۰/۲ تا ۰/۵ درصد برسد.
- پس از اینکه رنگ دود سیاه روشن شد، حالت اکسیژن پائین و مواد قابل اشتعال در حد صفر را برای حداقل مدت ۱۰ دقیقه نگهدارید و سپس متغیرهای کوره را برای رسیدن به حالت نرمال تغییر دهید.
- راههای پیش گیری:

- کنترل روی شعله و شرایط اشتعال را بهینه کنید.
- مکرراً وضعیت مقدار سوخت، آنالیز گاز کوره، و مکش کوره را در شرایط راه اندازی و واژگونه کوره، مورد بررسی و بازدید دقیق قرار دهید.

## ۷- شعله نامنظم

علائم:

- شکل شعله نامنظم و غیرمعمول است.
- بخشهای جدا شده از شعله به آجر نسوزهای قسمت خروجی برخورد می کند.
- اثرات ممکنه و خطرات:
- صدمه حرارتی به آجر نسوز، بدنه کوره و درب کوره.
- پدید آمدن لکه های قرمز در روی بدنه و خروجی کوره.
- صدمه حرارتی به قطعات فولادی لبه خروجی.
- کارهای ممکنه:
- لوله مشعل را عیب یابی کنید.
- اگر شعله نامنظم است و شدیداً به نسوزهای پائین منطقه پخت کوره برخورد می کند، فوراً کوره را بخوابانید.
- اگر شعله مختصری بهم خورده است، موقعیت مشعل و مقدار هوای اولیه را تنظیم کنید و برنامه تعمیرات مشعل در توقف بعدی کوره را تدوین نمایید.

اعمال پیشگیری:

- بازرسی منظم، نگهداری و تعمیر لوله مشعل در ضمن هر توقف دراز مدت کوره.
- حفاظت لوله مشعل با نسوزکاری مناسب آن.
- پس از توقف کوره یا حداقل برای مدت ۲ ساعت هوای اولیه جریان داشته باشد و یا اینکه لوله مشعل را فوراً عقب بکشید.
- بررسی انجام تغییراتی در طرح مشعل و لوله آن.

## ۸- از بین رفتن بخشی از نسوزکاری

علائم:

- وجود قطعات آجرهای نسوز کنده شده، در کلینکر جاری در منطقه پخت.
- وجود لکه قرمز خطی شکل روی بدنه کوره.

- افزایش سریع درجه حرارت موضعی بدنه کوره.
- فروریختگی بیشتر آجر نسوز در برخی از قسمتهای دیگر کوره.
- کارهای ممکنه:
- فوراً کوره را متوقف نمائید.

اعمال پیشگیری:

- از دستورالعمل‌ها و روشهای مناسب برای آجرچینی استفاده کنید.
- تنظیم بودن کوره و اولیته بدنه را هر ساله بازرسی کنید.
- بررسی کنید که آیا سازنده آجرنسوز، آجرهای با شکل یکنواخت، ابعاد مناسب و درز انبساط مطلوب داده است یا نه.
- به هنگام توقفات و سرد بودن کوره از چرخاندن زیادی کوره احتراز کنید.

## ۹- توقف سیستم حرکت خنک کن یا نقاله کلینکر

علائم:

- وجود بار اضافی روی صفحات خنک کن.
- وجود کلوخه‌های بزرگ کوتینگ در خنک کن.
- وجود فشار بالا در زیر صفحات خنک کن.
- مشاهده آمپر بالای سیستم حرکت کولر قبل از توقف آن.
- مسدود شدن ناودانی (Chute) های انتقال کلینکر.

اثرات ممکنه و خطرات:

- صدمه حرارتی به اجزاء خنک کن.

کارهای ممکنه:

- فوراً دور کوره به حداقل تقلیل داده شود و برای راه‌اندازی مجدد نقاله کلینکر یا سیستم حرکت اقدام شود.

- اگر امکان راه‌اندازی مجدد در مدت ۵ دقیقه وجود ندارد، کوره را متوقف کنید.

توجه: پس از اینکه کوره متوقف شد امکان کمتر چرخاندن کوره. در فواصل زمانی کمتر را به منظور پیشگیری از ورود بار اضافی به خنک کن را بررسی نمائید (ناگزیر کوره باید متناوباً چرخانیده شود).

راههای پیشگیری:

- تنظیمات آمپر کولر برای مواقع بار اضافی را بررسی کنید.
- هنگامیکه در منطقه پخت بار سنگینی ملاحظه می‌شود، قبل از بار اضافی به خنک کن، متغیرهای کوره (مثلاً دور کوره) را به مقدار مناسب تنظیم نمائید.

## ۱۰- وجود کلینکر سرخ در خروجی خنک کن

علائم:

- آمپر بالای زنجیر نقاله کاینکر.
- افت ناگهانی فشار زیر صفحات خنک کن (افتادن صفحات خنک کن)



- بالا بودن آمپر سیستم حرکت خنک کن و ارتفاع بستر کلینکر.
- جمع شدن قطعات کوتینگ در دهانه ورودی خنک کن.
- تشکیل استالاگمیت در دهانه ورودی خنک کن.
- ورود بار ناهگون و توزیع نامناسب آن در خنک کن.
- جریان ناکافی هوا به داخل کولر.

اثرات ممکنه خطرات:

- صدمه حرارتی به اجزاء خنک کن.
- صدمه حرارتی به دستگاه انتقال کلینکر.

اعمال ممکنه:

- فوراً از خنک کن بازدید نمائید و دلیل وجود کلینکر سرخ در خروجی را تعیین کنید اگر صفحه خنک کن افتاده است کوره را متوقف کنید.
- اگر کولر اضافه بار دارد دور کوره را تا مقدار حداقل کم کنید و دور حرکت خنک کن را نیز کم کنید تا زمان کافی برای خنک کردن وجود داشته باشد.
- جریان هوا به داخل خنک کن را افزایش دهید.
- روی قسمت خروجی آب بپاشید و برای پیشگیری از آسیب دیدن نوار نقاله مسیر کلینکر را تغییر دهید.

کارهای پیشگیری:

- در صورت تکرار اشکال در صفحات مشبک:
  - همراه با قسمت تعمیرات امکان نصب غلط صفحات را بررسی نمائید.
  - روی کیفیت صفحات و پیچهای مورد استفاده بررسی نمائید.
- متناوباً بار در یک سمت خنک کن است:
  - روی احتمال تغییر طرح خنک کن بررسی شود.
  - روی امکان حذف تشکیل استالاگمیت (آدم برفی) در ورودی خنک کن بررسی شود.
- وجود اضافه بار متناوب در خنک کن در اثر واژگونه شدن کوره.
  - قبل از اینکه مواد نپخته وارد خنک کن شود و کولر اضافه بار پیدا کند، دور کوره را کم کنید (کارهای اصلاحی لازم، قبل از اینکه کوره و خنک کن از کنترل شما خارج شوند را انجام دهید).

## ۱۱- قطع برق

اثرات ممکنه و خطرات:

- خمیدگی بدنه کوره
- صدمه حرارتی به لوله مشعل، ابزارهای سنجش و دستگاههای قسمت خروجی کوره.

کارهای ممکنه:

- فوراً ژنراتور کمکی و فن هوای اولیه را روشن کنید.

- لوله مشعل را بیرون بکشید و گیرنده تلویزیون واقع در درب کوره را محافظت کنید.
- در کمتر از ۱۰ دقیقه پس از قطع برق کوره را به اندازه یک چهارم بچرخانید.
- دریچه سمت تغذیه کوره را دستی ببندید و بدینوسیله از خروج حرارت داخل کوره توسط مکش طبیعی پیشگیری کنید.

## ۱۲- بارندگی شدید یا رعد و برق

اثرات ممکنه و خطرات:

برای کوره‌هائی که در معرض این بلای طبیعی هستند:

- از دست رفتن کوتینگ و ریزش آجرنسوز
- صدمه حرارتی به بدنه کوره
- امکان قطع برق

اعمال ممکنه:

اگر طوفان در فاصله زمانی کوتاه پس از توقف کوره واقع شود:

- با موتور کمکی با تناوب بیشتر و یا به طور یکنواخت کوره را بچرخانید.
- ژنراتور کمکی را راه بیاندازید تا در صورت قطع برق، آماده سرویس دهی باشد.

## ۱۳- فشار بالا و ناگهانی سر کوره

دلایل ممکنه:

- اشکال در فن کوره (I.D.Fan).
- شکستن رینگ یا گرفتگی‌های داخل کوره.
- اشکال در ابزار دقیق مربوط به هوای کولر، دریچه هواکش کولر، یا فن کوره.
- انفجار بخار آب در کوره‌های سیستم تر.

اثرات ممکنه و خطرات:

- تمام پرسنل حاضر در سکوی کوره در معرض خطر هستند.
- صدمه حرارتی به دستگاههای واقع در سکوی کوره و درب کوره.

کارهای ممکنه:

- فوراً تمام افراد را از سکو دور کنید.
- فوراً سوخت را به حداقل برسانید و سرعت فن کوره را افزایش دهید.
- مقدار هوای جاری زیر صفحات خنک کن مشبک را کم کنید.
- دریچه هوای اضافی خنک کن را دستی باز کنید.

## **فصل ششم**

### **آنالیز مساله و روشهای تحقیق**

## ۱-۶. بیان مساله

حال به مباحث اصلی پروژه یعنی: تحلیل و طراحی کوره های دوار سیمان در جهت بهبود کیفیت تولید و کاهش مصرف انرژی پرداخته می شود. سیستم پخت سیمان مهمترین و اساسی ترین بخش یک واحد تولیدی سیمان می باشد، به طوریکه ظرفیت اسمی کارخانه های سیمان براساس میزان تولید روزانه (۲۴ ساعته) کوره بنا نهاده شده و ظرفیت دپارتمانها- تجهیزات و ماشین آلات- سیلوهای ذخیره مواد خام- کلینکر و سیمان نیز بر پایه ظرفیت تولید کوره طراحی و ساخته می شود. لذا راندمان کوره یکی از پارامترهای مهم در بخش تولید بوده و تلاش در جهت به ظرفیت رساندن و سپس بالا بردن راندمان تولید کوره از مهمترین اهداف تیم مدیریتی و پرسنل فنی کارخانه های سیمان می باشد.

