

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

به نام خدا

تنظیم بهینه کوره پخت مواد در صنعت سیمان

مؤلفان :

مهندس سید محسن موسویان

مهندس سعید محمودی

مهندس سید علیرضا حسین زاده

انتشارات ارسطو

(سازمان چاپ و نشر ایران - ۱۴۰۵)

نسخه الکترونیکی این اثر در سایت سازمان چاپ و نشر ایران و اپلیکیشن کتاب رسان موجود می باشد

Chaponashr.ir



سرشناسه : موسویان ، سید محسن ، ۱۳۴۶
عنوان و نام پدیدآورگان : تنظیم بهینه کوره پخت مواد در صنعت سیمان/ مولفان: سید محسن
موسویان ، سعید محمودی، سید علیرضا حسین زاده
مشخصات نشر : انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)، ۱۴۰۵.
مشخصات ظاهری : ۱۲۰ ص.
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۱۲۹-۵۲۷-۲
شناسه افزوده : محمودی ، سعید ، ۱۳۵۲
شناسه افزوده : حسین زاده ، سید علیرضا ، ۱۳۵۲
وضعیت فهرست نویسی : فیبا
یادداشت : کتابنامه.
موضوع : تنظیم بهینه کوره پخت مواد - صنعت سیمان
رده بندی کنگره : TP ۹۸۳
رده بندی دیویی : ۶۶۸/۵۵
شماره کتابشناسی ملی : ۸۵۶۳۲۴۱۸
اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیبا

نام کتاب : تنظیم بهینه کوره پخت مواد در صنعت سیمان
مولفان : مهندس سید محسن موسویان - مهندس سعید محمودی - مهندس سید علیرضا حسین زاده
ناشر : انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)
صفحه آرای، تنظیم و طرح جلد: الهام غفاری
تیراژ : ۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ : اول - ۱۴۰۵
چاپ : زبرجد
قیمت : ۲۰۰۰۰۰ تومان
فروش نسخه الکترونیکی - کتاب رسان :
<https://chaponashr.ir/ketabresan>
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۱۲۹-۵۲۷-۲
تلفن مرکز یخش : ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵
www.chaponashr.ir



فهرست

سخن دبیر	۹
پیشگفتار مؤلفان	۱۱
معرفی اجمالی فصل‌های کتاب	۱۳
مقدمه	۱۵
فصل اول: کوره پخت به عنوان راکتور شیمیایی	۱۷
ویژگی‌های کوره دوار به عنوان راکتور پخت	۱۸
مشخصات کلی راکتور پخت	۱۹
فصل دوم: شرایط مرزی و پارامترهای طراحی راکتور کوره پخت	۲۱
اهمیت شرایط اولیه و شرایط مرزی در راهبری کوره	۲۲
شیب کوره و نقش آن در حرکت مواد	۲۳
درصد پرشدگی کوره	۲۴
ارتباط میان شیب کوره و درصد پرشدگی	۲۷
زمان ماند مواد در کوره	۲۷
تأثیر زمان ماند بر واکنش‌های تشکیل فازهای کلینکر	۲۸
رابطه زمان ماند و ایجاد داست	۳۰
تأثیر زمان ماند بر دانه‌بندی کلینکر	۳۰
بار حرارتی کوره و عوامل موثر بر آن	۳۱
تعریف بار حرارتی کوره	۳۲

