



به نام خدا

هنر بهره برداری در تولید سیمان

گردآوری و نگارش:

حسن غضنفریان پور

«نخست از جهان آفرین یاد باد خداوند خوبی و پکی و داد»

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



chaponashr.ir



ren-journals.com



سرشناسه: غضنفریان پور، حسن، ۱۳۴۳
عنوان و نام پدیدآورنده: هنر بهره برداری در تولید سیمان/ مولف: حسن غضنفریان پور
مشخصات نشر: انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)، ۱۴۰۵.
مشخصات ظاهری: ۴۵۶ ص.
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۱۲۹-۵۲۸-۹
وضعیت فهرست نویسی: فیفا
یادداشت: کتابنامه.
موضوع: هنر بهره برداری - تولید سیمان
رده بندی کنگره: TP ۹۸۳
رده بندی دیویی: ۶۶۸/۵۵
شماره کتابشناسی ملی: ۸۵۶۳۲۱۴
اطلاعات رکورد کتابشناسی: فیفا

نام کتاب: هنر بهره برداری در تولید سیمان
مولف: حسن غضنفریان پور
ناشر: انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)
صفحه آرای، تنظیم و طرح جلد: الهام غفاری
تیراژ: ۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ: اول - ۱۴۰۵
چاپ: زیر جلد
قیمت: ۷۷۰۰۰۰ تومان
فروش نسخه الکترونیکی - کتاب رسان:
<https://chaponashr.ir/ketabresan>
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۱۲۹-۵۲۸-۹
تلفن مرکز پخش: ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵
www.chaponashr.ir



فهرست

سخن دبیر	۱۳
پیشگفتار	۱۵
معرفی اجمالی کتاب «هنر بهره‌برداری در تولید سیمان»	۱۸
سرفصل‌ها و محتوای تفصیلی فصول کتاب:	۱۸
فصل صفر: بینش پیش از دانش	۲۱
دروازه‌های بزرگ کلیدهای کوچک دارند	۲۱
راه‌های رویارویی با مسئله:	۲۵
نکته با اهمیت:	۲۹
فصل اول: مواد اولیه	۳۳
تعریف:	۳۴
● تامین مواد اولیه	۳۴
● آهک آزاد (Fcao)	۳۸
● مدول‌ها (Modules)	۳۹
● ترکیبات فرعی	۴۲
● مواد سازی (تنظیم مواد)	۴۳
● پخت کلینکر	۴۴
○ تغییرات خوراک کوره در اثر حرارت:	۴۴
● فاز مذاب	۴۵
● گرانروی (ویسکوزیته) فاز مذاب:	۴۷

- طبقه بندی واکنش ها..... ۴۷
- قابلیت پخت (Barnability)..... ۴۹
- تفاوت کریستال (Crystalline) و آمورف (Amorphous) :..... ۵۰
- ترموشیمی تشکیل کلینکر..... ۵۴
- عوامل موثر در ساختار میکروسکپی کلینکر..... ۵۵
- تغییر قابلیت پخت با توجه به مدول ها..... ۵۸
- تعیین درصد کلسیناسیون..... ۵۹
- فصل دوم: آماده سازی مواد ۶۱
- خردایش..... ۶۲
- سنگ شکن چکشی..... ۶۵
- ایستگاه نمونه گیری (Sampling Station)..... ۶۹
- عوامل موثر در تعیین مقدار نمونه..... ۷۱
- ملاحظات ایستگاه نمونه گیری :..... ۷۳
- خطا های نمونه گیری..... ۷۴
- همگن سازی مقدماتی (Preblending)..... ۷۶
- سالن همگن ساز طولی..... ۷۶
- راهکار کاهش اثر نوسان ابتدای پایل :..... ۷۹
- تعیین نقاط برگشت استاکر..... ۸۰
- سالن همگن سازی دایره ای..... ۸۲
- سیلوهای هموژن..... ۸۳
- انواع سیلوهای هموژن..... ۸۴
- تنظیم درست هوا دهی سیلوی هموژن پیوسته..... ۹۰