در این پروژه سعی بر این است که پس از ارائه شناخت کلی از خط تولید سیمان دو فاکتور بسیار مهم و ارزشمند یعنی عوامل موثر بر بهبود کیفیت تولید و کاهش مصرف انرژی ارزیابی شده و مورد تاثیر هر کدام از دو عامل مذکور پس از شناخت موضوعات و مسائل مطرح شده به بررسی مشکلات موجود پرداخته و راه حل هایی صحیح جهت برخورد با این گونه مسائل ارائه شود تا انشاءالله بدین وسیله هدف اصلی از ارائه این پروژه محقق شود. همان طور که قبلا ذکر شد ما در ایران برای تامین مصرف سوخت کوره ها صرفا از مازوت و گاز طبیعی استفاده می کنیم. شعله گاز دارای پائین ترین ضریب انتشار است و سوخت گاز نیاز به هوای بیشتری دارد و به همین خاطر بازده گاز پائین تر از دو نوع دیگر سوخت است. در مقایسه با سوخت جامد و مایع، حرارت سوخت گاز آهسته تر آزاد می شود و اوج درجه حرارت آن در فاصله ۲۰ متری است. درحالیکه این فاصله برای نفت کوره ۵- ۱۰ متر است.

این خاصیت باعث می شود که در پاسخ تغییرات انجام شده برای کنترل بهتر کوره عکس العمل کندتری از کوره ی گاز سوز دریافت شود. از طرفی سوخت گاز ارزانه ترین سوخت است و نیاز به ذخیره سازی ندارد ولی در شش ماهه ی دوم سال به علت بالا بودن مصرف گاز در کشور محدودیت استفاده در کارخانجات را دارد. با توجه به هزینه های بالای انرژی و اثر قابل توجهی که در تهیه سوخت مازوت برای کوره ها مخصوصا در زمستان سال گذشته بوجود آمده، به طوری که باعث تعطیلی موقت بسیاری از کارخانجات سیمان کشور

شده است، هر تلاشی را در جهت کاهش مصرف انرژی ضروری میدانند. البته رسیدن به این هدف نباید باعث شود مرغوبیت سیمان تولید شده کاهش پیدا کند بلکه باید در راستای بهبود کیفیت تولید نیز باشد.

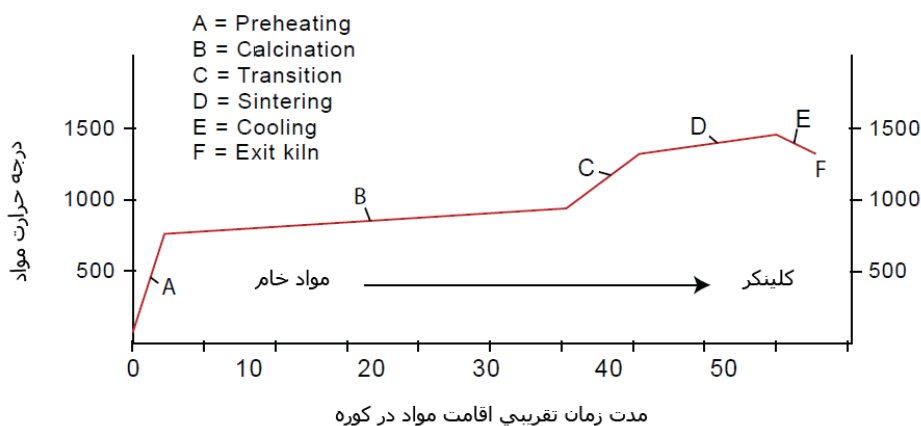
امروزه بهینه سازی کوره ها در زمره ی اولویت های مهندسی قرار گرفته است که می تواند تاثیرات شگرفی در این صنعت بگذارد. این امر زمانی میسر است که شناختی دقیق از پدیده های که درون کوره رخ می دهد وجود داشته باشد و بتوان ارتباط بین متغیرهای سیستم را بیان نمود، بهبود این روند نیاز به درک بهتری از تعامل میان شعله، فاز گاز و بستر جامد در کوره دارد.

با این حال به علت شرایط خاص محیطی کوره، مانع از مشاهده مستقیم یا اندازه گیری است. پس مدلسازی فرآیند به طور بالقوه می تواند یک جایگزین قابل اعتماد را ارائه کند. در این پروژه تمامی داده های مربوطه مختص خطوط یک و دو ی کوره های دوار کارخانه سیمان هگمتان می باشد که مورد بررسی قرار گرفته اند. قابل ذکر است کوره ی دوار خط یک بسیار قدیمی تر از کوره ی دوار خط دو می باشد و به نوعی همین امر موجب می گردد که علاوه بر مشخص شدن قابلیت هایشان امکان مقایسه از روند ساخت و تحلیل و طراحی کوره های دوار سیمان در جهت بهبود کیفیت تولید فراهم گردد. به منظور کاهش هزینه های آزمایشگاهی، تحلیل عددی با نرم افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی جایگاه بسیار مناسبی پیدا کرده است.

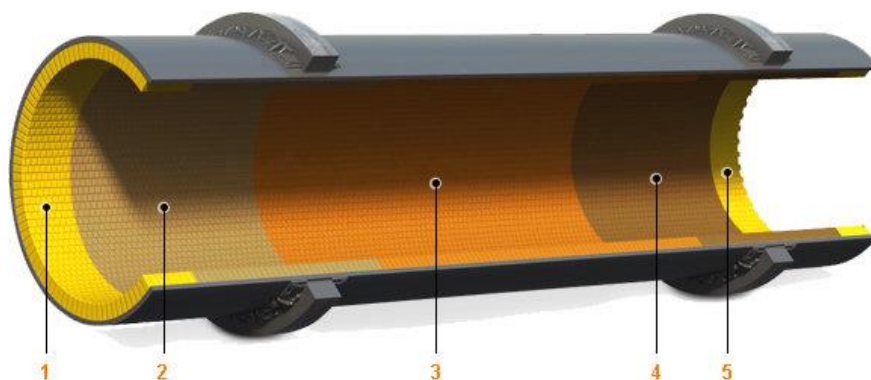
در این پروژه از نرم افزار پیش پردازنده انسیس فلوئنت برای تولید شبکه محاسباتی جریان و نرم افزار تجاری گمبیت برای حل معادلات و فیزیک جریان استفاده شده است. شبکه محاسباتی در دو کوره سیمان به صورت منظم و مکعبی با تعداد سلول معقول ایجاد و در ادامه با توجه به شرایط مرزی و معادلات حاکم از قبیل: بقای جرم، ممنتوم، انرژی، مدل احتراقی نرخ محدود / اضمحلال ادی ها، مدل جهات مجزا تشعشع و بقای گونه های گاز داغ و مواد داخل کوره ؛ حل آن ها در نرم افزار صورت پذیرفته است.

جدول ۱- ۶ مشخصات کوره های دوار کارخانه سیمان هگمتان

مشخصات کوره دوار سیمان خط ۱	مشخصات کوره دوار سیمان خط ۲
طول : ۶۳ متر	طول : ۵۴ متر
قطر : ۴/۱۵ متر	قطر : ۴/۵۵ متر
درجه حرارت ورودی برای مواد و همچنین گاز : ۹۰۰ درجه سانتیگراد	درجه حرارت ورودی برای مواد و همچنین گاز : ۸۵۰ درجه سانتیگراد
درجه حرارت خروجی برای مواد و همچنین گاز : ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد	درجه حرارت خروجی برای مواد و همچنین گاز : ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد



درجه حرارت مواد بر حسب سانتی گراد و مدت زمان تقریبی اقامت مواد در کوره بر حسب دقیقه



پوشش مناطق داخلی کوره : ۱- منطقه ی خنک کننده ۲- منطقه ی انتقالی پایین ۳- منطقه ی پخت ۴- منطقه انتقالی بالا ۵- منطقه ی آماده سازی

فشار ورودی : ۴/۰ تا ۷/۰ mbar حدود ۴۰۰ پاسکال	فشار ورودی : ۴۰۰ پاسکال
درجه پر شدگی : حدود ۱۵٪	درجه پر شدگی : حدود ۱۵٪
مدت اقامت مواد : $L/PDR \approx 11/2$ ، البته در شرایط پایا ( $t=0$ )	مدت اقامت مواد : $L/PDR \approx 11/2$ ، البته در شرایط پایا ( $t=0$ )
شیب کوره : ۲٪	شیب کوره : ۳/۵ الی ۲٪
چرخش کوره : بستگی به تناژ کوره بین ۲ تا ۳/۶ دور در دقیقه (RPM)	چرخش کوره: بستگی به تناژ کوره بین ۲/۵ تا ۳/۵ دور در دقیقه (RPM)
حداکثر دور کوره : ۵ دور در دقیقه (RPM)	حداکثر دور کوره : ۴ دور در دقیقه (RPM)
چگالی بستر : ۱/۲ تا ۱/۳ کیلوگرم بر لیتر	چگالی بستر : ۱/۲ تا ۱/۳ کیلوگرم بر لیتر
ظرفیت گرمایی گاز : ۸۷۰۰ Kcal/NM3	ظرفیت گرمایی گاز : ۸۷۰۰ Kcal/NM3

تحلیل ها توسط نرم افزار گمبیت<sup>۱</sup> و مدل سازی در فلوئنت<sup>۲</sup> بیانگر این واقعیت اند که ابزار مدل محاسباتی در جهت دستیابی به فرایندهای مهم کوره های دوار به طور کافی جامع هستند. به منظور محاسبه دما، با فرض پایا بودن<sup>۳</sup> برای عملکرد کوره، معادلات موازنه جرم و انرژی در طول کوره به طور همزمان حل می شوند. فرض پایا بودن با توجه به دینامیک کندی که در سیستم های انتقال حرارتی، در کوره دوار وجود دارد و با توجه به سرعت بالا در محاسبات کامپیوتری که برای شبیه سازی بکار برده می شود و زمان کمی که در هر بار انجام محاسبات سراسری در طول کوره انجام می گیرد فرض کاملاً معقولی بوده و نتایج قابل قبولی از آن انتظار می رود. در این تحقیق روش مبتنی بر دینامیک سیالات محاسباتی برای دستیابی به فرآیندهای مهم کوره های دوار سیمان بکار گرفته شده و اثرات آن بر فاکتور بهبود کیفیت تولید مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲-۶. فرضیات مدل سازی

سه پدیده در فرایندهای احتراقی جریان گازی رایج هستند:

(۱) مکانیک سیالات آشفته با انتقال حرارت، گازی

(۲) احتراق آشفته، گازی

(۳) انتقال انرژی تشعشعی

فرضیات این مدل عبارتند از :

(۱) مستقل بودن درجه حرارت کوره از زمان یا به عبارت دیگر شبه یکنواخت فرض کردن شرایط حرارتی کوره.

(۲) در مقطع مورد نظر کوره دوار درجه حرارت گاز ثابت فرض می گردد.

(۳) درجه حرارت سطح دیواره در تماس با گاز و ماده ثابت است.

---

<sup>۱</sup>Gambit 2.4.6

<sup>۲</sup> Ansys Fluent R15.0

<sup>۳</sup> State Steady

(۴) هدایت حرارتی در دیواره کوره برای گرمای تلف شده از آن غیرگذرا بوده، دیواره به صورت سطح مسطح در نظر گرفته می شود.