فصل سوم: سوخت ، احتراق ، شعله و مشعل	۳۳
تعریف سوخت و نقش آن در سیستم پخت	۳۴
انواع سوخت های مورد استفاده در صنعت سیمان	۳۴
نقش سوخت در کیفیت کلینکر	۳۵
احتراق و ضرورت اختلاط سوخت و اکسیژن	۳۵
چگونگی بهینه سازی فیزیک احتراق	۳۷
نقش اکسیژن در فرآیند احتراق	۳۷
شرایط لازم برای احتراق کامل	۳۸
ارزش حرارتی سوخت	۳۹
ارزش حرارتی خالص	۴۰
مقدار اکسیژن مورد نیاز برای احتراق	۴۰
واکنش های احتراق و شرایط استوکیومتری	۴۱
شرایط استوکیومتری واکنش	۴۲
نسبت هوا به سوخت و نسبت هم آری	۴۳
نقش مشعل در فیزیک احتراق	۴۵
اثر مشعل مناسب بر دما و اتمسفر کوره	۴۵
فناوری مشعل و اهمیت ۴۰ سانتی متر ابتدایی	۴۷
مشعل، دمای شعله و NOx	۴۷
مشعل؛ یک موضوع تخصصی مستقل	۴۸

۴۹	 موقعیت مشعل نسبت به محور کوره
۴۹	 کوتاه شدن طول شعله در مشعل های جدید
۵۰	 طبقه بندی انواع مشعل ها از نظر اختلاط
۵۰	 مشعل های درون اختلاط و برون اختلاط
۵۱	 انواع مشعل های برون اختلاط
۵۲	 مشعل توربولانسی لوله در لوله
۵۳	 نقش پره ها و BAFEL اجزای سر مشعل
۵۴	 هوای مورد نیاز احتراق
۵۵	 هوای اولیه، فشار و سرعت جریان در مشعل
۵۶	 عوامل مؤثر بر طول شعله
۵۷	 اثر نوع سوخت بر شکل شعله
۵۹	 فصل چهارم : پدیده های انتقال شامل و مومنتوم ، حرارت و جرم
۶۰	 مقدمه ای بر پدیده های هم زمان در کوره پخت
۶۰	 انتقال حرارت در کوره
۶۲	 انتقال حرارت هدایتی
۶۴	 انتقال حرارت جابجایی
۶۵	 انتقال حرارت تشعشعی
۶۵	 غالب بودن تشعشع در منطقه پخت
۶۶	 شعاع بحرانی و محدودیت ضخامت

اهمیت شکل مکانیزم انتقال	۶۷
انتقال جرم در کوره دوار	۶۹
مکانیزم اصلی در فرآیند کوره	۷۰
نقش انتقال جرم در ساخت کلینکر	۷۰
اختلاف غلظت و مکانیزم‌های انتقال جرم	۷۱
انتقال مومنتوم و نقش آن در رفتار جریان	۷۱
تعریف مومنتوم	۷۱
وابستگی انتقال حرارت و انتقال جرم	۷۳
ارتباط انتقال حرارت، جرم و مومنتوم در کوره دوار	۷۴
فصل پنجم: نقش و مسیر خنک‌کنندگی در فرآیند پخت کلینکر	۷۵
اهمیت خنک‌سازی کلینکر	۷۶
نقش سرعت خنک‌سازی در کیفیت کلینکر	۷۶
معرفی گریت‌کولر و اجزای اصلی آن	۷۷
بهینه‌سازی مصرف هوا در گریت	۷۷
ارزیابی راندمان گریت‌کولر	۷۹
محدوده عملی دمای هوای ثانویه	۷۹
عوامل مؤثر بر فشار زیر صفحات خنک‌کن	۸۰
ارتفاع بستر کلینکر	۸۱
ویژگی‌های گریت‌کولرهای جدید	۸۱