- مدیریت غبار برگشتی پیشگرمکن..... ۹۰
- طراحی بونکرها..... ۹۳
- مشکلات بهره برداری بونکرها :..... ۹۴
- مشکلات فرایندی بونکرها های funnle-flow :..... ۹۶
- فصل سوم: آسیاب ها** ۱۰۱
- عوامل موثر در انتخاب نوع آسیاب :..... ۱۰۲
- آسیاب های گلوله ای (Tube mills/Ball mills)..... ۱۰۲
- انواع آسیاب های گلوله ای..... ۱۰۵
- انواع چیدمان های خوراک ورودی به آسیاب..... ۱۰۶
- اجزای داخلی آسیاب..... ۱۰۹
- جنس و عمر زره های بدنه..... ۱۱۲
- شکاف دیافراگم ها..... ۱۱۶
- شاخص های طراحی آسیاب های گلوله ای..... ۱۲۰
- بهره برداری از آسیاب های گلوله ای..... ۱۳۰
- کنترل آسیاب..... ۱۳۱
- نمونه برداری از داخل آسیاب :..... ۱۳۲
- کمک سایش ها Grinding Aids(GA)..... ۱۳۹
- محاسبات شارژ گلوله ها در آسیاب..... ۱۴۰
- شارژ تکمیلی..... ۱۴۵
- روش های تعیین زمان شارژ تکمیلی :..... ۱۴۵

- مدیریت شارژ گلوله‌ها..... ۱۴۶
- آسیاب‌های غلتکی (Roller Mills)..... ۱۴۷
- گردش مواد ::..... ۱۵۲
- پاشش آب..... ۱۵۴
- شاخص‌های طراحی ::..... ۱۵۵
- بهره‌برداری از آسیاب‌های غلتکی..... ۱۵۸
- ظرفیت آسیاب به موارد زیر بستگی دارد ::..... ۱۵۹
- نظارت و پایش آسیاب‌ها ::..... ۱۶۱
- ذخیره‌سازی سیمان..... ۱۶۲
- فصل چهارم: سپراتورها ۱۶۵**
- بهره‌برداری از سپراتورها ::..... ۱۷۷
- راندمان سپراتور (Separator Efficiency) ::..... ۱۸۲
- منحنی توزیع (Classification(Tromp) Curve) ::..... ۱۸۳
- دقت جدایش (Sharpness of Separation) ::..... ۱۸۴
- نکات نمونه‌برداری و ارزیابی ::..... ۱۸۶
- شاخص‌های منحنی توزیع دانه بندی..... ۱۹۱
- فصل پنجم: سوخت و احتراق ۱۹۵**
- سوخت و احتراق..... ۱۹۶
- سوخت مایع ::..... ۱۹۸
- آماده‌سازی مازوت..... ۱۹۹
- سوخت گاز طبیعی ::..... ۲۰۳
- محاسبات احتراق ::..... ۲۰۵

- مول و گاز ایده آل : ۲۰۶
- ارزش حرارتی (CV) : ۲۰۸
- حجم گاز های احتراق : ۲۱۱
- ضریب هوای اضافه (n) : ۲۱۷
- هوای نشتی (False Air) : ۲۱۸
- گاز حاصل از مواد خام : ۲۲۰
- دمای نقطه شبنم (Dew Point Temperature) : ۲۲۰
- چگالی گاز احتراق : ۲۲۳
- شعله و مشعل : ۲۲۷
- آیرودینامیک هوای دوم : ۲۳۲
- انتقال حرارت : ۲۳۸
- تنظیم شعله : ۲۴۰
- شاخص های احتراق و پخت : ۲۴۰
- تاثیر شعله با احتراق ضعیف بر کوره و روند پخت : ۲۴۴
- احتراق در مشعل های کلساینر : ۲۴۴
- آنالیزور گاز : ۲۴۵
- شرایط فرایند در رایزر داکت : ۲۴۸
- فصل ششم : سیستم پخت ۲۵۱**
- سیستم پخت : ۲۵۲
- پیشگرمکن سیکلونی : ۲۵۳