(۵) در جهت محوری انتقال حرارت در گاز و مواد در دیواره و بالاخره در جهت کمائی وجود نداشته به عبارت دیگر ضریب انتقال گرما صفر می باشد.

(۶) از تغییرات درجه پرشدگی کوره بر اساس انتقال جرم صرف نظر می گردد.

(۷) ضرایب هدایت حرارت دیواره و مواد مستقل از زمان و درجه حرارت بوده، همچنین ضریب هدایت حرارتی دیواره مستقل از مکان نیز می باشد.

(۸) فرض اساسی در مطالعه جریان سیال آشفته گازی این است که گاز می تواند یک محیط پیوسته فرض شود.

(۹) معادلات سینیتیکی تغییرات غلظت با زمان برای هر ترکیب از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\frac{\partial K}{\partial t} = - \mathcal{G}_s \frac{\partial K}{\partial z} + R(K)$$

در جدول زیر (۲-۶) عکس العمل واکنش سینیتیک و گرمای واکنش درون کوره نشان داده می شود :

جدول ۲-۶ واکنش سینیتیک و گرمای واکنش	
Reaction. Zone	Reaction.
Decomposition	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
Transition	$2\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{S}$
Sintering	$\text{CaO} + \text{C}_2\text{S} \rightarrow \text{C}_3\text{S}$
Transition	$3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_3\text{A}$
Transition	$4\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_4\text{AF}$

(۱۰) معادله انتقال از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$K.A.\frac{\partial^2 T}{\partial^2 Z} + K \int_r \frac{\partial T}{\partial n} d\tau = C_p . \rho . A . \frac{\partial T}{\partial \tau} + A.Q$$

یک قسمت مهم از معادله های مورد استفاده جهت شبیه سازی کوره، معادله ی سرعت واکنش اجزای داخل کوره است. هر کوره مستقیمی که به پیش گرمکن متصل نیست به چند منطقه عملیاتی تقسیم می گردد. این مناطق بر حسب درصد طول کوره بیان می شوند.



واکنش های کلی که در کوره های سیمان انجام می گیرند عبارت اند از:

جدول ۳-۶ واکنش های کلی در کوره های سیمان	
گرماگیر	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
گرمازا	$2\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{S}$
گرمازا	$\text{CaO} + \text{C}_2\text{S} \rightarrow \text{C}_3\text{S}$
گرماگیر	$3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_3\text{A}$
گرماگیر	$4\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_4\text{AF}$

ثابت های سرعت این واکنش ها از قانون آرنیوس پیروی می کنند:

$$K_i = K_o \exp (E_i/RT)$$

همانطور که گفته شد با شبیه سازی دستگاه و یا مجموعه ای از معادلات ریاضی می توان اثر تغییر متغیرها را بررسی نمود و به حالت بهینه و کنترل سیستم دست یافت. بطور کلی در راه شبیه سازی چهار مرحله اساسی زیر باید انجام گیرد:

(۱) شناخت دقیق فرایند و تحولاتی که در آن رخ می دهد

(۲) نشان دادن تحولات در قالب معادلات ریاضی

(۳) یافتن روش حل همزمان معادلات

(۴) تست مدل ایجاد شده و سنجش دقت و درستی پاسخ های مدل در قبال تغییر متغیرها.

در کوره های دوار تولید کلینکر پدیده های زیر را داریم :

حرکت مواد جامد و گاز، واکنش های شیمیایی در فاز جامد و احتراق در فاز گاز، انتقال جرم از فاز جامد به گاز به دلیل کلسیناسون، تبخیر قلیایی ها و تبخیر آب مبادلات حرارتی به صورت تشعشعی، جابجایی و هدایت بین گاز و مواد جامد و پوسته داخلی و همچنین پوسته خارجی با محیط.

در بعضی مناطق برای تشریح این پدیده ها باید از معادلات زیر استفاده کرد:

(۱) معادلات مربوط به سرعت واکنش ها

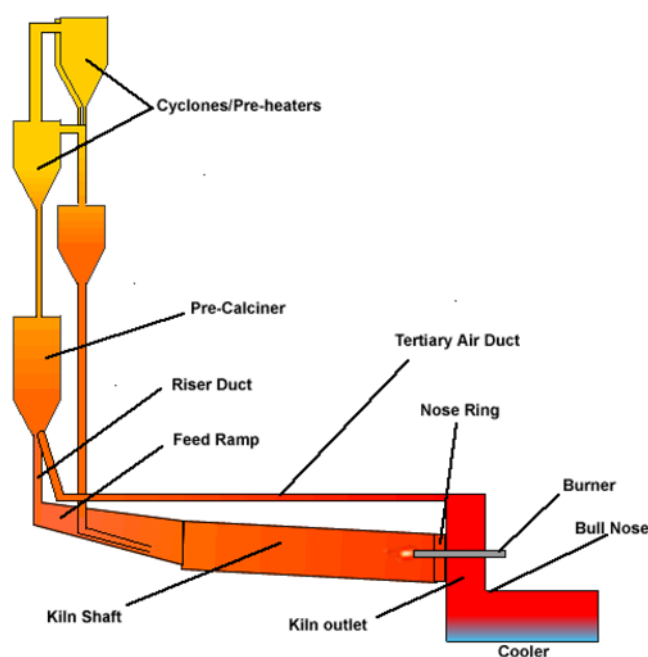
(۲) معادلات موازنه جرم

(۳) معادلات موازنه انرژی

۴) فرمول هایی برای محاسبه پارامترهای متغیر در داخل کوره نظیر ضرایب انتقال حرارت جابجایی، هدایت تشعشع، ظرفیت های گرمایی ویژه و گرمای واکنش ها.

برای رسیدن به هدف تحقیق باید درک درستی از کل مجموعه های مرتبط به کوره ی سیمان داشته باشیم که شامل قسمت های اصلی پیش گرمکن، کلساینر، کانال هوای سوم، کوره و خنک کن می باشد. حالات و شرایط کوره به وسیله متغیرهای زیر مشخص می شود:

- ۱) درجه حرارت منطقه پخت، که اثر برجسته ای روی کیفیت محصول دارد
  - ۲) درجه حرارت عقب کوره، که روی نحوه کار پایدار کوره کنترل اساسی را دارد
  - ۳) درصد اکسیژن در گاز خروجی، که چگونگی اشتعال و بازده سوختن و سوخت را تحت نفوذ خود دارد.
- بجز موارد استثنائی حالات اضطراری و واژگونه (نامتعادل) کوره، در اغلب موارد کنترل سه متغیر اصلی را می توان به وسیله تنظیمات روی مقدار سوخت، دور کوره، سرعت فن کوره و در حدود مقادیر مجاز انجام داد. براساس ساده کردن رابطه های ریاضی برای انتقال مواد و گرما نمودارهای دمایی و ترکیبات جامد تعیین کننده هستند.



شکل ۱-۶ قسمت های اصلی مرتبط به کوره ی سیمان

نتایج مدل در مطابقت با وضعیت ها، در نظر گرفته می شوند. برای ارزیابی درست نتایج، چندین مرحله داده ی خاص از قبیل میزان پیوسته ی داده های دما، ترکیبات جامد و گاز، انتقال گرما و میزان واکنش ها در کوره، ارزیابی می شوند.

قواعد اصولی حاکم بر میزان خوراک کوره و پیشروی مواد در کوره را که می بایستی بدانیم و به یاد داشته باشد به شرح زیر است: هرگز نبایستی بار کوره برای مدت بیش از ۵ دقیقه قطع باشد، هرگز نبایستی بالا بردن بار کوره به قیمت از دست رفتن ثبات و پایداری کوره تمام شود، در مواقعی که از قبل متوجه می شویم که تغییراتی در بستر مواد واقع در زیر شعله در حال وقوع است هرگز نبایستی در انجام تنظیمات لازمه جهت پیش گیری تعلل نماییم.

حال به بررسی واکنش می پردازیم، تجزیه کربنات کلسیم در اثر حرارت بصورت زیر می باشد:



این یک واکنش تعادلی است با کاهش درجه حرارت به سمت چپ پیشرفت میکند به عبارتی سرد شدن محیط باعث برگشت واکنش میشود. درجه ی حرارت تئوری این واکنش ۸۹۸ درجه سلسیوس که میتواند از ۸۱۲ تا ۹۲۸ درجه نیز متغیر باشد اگرچه در عمل انجام این واکنش از ۵۵۰ درجه در طبقات میانی شروع می شود. این تغییرها در درجه حرارت به چند علت مانند دانه بندی کربناتها، نوع کربناتها و درجه تبلور آنها بستگی دارد.

### ۳-۶. مدل های استفاده شده در نرم افزار

همه شبیه سازی ها با استفاده از نرم افزار Ansys Fluent R15.0 و به وسیله شبکه Gambit 2.4.6 برای مدل کردن هندسه کوره استفاده شده است و مجموعه ای از سلول های شش وجهی (Hexahedron) و چهار وجهی (Tetrahedral) می باشد.

در جدول زیر (۴-۶) مدل های استفاده شده در نرم افزار شرح داده شده است:

جدول ۴-۶ مدل های استفاده شده در نرم افزار	
Pressure Based	حل کننده
Implicit	روش فرمول بندی
Simple	الگوریتم کوپلینگ سرعت فشار
$k, \varepsilon$ , Standard	مدل توربولانسی
Species Transport & Single step	مدلسازی احتراق
Finite rate/Eddy dissipation	تقابل شیمی و آشفستگی
Discrete Ordinates (DO)	مدل تشعشع
WSGGM	ضریب جذب محیط واسط در مدل تشعشعی

وقتی که در فلوئنت برای حل مساله از روشهای Generalized finite rate که به معنی حل معادلات بقای گونه های شیمیایی برای هر گونه می باشد، استفاده شود، به منظور در نظرگیری اثرات آشفستگی بر نرخ واکنش باید از مدل Finite rate/Eddy dissipation استفاده نمود که در آن هم نرخ واکنش آرنیوس و هم نرخهای واکنش اتلاف گردابه ای محاسبه می شوند و کمترین مقدار آن ها به عنوان نرخ واکنشی خالص در نظر گرفته می شود.

## **فصل هفتم**

### **شرح فرایند و مدل سازی**

## ۷-۱. شرح فرایند

زمان لازم برای تجزیه  $\text{CaCO}_3$  با افزایش درجه حرارت مواد و کاهش فشار جزئی در گازهای احتراق و کاهش میزان مواد معلق در گاز و کاهش اندازه دانه بندی  $\text{CaCO}_3$  و سرانجام کاهش تبلور کاهش می یابد. تجزیه بوسیله هسته تجزیه نشده  $\text{CaCO}_3$  و بالاخره  $\text{CaO}$  ایجاد شده است. ناحیه واکنش با سرعت مشخص از لایه سطحی به طرف مرکز پیشرفت می کند که باعث انتقال گرما از محیط اطراف به داخل گلوله شده و به محیط منتقل می شود.