ارتباط دمای کلینکر با فشار زیر گریت	۸۲
عوامل مؤثر بر دمای هوای ثانویه	۸۲
علل کاهش دمای هوای ثانویه	۸۳
هوای ثالثیه و نقش آن در عملکرد سیستم پخت	۸۴
دمپر داکت هوای ثالثیه به عنوان ابزار کنترلی	۸۵
ارتفاع بستر کلینکر به عنوان یک شاخص عملیاتی	۸۶
بالانس سرعت گریت با بار ورودی	۸۷
محاسبه مقدار هوای مورد نیاز خنک کننده	۸۷
جمع بندی و شاخص های راهبری بحث کولر	۸۸
رابطه دما و انرژی در گریت کولر	۸۹
متغیرهای اصلی کنترلی کوره	۹۱
فصل ششم: راهبری، کنترل و بهینه سازی کوره پخت توسط اپراتور	۹۱
سه شاخص اصلی انتهای کوره	۹۴
اولویت بندی متغیرها: دما، اکسیژن و مکش	۹۵
مقایسه دما و فشار (مکش)	۹۵
اهمیت متغیرهای انتهای کوره	۹۸
نشانه های بالا بودن حرارت انتهای کوره	۹۸
متغیرهای کنترلی	۹۹
تنظیم اتمسفر کوره	۱۰۰

۱۰۰.....	اتمسفر کوره چیست؟
۱۰۲.....	اکسیژن و محیط اکسیدان کوره — سه حالت خطر
۱۰۴.....	دمای مناسب منطقه پخت برای جلوگیری از شرایط احیا
۱۰۴.....	تشکیل FeO و Fe در شرایط کمبود اکسیژن
۱۰۶.....	تشکیل FeS و لایه خاکستری در انتهای کوره
۱۰۷.....	نقش آهن موجود در مواد و نسوز
۱۰۷.....	تبخیر گوگرد و رفتار آن در شرایط احیا
۱۰۷.....	اثر احیا بر فازهای کلینکر و C4AF
۱۰۸.....	چرا شرایط احیا باعث سرد شدن کوره می شود؟
۱۰۹.....	توصیه های کلی درباره اکسیژن
۱۰۹.....	تشکیل سیکل قلیایی
۱۱۰.....	نقش اپراتور در پایداری کوره
۱۱۰.....	آهک آزاد و عدد ۱ / ۱.۵
۱۱۱.....	نوسانات آنالیز مواد و حدود قابل قبول عملیاتی
۱۱۳.....	حالت هدف چیست؟
۱۱۳.....	بحث چالش: با سه ابزار چه کار کنیم؟
۱۱۴.....	جمع بندی نظرات از دید موافق و مخالف
۱۱۴.....	نتیجه بحث
۱۱۷.....	منابع و مآخذ پیشنهادی

سخن دبیر



کتاب ارزشمند «تنظیم بهینه کوره پخت مواد در صنعت سیمان» گامی مؤثر در جهت توسعه دانش فنی و ارتقای بهره‌وری در صنعت سیمان کشور است. کوره پخت، قلب کارخانه سیمان به شمار می‌آید و تنظیم صحیح آن نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت کلینکر، مصرف انرژی، پایداری تولید و کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی دارد. این اثر با نگاهی کاربردی و مهندسی، موضوعاتی همچون شرایط عملیاتی راکتور پخت، احتراق، مشعل، انتقال

حرارت و جرم، واکنش‌های تشکیل کلینکر و عملکرد خنک‌کننده را بررسی می‌کند. از این رو، مطالعه آن می‌تواند برای مدیران، کارشناسان، مهندسان، اپراتورها و دانشجویان حوزه صنعت سیمان سودمند باشد.

بر خود لازم می‌دانم از تلاش‌های ارزشمند مؤلفان محترم، جناب آقای مهندس سید محسن موسویان، جناب آقای مهندس سعید محمودی و جناب آقای مهندس سید علیرضا حسین‌زاده، صمیمانه قدردانی و تشکر کنم.

تدوین چنین اثری حاصل دانش، تجربه میدانی و دغدغه‌مندی نسبت به پیشرفت صنعت سیمان کشور است. انجمن صنفی کارفرمایان صنعت سیمان، ضمن حمایت از انتشار این کتاب، از تمامی صاحب‌نظران، متخصصان و فعالان صنعت دعوت می‌کند تجربیات، دیدگاه‌ها و دستاوردهای خود را در زمینه فرآیند پخت و بهره‌برداری از کوره‌ها به رشته تحریر درآورند.