- ارزیابی پیشگرمکن :..... ۲۵۹
- ضعف عملکرد پیشگرمکن ها می تواند ناشی از :..... ۲۶۰
- چرخه عناصر فرار (Circulation Phenomena)..... ۲۶۰
- کلساینر..... ۲۶۱
- مزایای استفاده از کلساینر..... ۲۶۳
- دیدگاه تئوری کلساینر..... ۲۶۳
- کوره دوار..... ۲۶۶
- جنبه های مکانیکی کوره ها..... ۲۶۸
- اوالیته :..... ۲۶۹
- خنک کننده کلینکر (Clinker Coolers)..... ۲۷۱
- مشکلات معمول گریت کولر ها..... ۲۷۴
- کلینکر شکن :..... ۲۷۷
- کنترل گریت کولر..... ۲۷۸
- کوتینگ - ویژگی ها و رفتار..... ۲۸۱
- تشکیل کوتینگ :..... ۲۸۲
- رینگ ، گرفتگی و گلوله ها..... ۲۸۴
- عوامل تشکیل و ایجاد گرفتگی :..... ۲۸۵
- کوتینگ پره های فن..... ۲۸۵
- گرفتگی های پیشگرمکن :..... ۲۸۵
- رینگ های میانی یا منطقه گذار (Middle Rings) :..... ۲۸۷
- رینگ های منطقه پخت (Sinter Rings)..... ۲۸۸
- رینگ های کلینکری و آدم برفی (Clinker Rings – Snowman)..... ۲۸۸

- روش های حذف..... ۲۸۸
- گلوله های داخل کوره (Ball Rings – Snow ball)..... ۲۸۹
- روش های جلوگیری از تشکیل گلوله ها..... ۲۹۰
- اساس و پایه کوره بانی..... ۲۹۱
- پارامترهای کنترلی :..... ۲۹۲
- ابزارهای کنترل :..... ۲۹۶
- فصل هفتم: ترکیبات فرار ۲۹۹**
- چرخه های مواد فرار (Circulation Phenomena)..... ۳۰۰
- مکانیسم پدیده سیکل..... ۳۰۰
- راه های ورود ترکیبات فرار به سیستم پخت..... ۳۰۲
- پرمایه (غنی) شدن ترکیبات فرار..... ۳۰۳
- روش های خروج ترکیبات فرار از سیستم پخت..... ۳۰۳
- فراریت ترکیبات چرخشی..... ۳۰۴
- فراریت سولفات..... ۳۱۰
- چگالش ترکیبات چرخشی..... ۳۱۳
- مشکلات بهره برداری ناشی از ترکیبات فرار..... ۳۱۵
- شناسایی مشکلات گرفتگی و کوتینگ های مزاحم..... ۳۱۶
- شاخص های ارزیابی مشکل..... ۳۱۷
- راهکارهای رفع یا کاهش گرفتگی..... ۳۱۸
- راهکار در برابر مشکلات کلر..... ۳۲۰

● راهکار در برابر مشکلات سولفات.....	۳۲۰
● راهکار در برابر مشکلات آلکالی‌ها.....	۳۲۳
فصل هشتم: نسوز و نسوز چی	۳۲۵
● نسوز و نسوز چینی.....	۳۲۶
○ تقسیم بندی از دیدگاه نوع پیوند (Bond) :.....	۳۲۸
○ دیرگذاها :.....	۳۳۰
○ آزمون های دیرگذاها.....	۳۳۳
انبساط حرارتی (Thermal Expansion) :.....	۳۳۴
هدایت حرارتی (Thermal Conductivity) :.....	۳۳۴
● منطقه بندی سیستم پخت.....	۳۳۵
● فرسایش آجرهای نسوز در کوره.....	۳۳۷
○ آسیب های مکانیکی :.....	۳۳۸
○ آسیب های شیمیایی :.....	۳۳۸
○ آسیب های حرارتی :.....	۳۳۸
● واکنش‌های مخرب در نسوزها.....	۳۳۹
○ روش های آجر چینی.....	۳۴۱
● نسبت‌های آجرچینی در کوره.....	۳۴۱
● نکات مهم در چینش آجرهای نسوز :.....	۳۴۸
● گرم کردن کوره پس از آجر چینی.....	۳۵۳
● مشکلات سریع گرم کردن کوره.....	۳۵۴
● مهمترین عوامل در بهبود عملکرد و طول عمر نسوز.....	۳۵۵
فصل نهم: موازنه جرم و انرژی	۳۵۹