واکنش های انجام شده عبارتند از :

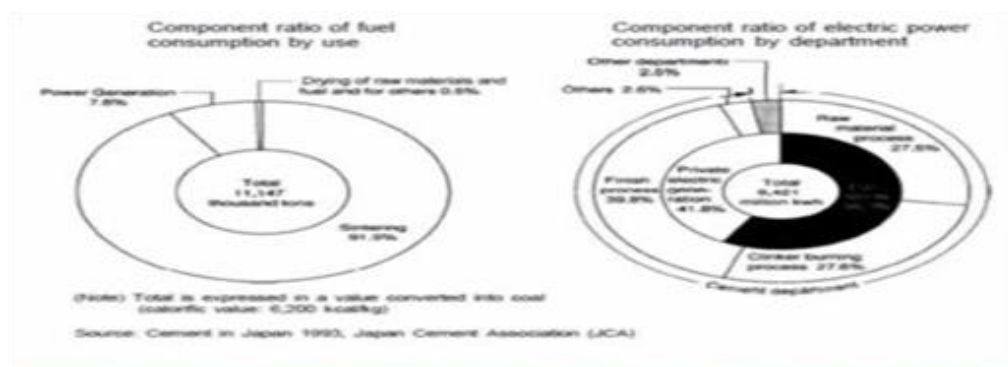
(۱) انتقال حرارت از محیط به سطح ذره از طریق جابجایی

(۲) انتقال حرارت هدایت از لایه تجزیه شده به ناحیه ی واکنش

(۳) نفوذ  $\text{CO}_2$  از داخل لایه  $\text{CaO}$  به سطح خارجی

(۴) انتقال جرم از سطح ذره به محیط

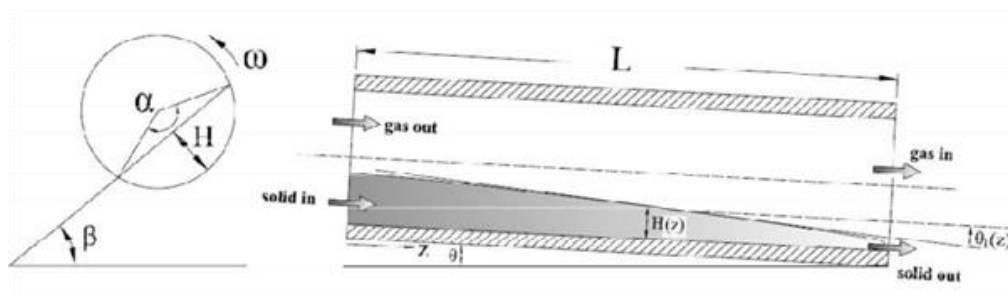
(۵) واکنش شیمیایی



شکل ۷-۱ مکانیزم انتقال

تحقیقات زیادی برای بررسی نحوه ی انتقال جرم و حرارت در استوانه های دوار اعم از کوره ی دوار یا خشک کن دوار انجام شده است، که نشان می دهند انتقال حرارت و جرم در بستر به نوع حرکت جامدات بستگی دارد. مطالعات نشان می دهد که حرکت ذرات در یک استوانه ی چرخان دارای دو مؤلفه یکی در راستای محور استوانه که ناشی از شیب استوانه نسبت به خط افق است و دیگری در راستای محیط کوره و هم مرکز با جداره ی کوره که منتج از حرکت دوار استوانه حول محور مرکزی اش است. الگوهای تعریف و

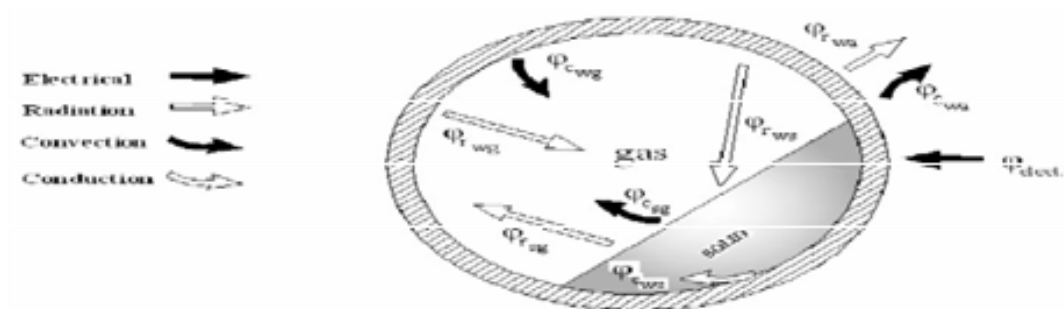
شناخته شده برای حرکت جامدات در کوره های دوار شامل الگوهای لغزشی، نشستی، غلتشی، آبشاری کوچک، آبشاری بزرگ یا مرکز گریز می باشند که به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته اند. شکل زیر برای تعیین نوع الگوی حاکم بر یک عملیات صنعتی باید عدد بدون بعد فرود  $Fr = \omega^2 R/g$  و همچنین نسبت بدون عمق بستر به شعاع کوره  $H/R$  (میزان پر بودن) محاسبه شود و مقادیر به دست آمده با دیاگرام های رفتاری این نوع کوره ها مقایسه شود. حرکت غلتشی، نسبت به سایر موارد بیان شده، ترجیح داده می شود. علت این امر آن است که این نوع حرکت اختلاط بهتر ذرات جامد را فراهم می آورد. واضح است که اختلاط بهتر، شارهای انتقال جرم و حرارت بین فاز جامد و گاز را بهبود می بخشد.



شکل ۷-۲ تعیین نوع الگوی حاکم بر یک عملیات صنعتی

## ۷-۲. روابط مربوط به انتقال حرارت بین فازها و قسمتهای مختلف کوره های دوار

یکی از اهداف مهم در کوره های دوار انجام واکنش در طول بستر است که لازمه ی آن بالا بودن دمای بستر تا رسیدن به دمای واکنش است. این گرما می تواند از منابع مختلف تأمین شود. در اکثر کوره های دوار انتقال حرارت هم در بخش گرمایی و هم در ناحیه ی واکنش عامل محدودکننده می باشد. بنابراین سازوکارهای انتقال حرارت در کوره های دوار نقش اساسی ایفا می کنند. انتقال حرارت بین گاز، جامد، بدنه ی کوره و محیط می تواند از طریق تابش، همرفت و هدایت صورت گیرد.



شکل ۷-۳ طرح واره ای از انواع سازوکارهای انتقال حرارت در کوره دوار

تبادل های حرارتی در سطح مقطع های عمود بر محور کوره و به ازای واحد طول کوره بیان می شوند. برای محاسبه ی مقادیر مربوط به تبادل های حرارتی، باید ضرایب انتقال حرارت هر یک از این سازوکار ها محاسبه شود. برای این منظور روابط مربوط از مراجع مختلف استخراج و در جدول زیر جمع آوری شده است.

جدول ۱-۷ روابط مربوط به ضرایب و سطوح انتقال حرارت و میزان گرمای مبادله شده در کوره

ضریب انتقال همرفتی حرارت	سطح انتقال حرارت در واحد طول کوره	گرمای مبادله شده در واحد طول
$h_{cwg} = 10.87 \left( \frac{m_g}{F_0} \right)^{0.067}$	$A_{wi} = d_{wi} \left( \pi - \frac{\alpha}{2} \right)$	$\varphi_{cwg} = h_{cwg} A_{wi} (T_w - T_g)$
$h_{csg} = 10.87 \left( \frac{m_g}{F_0} \right)^{0.067}$	$A_s = d_{wi} \sin \frac{\alpha}{2}$	$\varphi_{csg} = h_{csg} A_s (T_s - T_g)$
$h_{cws} = 5 h_{cgs}$	$A_{wc} = \frac{\alpha d_{wi}}{2}$	$\varphi_{cws} = h_{cws} A_{wc} (T_w - T_s)$
$E_{rwg} = \varepsilon_g \cdot \varepsilon_w$	$A_{wu} = d_{wi} \left( \pi - \frac{\alpha}{2} \right)$	$\varphi_{rwg} = A_{wu} E_{rwg} \sigma (T_w^4 - T_g^4)$
$E_{rsg} = \varepsilon_s \cdot \varepsilon_g$	$A_s = d_{wi} \sin \frac{\alpha}{2}$	$\varphi_{rsg} = A_s E_{rsg} \sigma (T_s^4 - T_g^4)$
$E_{rws} = \varepsilon_w \cdot \varepsilon_s (1 - \varepsilon_g)$	$A_s = d_{wi} \sin \frac{\alpha}{2}$	$\varphi_{rws} = A_s E_{rws} \sigma (T_w^4 - T_s^4)$

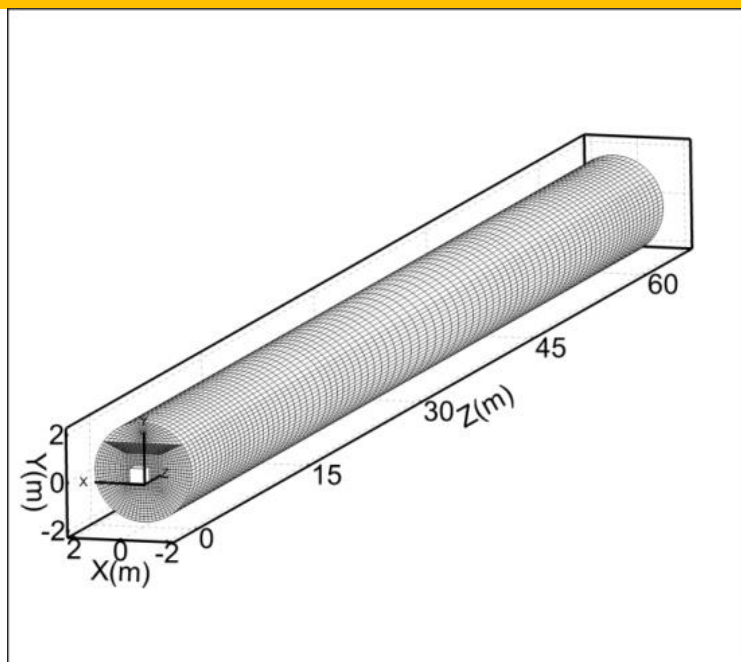
محاسبه ی شار حرارتی مبادله شده از طریق تابش در داخل کوره نیازمند دانستن خواص تابشی نظیر ضریب های نشر جامد، دیواره ی کوره و گاز می باشد. مقدار ضریب نشر گازها تابعی از جنس گاز، دما و طول موج است و به فشار گاز و شکل هندسی توده ی گاز نیز بستگی دارد.