این آثار پس از بررسی و طی مراحل لازم، توسط انجمن و تحت حمایت انجمن صنفی کارفرمایان صنعت سیمان، به نام مؤلفان محترم چاپ، نشر و توزیع خواهد شد. بی‌تردید، ثبت و انتشار دانش تجربی متخصصان، نقش مهمی در انتقال تجربه، تربیت نیروی انسانی و حل مسائل فنی کارخانه‌های سیمان خواهد داشت. امید است این کتاب سرآغاز مجموعه‌ای ماندگار از آثار علمی و کاربردی در صنعت سیمان کشور باشد. برای مؤلفان گرامی توفیق روزافزون و برای خوانندگان محترم بهره‌مندی هرچه بیشتر از مطالب کتاب را آرزو مندم.

علی‌اکبر الوندیان

دبیر انجمن صنفی کارفرمایان صنعت سیمان

پیشگفتار مؤلفان



سید علیرضا حسین زاده

سعید محمودی

سید محسن موسویان

صنعت سیمان از مهم‌ترین صنایع زیربنایی کشور است و پایداری، کیفیت و اقتصادی بودن تولید در آن، تا حد زیادی به عملکرد صحیح و بهینه کوره پخت وابسته است. کوره پخت تنها یک تجهیز حرارتی نیست؛ بلکه یک راکتور شیمیایی پیچیده و پیوسته است که در آن، پدیده‌های احتراق، انتقال حرارت و جرم و واکنش‌های شیمیایی به صورت هم‌زمان رخ می‌دهند. کتاب «تنظیم بهینه کوره پخت مواد در صنعت سیمان» با هدف ارائه دیدگاهی کاربردی، مهندسی و مبتنی بر تجربه‌های عملی تدوین شده است تا شناخت دقیق‌تری از رفتار کوره و عوامل مؤثر بر عملکرد آن در اختیار متخصصان، کارشناسان، اپراتورها، مدیران و دانشجویان صنعت سیمان قرار دهد.

در این کتاب، ابتدا کوره پخت از منظر مهندسی شیمی بررسی شده و ویژگی‌های آن به عنوان یک راکتور جریان پیوسته و شبیه به راکتور جریان پلاگ مورد توجه قرار گرفته است. سپس، شرایط اولیه و مرزی کوره، از جمله شیب کوره، طول و قطر، سرعت دوران، درصد پرشدگی، مکش انتهای کوره و تنظیم مشعل بررسی می‌شود؛ زیرا بدون شناخت این عوامل، ارزیابی عملکرد کوره نمی‌تواند دقیق و قابل اتکا باشد.

یکی از مباحث مهم کتاب، بررسی زمان ماند مواد و عوامل مؤثر بر آن است. زمان ماند تابعی از شیب، سرعت دوران، ابعاد کوره، درصد پرشدگی و ویژگی‌های مواد است و بر پیشرفت واکنش‌ها، تشکیل فازهای کلینکر و کیفیت محصول نهایی تأثیر مستقیم دارد. همچنین، موضوع بار حرارتی کوره و نقش آن در تأمین گرمای لازم برای واکنش‌ها، ایجاد دمای مناسب منطقه پخت و تشکیل مقدار مطلوب فاز مذاب، از نکات اساسی این اثر است.

بخش مهم دیگری از کتاب به سوخت، احتراق، شعله و مشعل اختصاص دارد. در این بخش، ضمن تشریح اصول فیزیکی و شیمیایی احتراق، بر این نکته تأکید می‌شود که **مشعل، مهم‌ترین عامل در فیزیک احتراق و شکل‌گیری شعله است**. همچنین، اهمیت اختلاط مناسب سوخت و اکسیژن، کنترل نسبت هم‌ارزی، مدیریت هوای اضافی و جلوگیری از ورود نیتروژن غیرضروری به فرآیند، به‌صورت کاربردی مورد توجه قرار گرفته است.