- موازنه حرارتی در کوره و کولرها..... ۳۶۰
- مراحل بالانس گرمایی :..... ۳۶۱
- نماد ها و واحد ها :..... ۳۶۲
- تبدیل واحد ها..... ۳۶۳
- فرایند تولید گرما = ورودی..... ۳۶۴
- انتقال حرارت به شیوه همرفت..... ۳۷۳
- جریان گرمایی کل (total Heat Flow) :..... ۳۷۵
- موازنه گرما (Heat Balance) :..... ۳۷۷
- موازنه انرژی در آسیاب‌های گلوله ای سیمان..... ۳۸۶
- موازنه جرم در سیستم پخت..... ۳۹۳
- محاسبه کلینکر تولیدی :..... ۳۹۴
- فصل دهم: فن‌های اصلی و غبار گیری ۳۹۷
- فن‌های اصلی..... ۳۹۸
- انواع فن‌ها..... ۳۹۸
- منحنی عملکرد فن..... ۴۰۵
- غبارگیری و فیلتراسیون (Dedusting)..... ۴۱۳
- مقایسه فیلتر کیسه ای و فیلتر الکترواستاتیک :..... ۴۱۳
- فیلترهای کیسه ای (Bag Filter)..... ۴۱۵
- معیارهای انتخاب فیلتر..... ۴۱۶
- ویژگی‌های پارچه کیسه ها..... ۴۱۶

- سیستم های تمیز کردن..... ۴۱۹
- مکانیزم تمیز کاری با جت پالس..... ۴۲۰
- مقایسه فیلترهای جت پالس و جریان معکوس..... ۴۲۵
- فیلترهای الکترواستاتیک (Electrostatic Precipitator)..... ۴۲۷
- تعیین راندمان الکترو فیلتر..... ۴۲۸
- مقاومت الکتریکی ذرات..... ۴۲۸
- درجه حرارت گاز..... ۴۳۱
- مبانی طراحی الکتروفیلتر..... ۴۳۳
- آمار و تحلیل داده های فرایند ۴۳۷
- آمار (Statistics)..... ۴۳۸
- شاخص های پراکندگی..... ۴۴۳
- محاسبه انرژی ویژه فسیلی (kcal/kg) :..... ۴۵۰
- انرژی ویژه الکتریکی (kwh/ton) :..... ۴۵۱
- شاخص های عملکرد :..... ۴۵۲
- منابع : ۴۵۴

سخن دیر



صنعت سیمان به عنوان یکی از ارکان بنیادی توسعه و زیرساخت کشور، در مسیر رشد و بالندگی خود همواره نیازمند تلفیق متوازن «دانش فنی» و «تجربه عملی» بوده است. خطوط تولید سیمان—از آماده سازی مواد اولیه تا پیچیدگی های عملکردی کوره دوار و موازنه های جرم و انرژی—زنجیره ای به هم پیوسته و هوشمند را تشکیل می دهند که هدایت پایدار و بهینه آن، نیازمند بینش عمیق مهندسی، تسلط بر فرآیند و نگرش جامع نگر به خط تولید است.

مجموعه ارزشمند «هنر بهره برداری در تولید سیمان» که به همت مولف و همکار ارجمند، جناب آقای حسن غضنفریان پور گردآوری و تدوین شده است، گامی بلند و ماندگار در راستای پیوند تئوری های مهندسی با متدولوژی های عملی بهره برداری به شمار می رود. نویسنده

محترم با نگاهی مسئله محور و سیستمی، تجربیات پر بار چندین دهه حضور در صحنه خط تولید را در قالب ۱۰ فصل کاربردی ز مبانی حل مسئله و شیمی سیمان تا فرآیند پخت، کنترل ترکیبات فرار و موازنه های حرارتی—به رشته تحریر درآورده اند. ارزش ویژه این اثر در آن است که فرآیند پخت و کوره دوار را نه به صورت یک بخش مجزا، بلکه به عنوان قلب تپنده یک منظومه یکپارچه تحلیل نموده و راه کارهای ملموسی برای ارتقای پایداری، کاهش توقفات و بهینه سازی مصرف انرژی ارائه می دهد.

از تلاش های بی دریغ جناب آقای غضنفریان پور در جهت خلق این اثر فاخر قدردانی می گردد. بی شک نگارش چنین مراجعی، سهمی شایان در ارتقای دانش فنی کارشناسان، مهندسان و اپراتورهای اتاق کنترل صنعت سیمان ایفا خواهد نمود.

در پایان، فرصت را مغتنم شمرده و از تمامی مدیران، پیشکسوتان، صاحب نظران و اندیشمندان صنعت سیمان کشور دعوت می نمایم تا با تاسی به این اقدام ارزشمند، دستاوردهای گران بها و