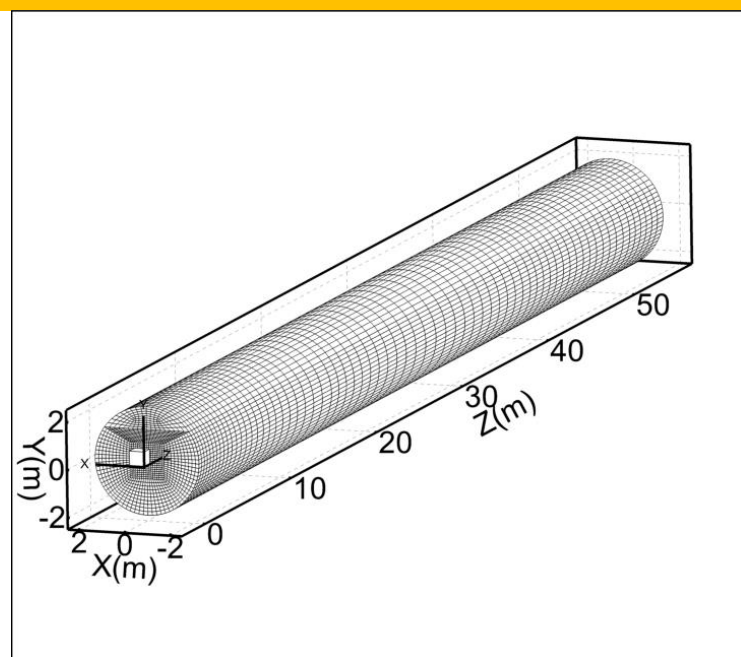
### ۷-۳. شبکه بندی هندسه در گمبیت و مدلسازی در فلوئنت

۷-۳-۱. هندسه و شبکه بندی کوره های دوار سیمان

۱

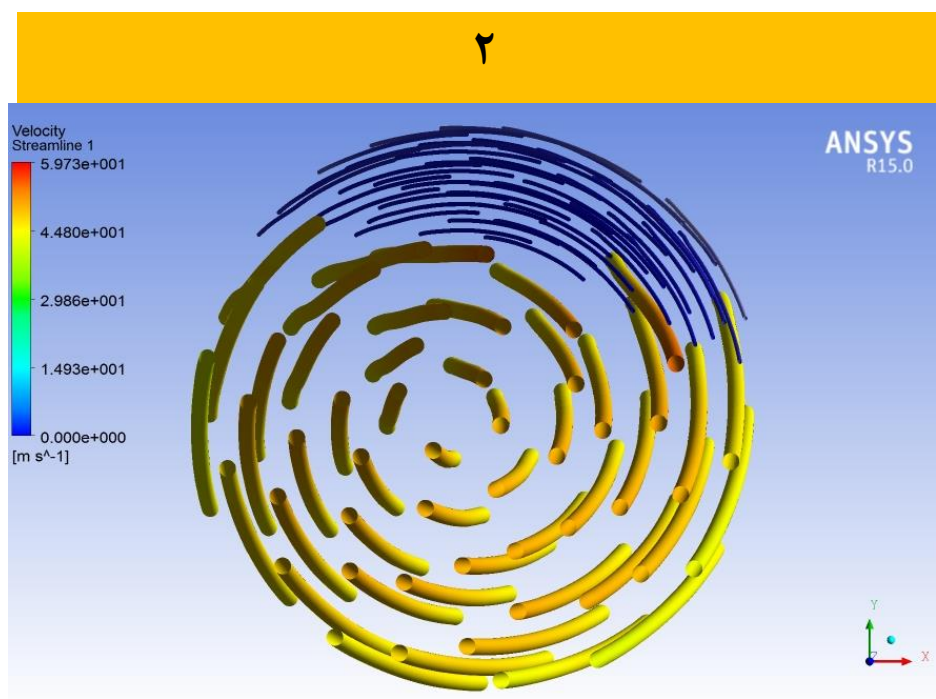
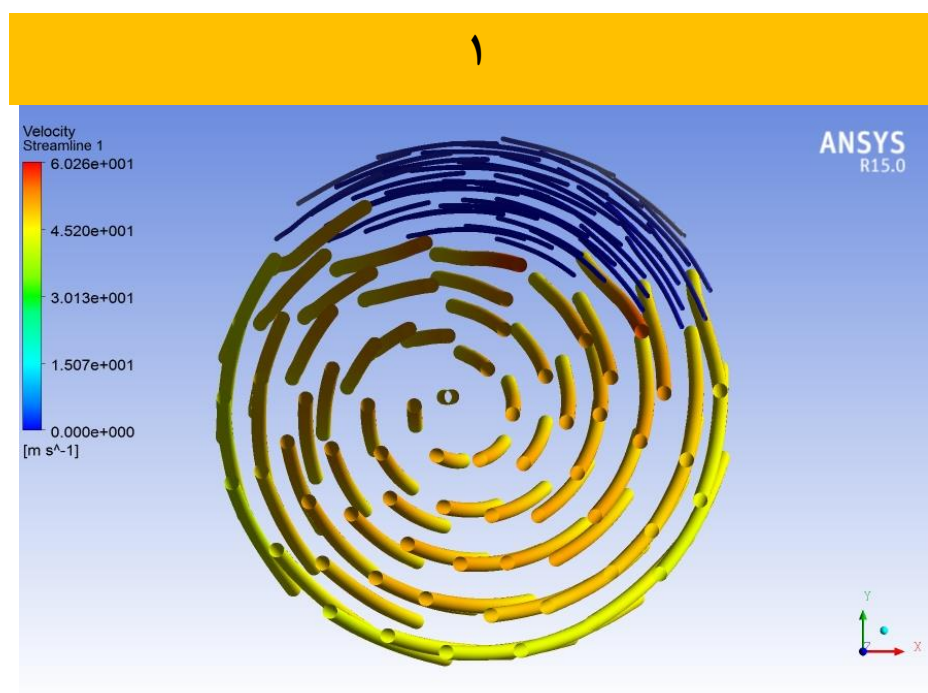


۲



## ۷-۳-۲. خطوط جریان

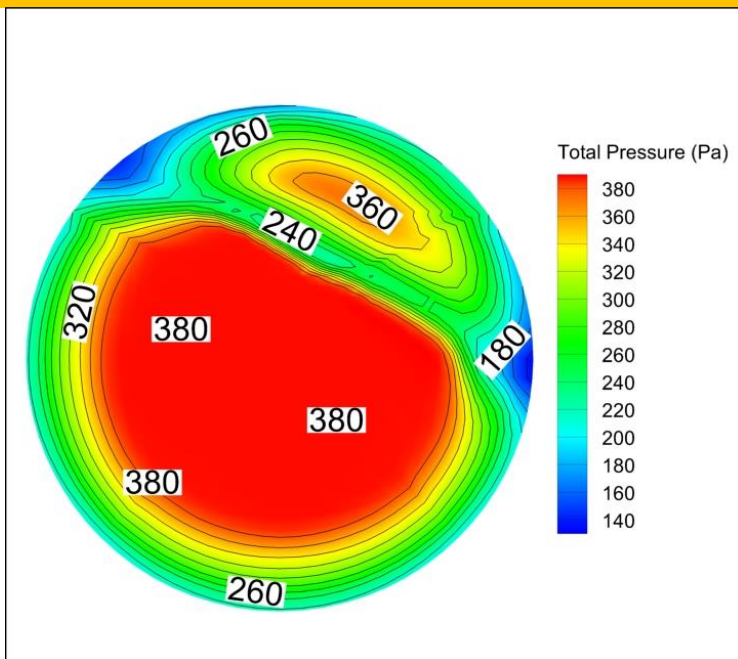
شکل زیر خطوط سه بعدی جریان در مقطع عرضی دو کوره را نشان می‌دهد. در موارد ۱ و ۲ ناحیه پرشدگی با رنگ آبی مشخص شده است. این شکل چرخش مواد و گاز داغ را بیان می‌کند.



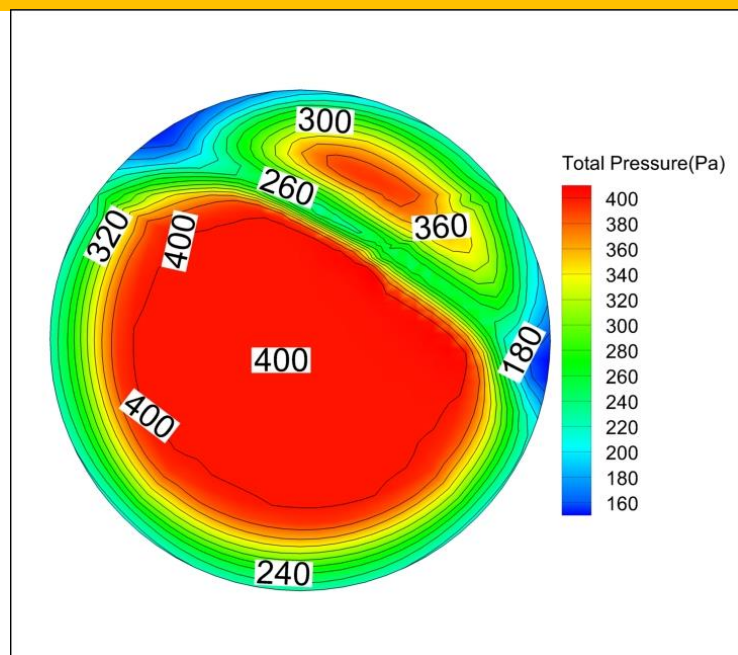
### ۳-۳-۷. فشار

شکل زیر فشار سکون در مقطع خروجی دو کوره را نشان می‌دهد. در کوره ۲ فشار سکون بیشتری نسبت به کوره ۱ ایجاد کرده است که این اتفاق متأثر از سرعت دورانی بوده که در کوره ۲ بیشتر است.