از نکات ارزشمند کتاب آن است که در بهره‌برداری از کوره، **مثالهای کاربردی** در خصوص کنترل‌های اکسیژن عقب کوره ارائه شده است.

در تدوین این اثر تلاش کرده‌ایم دانش نظری، تجربه‌های عملی و نکات قابل استفاده در راهبری کوره را در کنار یکدیگر ارائه کنیم. امید است مطالب این کتاب بتواند در **بهبود کیفیت کلینکر، کاهش مصرف سوخت و انرژی، افزایش پلیداری تولید و ارتقای بهره‌وری کارخانه‌های سیمان** مؤثر واقع شود.

از همه خوانندگان گرامی، به‌ویژه مدیران، مهندسان، کارشناسان و اپراتورهای محترم دعوت می‌کنیم پس از مطالعه کتاب، دیدگاه‌ها، نقدها، پیشنهادات و تجربه‌های ارزشمند خود را با مؤلفان در میان بگذارند. بی‌تردید، انعکاس تجربه‌های میدانی و نظرات تخصصی خوانندگان، زمینه تکمیل و ارتقای چاپ این اثر را فراهم خواهد کرد.

مؤلفان

سید محسن موسویان - سعید محمودی - سید علیرضا حسین زاده

معرفی اجمالی فصل‌های کتاب

این کتاب در شش فصل تدوین شده است و با هدف ارائه تصویری منسجم و کاربردی از مبانی مهندسی، متغیرهای فرایندی و اصول راهبری و تنظیم بهینه کوره پخت در صنعت سیمان به رشته تحریر درآمده است:

فصل اول: کوره پخت به عنوان راکتور شیمیایی

در این فصل، ماهیت فرایندی کوره دوار سیمان، انواع راکتورهای شیمیایی (CSTR و PFR)، ویژگی‌های خاص هیدرودینامیکی کوره و مشخصات کلی واکنش‌ها و فعل‌وانفعالات حرارتی و شیمیایی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

فصل دوم: شرایط مرزی و پارامترهای طراحی راکتور کوره پخت

این فصل به بررسی پارامترهای پایه‌ای و هندسی کوره از جمله شیب، درصد پرشدگی و بار حرارتی می‌پردازد. همچنین مباحث زمان ملند مواد در کوره و آثار مستقیم آن بر تشکیل فازهای کلینکر، دانه‌بندی محصول و پدیده تولید گردوغبار (داست) تحلیل می‌شود.

فصل سوم: سوخت، احتراق، شعله و مشعل

در این فصل، مبانی و استوکیومتری احتراق، انواع سوخت و ارزش حرارتی، نسبت هوا به سوخت و نقش اکسیژن تشریح می‌گردد. سپس به تکنولوژی مشعل، فیزیک و شکل‌گیری شعله، موقعیت مشعل نسبت به محور کوره و تأثیر تنظیم صحیح آن بر اتمسفر کوره و کیفیت کلینکر پرداخته می‌شود.

فصل چهارم: پدیده‌های انتقال شامل مومنتم، حرارت و جرم

این فصل به تحلیل هم‌زمان پدیده‌های انتقال شامل انتقال حرارت (هدایتی، جابجایی و تشعشعی)، انتقال جرم و انتقال مومنتوم اختصاص دارد و ارتباط این پدیده‌ها با رفتار ترمودینامیکی و سینتیکی مواد در طول کوره تبیین می‌شود.

فصل پنجم: نقش و مسیر خنک‌کننده گی در فرایند پخت کلینکر

در این فصل، اهمیت و سرعت خنک‌سازی و تأثیر آن بر خواص کلینکر، عملکرد و راندمان گریت‌کولر، متغیرهای کلیدی نظیر ارتفاع بستر و فشار زیر صفحات، بازیابی انرژی، و کیفیت هوای ثانویه و ثالثیه به‌صورت جامع و عملیاتی بررسی می‌شود.

فصل ششم: راهبری، کنترل و بهینه‌سازی کوره پخت توسط اپراتور