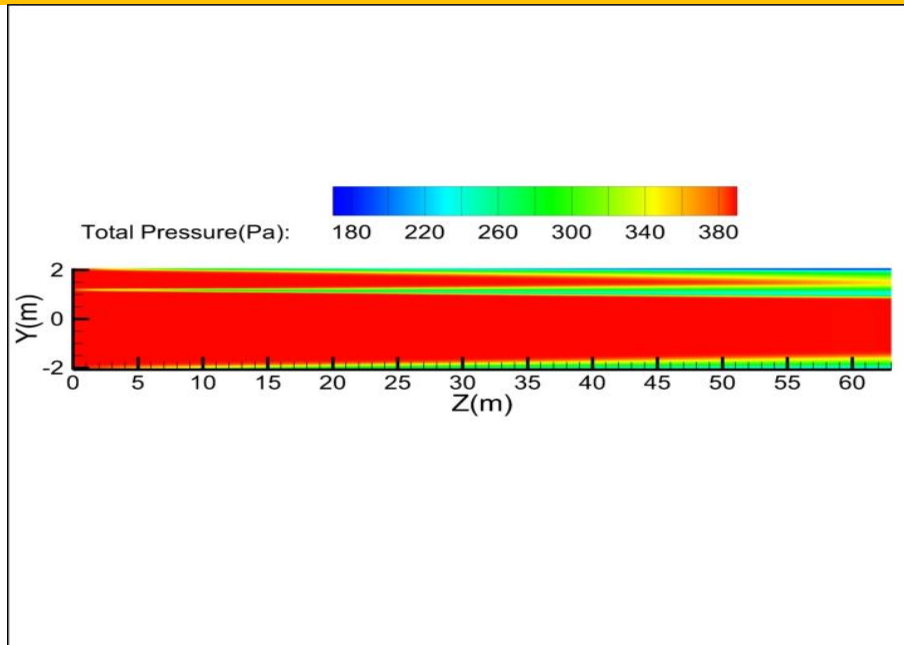
۱



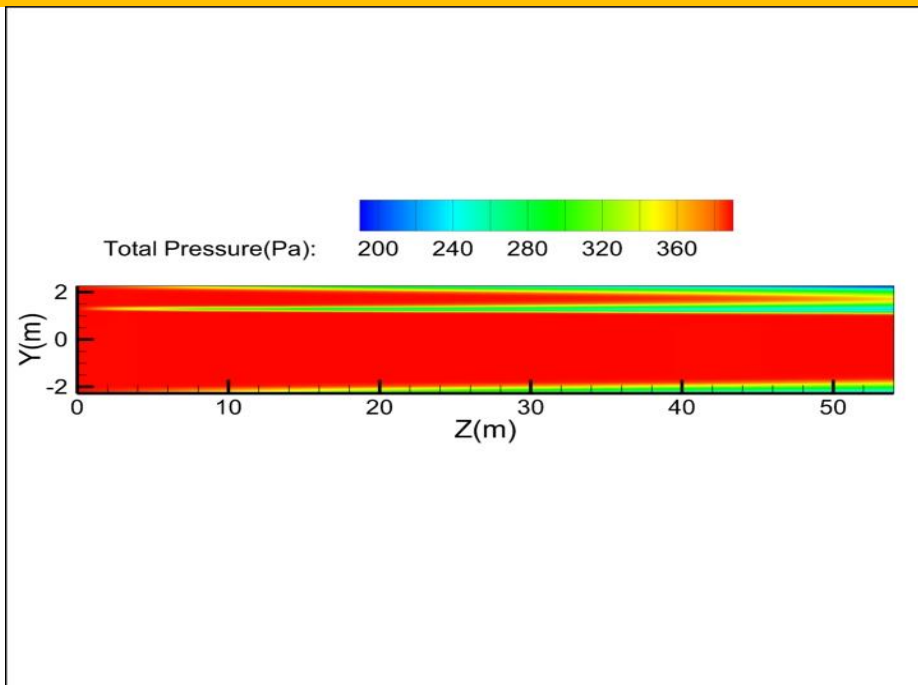
۲



۱



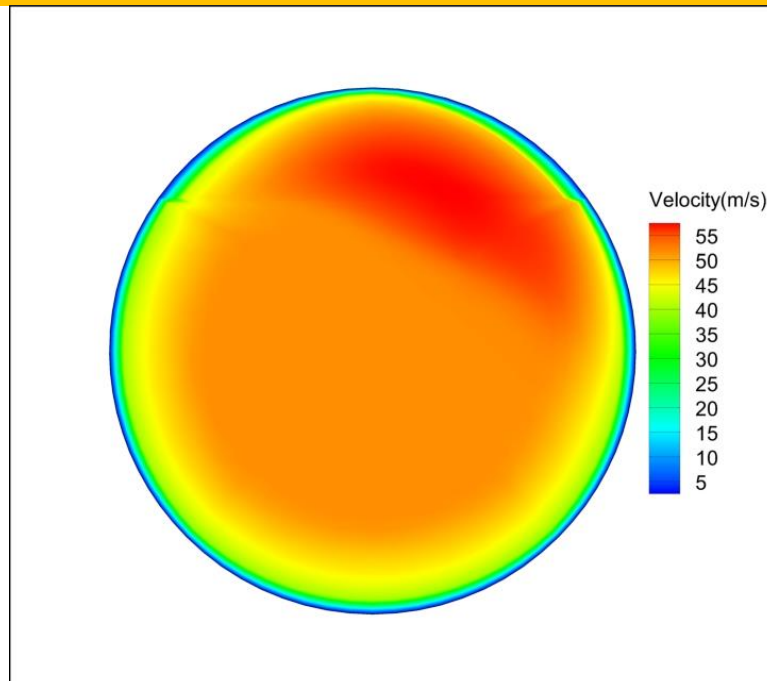
۲



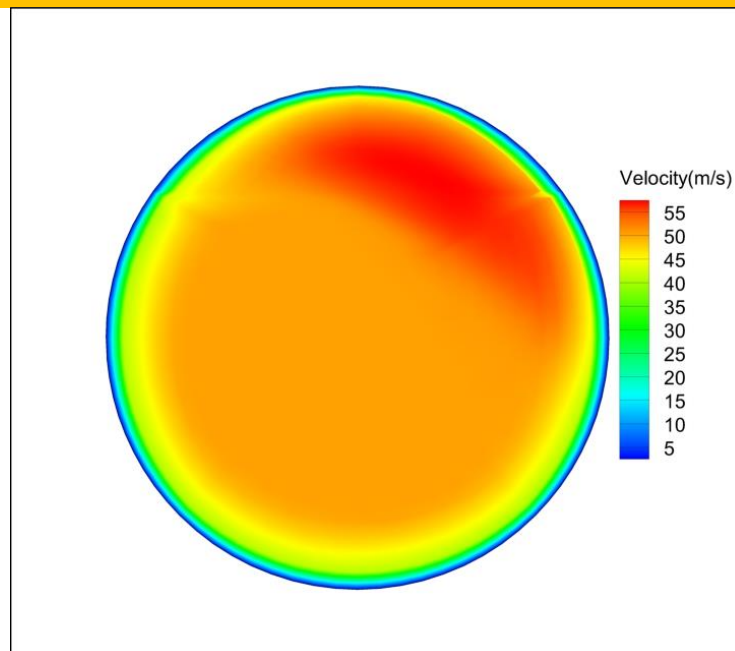
#### ۴-۳-۷. سرعت

شکل زیر سرعت را در خروجی نشان می‌دهد. نواحی سرعت بیشینه در شماره ۲ کمتر از کوره ۱ می‌باشد.

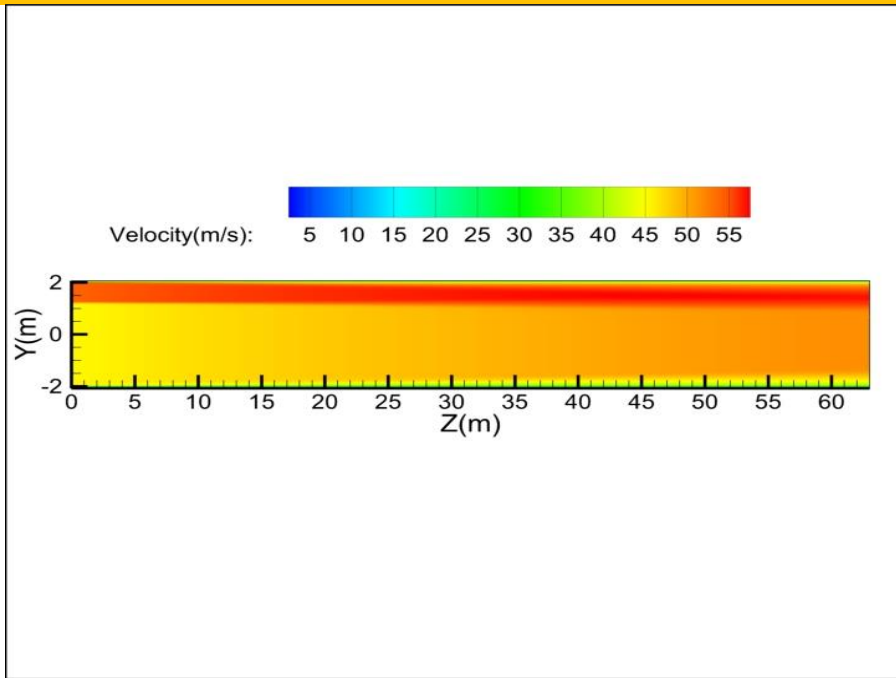
۱



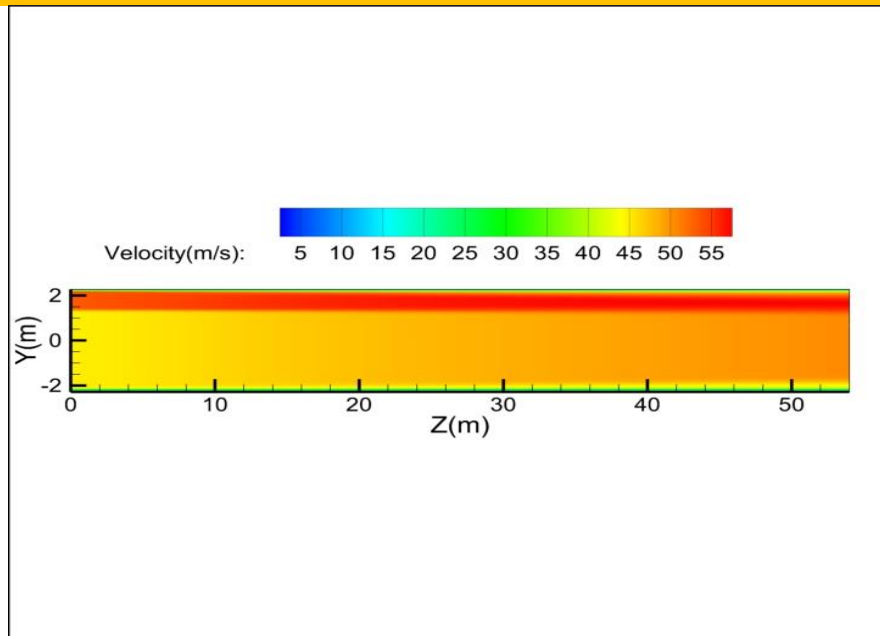
۲



١



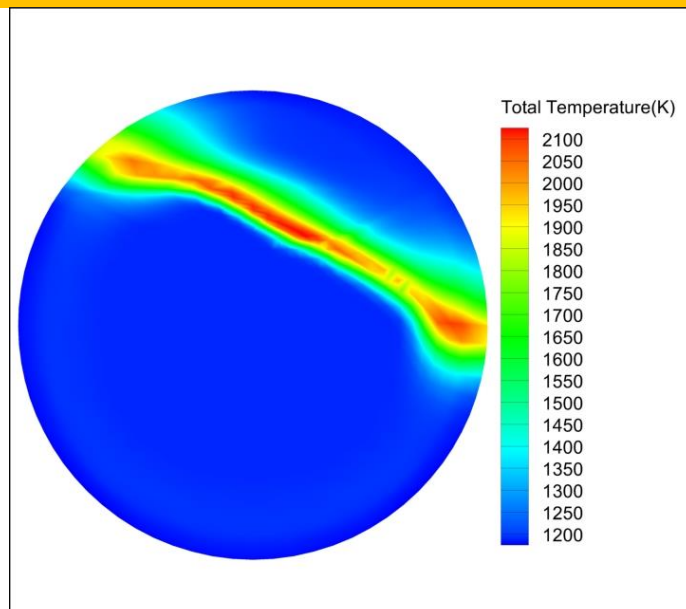
٢



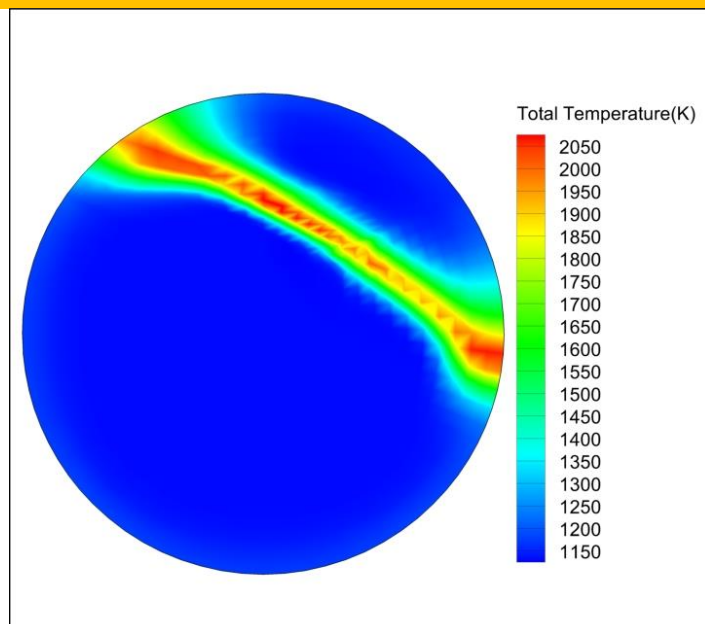
### ۵-۳-۷. دما

شکل زیر دمای سکون جریان گاز داغ و مواد را در خروجی بیان می‌کند. دمای بیشینه در کوره ۲ بیشتر از کوره ۱ است.

۱

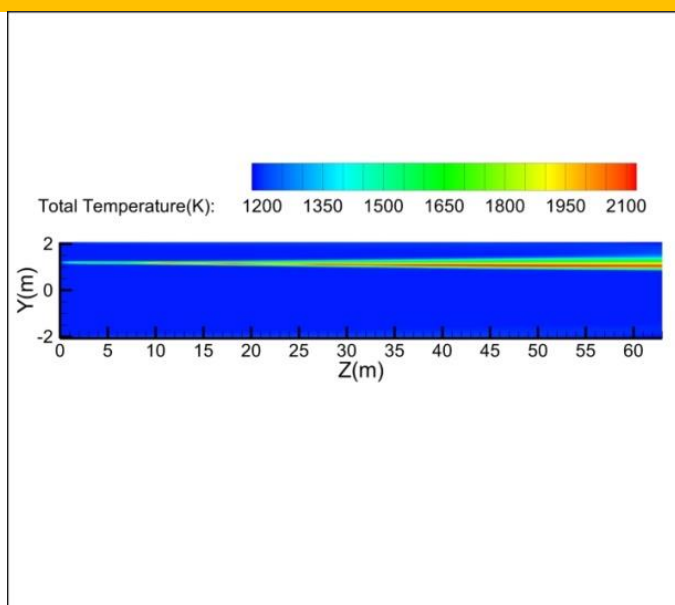


۲

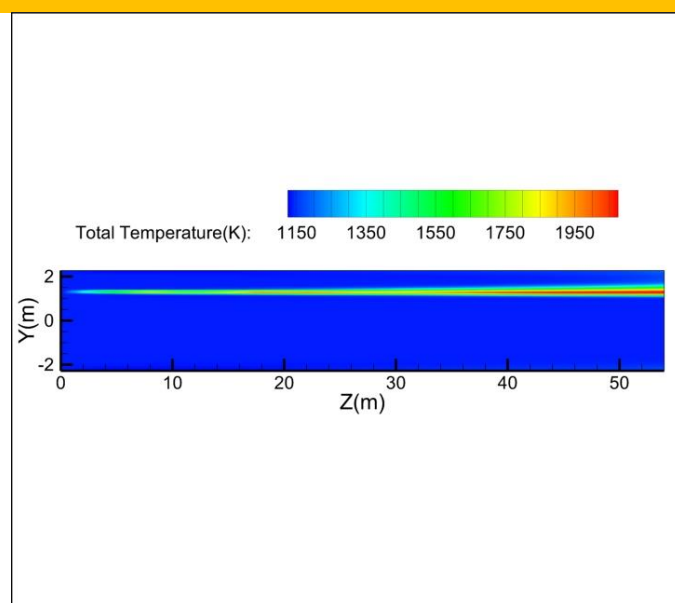


در این شکل خط رگه داغ از جریان مشخص شده است. در کوره ۲ این خط رگه دمای کمتری دارد.

۱

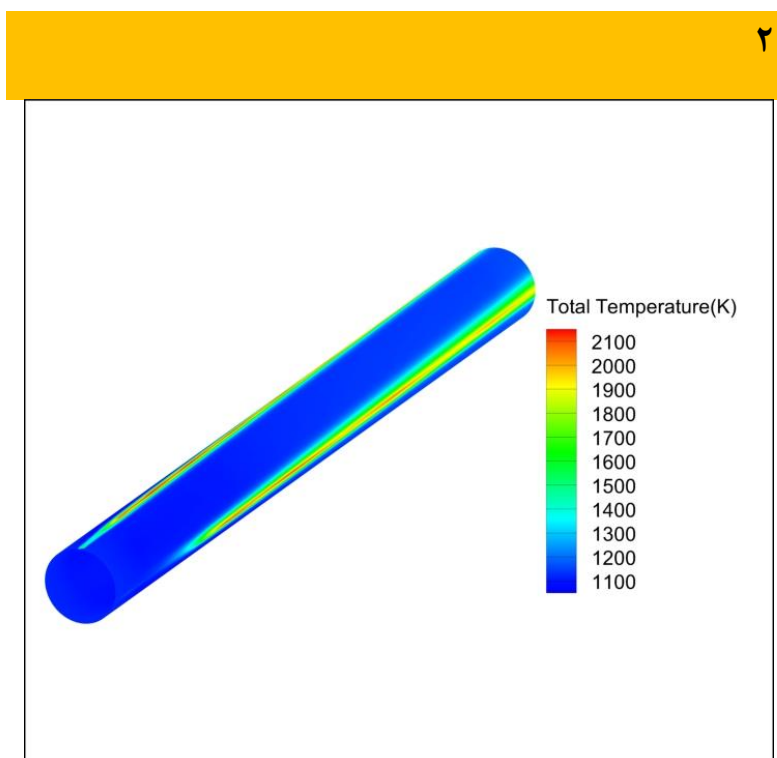
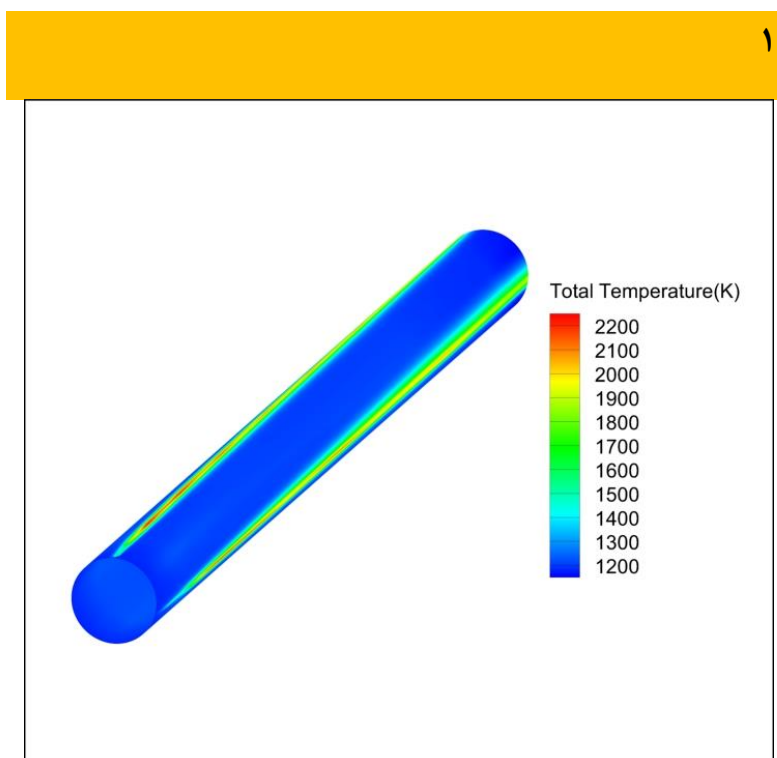


۲





شکل زیر یکنواختی دما بدنه کوره‌ها را نشان می‌دهد. البته در هر دو کوره دو ناحیه خطی داغ بر روی بدنه به وجود آمده است که مقدار و اثر آن در بدنه کوره ۲ کمتر از بدنه کوره ۱ است.



## **فصل هشتم**

### **نتیجه گیری و پیشنهادات**

افزایش دور چرخش کوره به مفهوم افزایش نسبت سرعت دوران به خوراک کوره می باشد و به وسیله مدلسازی با نرم افزار انجام شد و اثرات آن بر افزایش کیفیت کلینکر تولیدی و به تبع آن بهبود در کیفیت انتقال حرارت بین گاز و مواد، کاهش گازهای آلاینده و کاهش مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفت.

حداقل درجه حرارت در داخل کوره های دارای پیش گرم کن ۹۰۰ درجه سانتیگراد و حداکثر درجه حرارت مقداری کمتر از درجه حرارت شعله می باشد. در منطقه پخت درجه حرارت لازم برای پخت کلینکر حدود ۱۴۵۰-۱۳۵۰ درجه سانتیگراد می باشد.

برای مقدار معین دور کوره و تغذیه کوره، درجه حرارت ایده آلی برای عقب کوره وجود دارد. اگر حرارت زیادی به عقب کوره برود، باعث می گردد که خوراک کوره به طور زودرس کلینکر شود و در نتیجه پخت مواد در نقاط عقب تر کوره صورت گیرد.

این عمل باعث خواهد شد که بازده حرارتی سوخت کم شود و سوخت مصرفی زیاد گردد. به عکس وقتی که حرارت کمتری به عقب کوره برسد، نتیجه این خواهد شد که خوراک کوره به صورت ناقص تکلیس شود و سپس وارد منطقه پخت گردد، در نتیجه مواد فوق العاده دیرپز خواهند بود.

توزیع دما، اتلاف خالص حرارت به محیط را کنترل می کند که یکی از عوامل مهم مصرف انرژی خالص در کوره می باشد، بنابراین پیش بینی دقیق دما ضروری است. با داشتن یک منطقه پخت کوتاه، افزایش توان تولیدی کوره را خواهیم داشت.

حالات و شرایط کوره به وسیله متغیرهای زیر مشخص می شود:

- ۱- درجه حرارت منطقه پخت، که اثر برجسته ای روی کیفیت محصول دارد.
- ۲- درجه حرارت عقب کوره، که روی نحوه کار پایدار کوره کنترل اساسی را دارد.
- ۳- درصد اکسیژن در گاز خروجی، که چگونگی اشتعال و بازده سوختن و سوخت را تحت نفوذ خود دارد.

بجز موارد استثنائی حالات اضطراری و واژگونه (نامتعادل) کوره، در اغلب موارد کنترل سه متغیر اصلی را می‌توان به وسیله تنظیمات روی مقدار سوخت، دور کوره، سرعت فن کوره و در حدود مقادیر مجاز انجام داد. براساس ساده کردن رابطه های ریاضی برای انتقال مواد و گرما نمودارهای دمایی و ترکیبات جامد تعیین کننده هستند. نتایج مدل در مطابقت با وضعیت ها، در نظر گرفته می شوند. برای ارزیابی درست نتایج شبیه سازی، چندین مرحله داده ی خاص از قبیل میزان پیوسته ی داده های دما، ترکیبات جامد و گاز، انتقال گرما و میزان واکنش ها در کوره، ارزیابی می شوند که در رسیدن به بالا بردن کیفیت تولید و کاهش مصرف انرژی با استفاده از طراحی و تحلیل های مناسب برای کوره های دوار سیمان را امکان پذیر خواهند نمود. سه قاعده اصولی حاکم بر میزان خوراک کوره و پیشروی مواد در کوره را که می‌بایستی بدانیم و به یاد داشته باشد به شرح زیر است:

- ۱- هرگز نبایستی بار کوره برای مدت بیش از ۵ دقیقه قطع باشد.
  - ۲- هرگز نبایستی بالا بردن بار کوره به قیمت از دست رفتن ثبات و پایداری کوره تمام شود.
  - ۳- در مواقعی که از قبل متوجه می‌شویم که تغییراتی در بستر مواد واقع در زیر شعله در حال وقوع است هرگز نبایستی در انجام تنظیمات لازمه جهت پیش‌گیری تعلل نماییم.
- هنگامیکه دور کوره پایین است تصمیم‌گیری در مورد هر چه زودتر بالا بردن دور از جمله ضرورتهاست. در مرحله ی اول بایستی حصول اطمینان از گرم شدن منطقه پخت بشود و یا اینکه نشانه هایی از اینکه در چند دقیقه دیگر (از روشن تر بودن رنگ مواد) منطقه پخت گرم خواهد شد، پدیدار گردد. در غیر این صورت هرگز نبایستی اقدام به افزایش دور کرد. پس از مطمئن شدن از اینکه منطقه پخت به حد کلینکر کردن رسیده است بایستی بلافاصله دور افزوده شود.
- هرچقدر مقدار افزایش دور بیشتر باشد بایستی فاصله زمانی اقدام به افزایش دور بعدی نیز بیشتر انتخاب شود. نحوه افزایش دور احتمالاً مهمترین عامل رسیدن به حالت پایدار و تثبیت شده مجدد کوره می‌باشد.

افزایش سرعت چرخش کوره به مفهوم افزایش نسبت سرعت دوران به خوراک کوره می‌باشد که افزایش در نسبت مزبور، موجب کاهش ضخامت بستر مواد در داخل کوره و به تبع آن بهبود در کیفیت انتقال حرارت بین گاز و مواد می‌گردد و به یک شعله داغ و کوتاه برای اتمام فرآیند پخت نیازمند است. با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام شده، فشار و دمای بیشینه در کوره ۲ بیشتر از کوره ۱ می‌باشد که در پخت مواد نقش مثبتی دارد. افزایش دما و فشار موجب نگرانی در استهلاک و سوزش بدنه کوره می‌شود. کوره ۲ با توجه به فشار و دمای بیشینه نسبت به کوره ۱، دمای متوسط بدنه کمتر و ناحیه داغ کوچکتر و به تبع آن اثرات مخرب کمتری دارد. لذا با توجه به شرایط یکسان و شبیه‌سازی‌های انجام شده کوره دوار سیمان شماره ۲ مورد توجه می‌باشد. البته شایان به ذکر است، این انتخاب از نتایج اولیه بدست آمده است. نتایج بدست آمده افزایش کیفیت کلینکر تولیدی و به تبع آن بهبود در کیفیت انتقال حرارت بین گاز و مواد را نشان می‌دهد که در واقع بهبود کیفیت تولید را حاصل می‌نماید. برای تکمیل و بهینه‌سازی دقیق‌تر نیازمند به بررسی بیشتر پارامترهای فیزیکی و مدل‌سازی پیچیده‌تر است.

نتایج حاصل درخصوص شرایط عملیاتی و طراحی یک واحد نمونه، براساس اصول علمی موجود شامل قوانین انتقال مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که مدل ارائه شده قابلیت به کارگیری برای بهینه‌سازی شرایط فرایندی و طراحی کوره‌های دوار را دارا است و در صورت وجود داده‌های عملیاتی کافی می‌توان به راحتی و با اطمینان از نتایج آن در طراحی‌های بعدی استفاده نمود.

هنگامیکه دور کوره پایین است تصمیم‌گیری در مورد هر چه زودتر بالا بردن دور از جمله ضرورتهاست. در مرحله ی اول بایستی حصول اطمینان از گرم شدن منطقه پخت بشود و یا اینکه نشانه‌هایی از اینکه در چند دقیقه دیگر (از روشن‌تر بودن رنگ مواد) منطقه پخت گرم خواهد شد، پدیدار گردد. در غیر این صورت هرگز نبایستی اقدام به افزایش دور کرد. پس از مطمئن شدن از اینکه منطقه پخت به حد کلینکر کردن رسیده است بایستی بلافاصله دور افزوده شود. هر چقدر مقدار افزایش دور بیشتر باشد بایستی فاصله زمانی اقدام به افزایش دور بعدی نیز بیشتر انتخاب شود. نحوه افزایش دور احتمالاً مهمترین عامل رسیدن به حالت پایدار و تثبیت شده مجدد کوره می‌باشد.

همچنین نتیجه می گیریم که با افزایش تعداد پیش گرمکن ها انرژی کمتری در کلساینر مصرف می شود اگر چه قیمت سرمایه اولیه افزایش می یابد اما بهبود روند کوره های دوار را در پیش دارد. مصرف کلسیناسیون خوراک خام بر مصرف انرژی خالص مورد مطالعه قرار گرفته، میزان مصرف انرژی با توجه به درصد کلسیناسیون یک مقدار بهینه دارد و همچنین میزان مصرف انرژی در کوره هایی با شیب کم کمتر می باشد.

## منابع و مراجع

- [۱]. بوکائیان، منوچهر. "کوره های دوار سیمان، مواد نسوز و مصالح ساختمانی". ۱۳۷۶
- [۲]. طوبی، حسن. "مبانی طراحی کوره های صنعتی". ۱۳۸۸
- [۳]. خانزادی، مصطفی. شفیع، حسینقلی. "کوره های دوار". ۱۳۸۹
- [۴]. سلطانی، مجید. رحیمی اصل، روح اله. "دینامیک سیالات محاسباتی به کمک نرم افزار فلوئنت". ۱۳۸۹
- [۵]. مجموعه استانداردهای بین المللی در زمینه ی سیمان، استانداردهای ASTM
- [۶]. شکوهمند، حسین. رضایی، علی. نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران، جلد ۳۶. "مطالعه انتقال حرارت در تبادل گر های حرارتی دوار با در نظر گرفتن تغییرات ضرایب انتقال حرارت و خواص فیزیکی سیالات". ۱۳۸۱
- [۷]. لقمانی، علی. سپهر، مهرشاد. شیروانی، منصور. صدیقی، سپهر. "شبیه سازی کوره ی دوار سیمان در حالت پایا". ۱۳۸۴
- [۸]. ماجدی، زهره. سالم، امین. شفقتیان، سیامک. "تخمین دمای کوره های دوار سیمان با استفاده از شبکه های عصبی". ۱۳۸۷
- [۹]. بهفر، رضوان. بهفر، رضا. حسین زاده، محمد رضا. "اثرات تغییر دور کوره ی دوار سیمان با استفاده از CFD". ۱۳۹۱
- [۱۰]. بهفر، رضوان. بهفر، رضا. حسین زاده، محمد رضا. "تحلیل پدیده های انتقال در کوره های دوار". ۱۳۹۲
- [۱۱]. پرورتبار، ژیل. امیری، رضا. رسولی، حسین. "کنترل و عملکرد پدیده های انتقال در کوره های دوار". ۱۳۹۳

- [١٢] H. A. Spang, "A Dynamic Model of a Cement Kiln", Automatica. 1972.
- [١٣] W. H. Duda, "Cement Data Book". 1976.
- [١٤] J.P.Gorg, T.N.Adams, J.K.Brimacombe, "Heat Transfer from Flames in a Rotary Kiln", Metallurgical Transactions. 1983.
- [١٥] L. M. Jiji, "Heat Convection". 1995.
- [١٦] Mastorakos, E, "CFD predictions for cement kiln including flame modeling, heat transfer and clinker chemistry". Applied Mathematical Modelling. 1999.
- [١٧] PCA, "Inovations in Portland Cement Manufacturing". 2004.
- [١٨] S. P. Deolalkar, "Handbook for designing cement plants". 2007.
- [١٩] Cement Review Ph. A . Alson "The Cement Plant Operations Handbook". 2007.
- [٢٠] K. S. Mujumdar, K.V. Ganesh, S. B. Kulkarni, V. V. Ranade, "Rotary cement kiln kiln simulator(RoCKS)": Integrated modeling of pre-heater, calciner, kiln and clinker cooler. 2007.