

تجارب صنعتی استفاده از کک نفتی به عنوان سوخت جایگزین در صنعت سیمان

علی اله وردی^۱، ابراهیم نجفی کانی^۱، پونه قره بگلو^۲

۱- دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- شرکت ملی مهندسی و ساختمان نفت ایران

چکیده

سوخت جایگزین به مواد باقیمانده و دورریز که می توان آنها را به جای سوخت های فسیلی استفاده نمود، اطلاق می شود. به دلیل شرایط حاکم بر فرایند احتراق در کوره های سیمان از جمله دمای بالای کوره های سیمان، زماند ماند نسبتا طولانی و مواد قلیایی موجود در کوره از ایجاد مواد سمی به علت سوختن ناقص مواد زائد جلوگیری می شود. کک نفتی یک محصول فرعی حاصله از پالایش نفت خام می باشد که بطور اصلی از کربن تشکیل شده و دارای مقدار زیادی گوگرد و فلزات سنگین مانند نیکل و وانادیم است. در کوره های سیمان می توان از کک نفتی با گوگرد بالا به صورت مخلوط با زغال سنگ، گاز و یا مازوت استفاده نمود چرا که مقادیر محدود گوگرد موجود می تواند با آهک و مواد اولیه در کوره واکنش داده و به صورت ترکیبات سولفات همراه با کلینکر کوره از سیستم پخت فرایند سیمان خارج گردد. در کشورهای مختلفی از جمله آلمان، هند، آمریکا، مکزیک، لهستان و چندین کشور دیگر از کک نفتی به عنوان سوخت جایگزین در صنعت سیمان استفاده می شود. در این مقاله امکان استفاده از کک نفتی به عنوان سوخت جایگزین در واحد چهارم کارخانه سیمان صوفیان مورد بررسی واقع شده است و مقدار اپتیمم کک نفتی قابل مصرف براساس نتایج محاسبات صورت گرفته ارائه شده است.

کلمات کلیدی: سوخت جایگزین، کک نفتی، صنعت سیمان، احتراق، پالایش نفت

مقدمه

کک نفتی خام، محصول جانبی پالایشگاهها است که دارای ارزش حرارتی زیادی بوده و حاوی مقدار کمی مواد فرار است. همچنین میزان گوگرد و نیتروژن موجود در آن نسبت به سوخته های رایج بیشتر است. این ماده در پالایشگاهها جزء ضایعات محسوب می شود ولی در کارخانجات سیمان از آن به عنوان سوخت جایگزین که دارای ارزش اقتصادی است، استفاده می شود [۱].

به دلیل قیمت کم کک نفتی و اینکه استفاده از آن به عنوان سوخت احتمال بروز خطرات کمی را به دنبال دارد، می توان به منظور کاهش قیمت تمام شده تولید سیمان از آن استفاده کرد. ارزش حرارتی بالای کک نفتی باعث مناسب بودن این ماده به عنوان سوخت جایگزین می شود. البته باید این نکته را نیز در نظر گرفت که به دلیل مقدار نسبتاً بالای سولفور موجود در کک نفتی احتمال وجود مشکلات عملیاتی در سیستم پخت وجود خواهد داشت که می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- احتمال بروز گرفتگی در پیشگرمکن

- احتمال بروز گرفتگی در رایزر داکت

- انتشار بیشتر گازهای CO , NO_x , SO_2 به محیط

- کوره غبارآلود^۱

ایده جایگزینی کک نفتی با سوخته‌های رایج به دلیل کاهش هزینه تولید، ایده بسیار جالبی است اما به منظور جلوگیری از تهدیدات فرایندی ناشی از این جایگزینی، قبل از نصب این سیستم بایستی مشکلات احتمالی مطرح شده به طور کامل مورد بررسی قرار گیرد و در صورت نیاز تغییرات لازم در سیستم پخت انجام گیرد.

تولید کننده های سیمان در تمام جهان می کوشند تا هزینه های تولید را به حداقل برسانند و یک روش مؤثر جایگزینی سوخت های رایج از قبیل زغال سنگ، نفت و گازهای طبیعی با کک نفتی است. این واقعیت که کک نفتی در مقایسه با زغال سنگ با سرعت کمتری می سوزد سبب شده است که در بسیاری از کوره های موجود بدون در نظر گرفتن ملاحظات در طراحی و فرایند نتوان کک نفتی را بصورت ۱۰۰٪ در کوره و کلساینر به کار برد.

بیشتر کلساینرهای ساخته شده با موفقیت قابلیت سوزاندن کک نفتی را دارا می باشند. مطالعات نشان داده که در جهان چندین کارخانه جدید در حال طراحی و ساخت می باشند که قادر خواهند بود ۱۰۰٪ کک نفتی را بسوزانند. در این مقاله، به تجربیات به دست آمده از طراحی و ساخت

¹ - Dusty Kiln

چندین کارخانه و تجهیزات مورد استفاده به منظور امکان احتراق ۱۰۰٪ کک نفتی اشاره شده است [۲].

۱- کک نفتی به عنوان سوخت در صنعت سیمان [۱]

کک نفتی پسماند جامدی است که بعد از استخراج ترکیبات گازی و مایع با ارزش از نفت خام باقی می ماند. مقدار مواد فرار در آن بین ۱۵٪-۵، منوط بر فرایند تولید کک نفتی است. اشکال اصلی در سوختن کک نفتی، قابلیت احتراق پذیری کم آن به دلیل مقدار مواد فرار کم می باشد. این واکنش پذیری پایین می تواند از طریق آسیاب کردن با میزان نرمی بالا، استفاده از مشعل کوره با مومنتوم بالا و اعمال اصلاحاتی در طراحی کلساینر مرتفع گردد. یک راه حل مرسوم، آسیاب کردن کک به میزان نرم تری نسبت به استاندارد زغال سنگ است.

بیشتر کک های نفتی حاوی مقدار زیادی سولفور هستند. سولفور زیاد کک نفتی سبب می شود که این سوخت دارای ارزش اقتصادی کمی باشد اما برای مصرف در کوره سیمان لازم است که دقت بسیاری صورت گیرد.

۲- کارخانجات سیمان مصرف کننده کک نفتی

۱-۲- کارخانه Limerick در ایرلند با احتراق ۱۰۰٪ کک نفتی [۳]

یک کارخانه سیمان ایرلندی به نام Ireland Limerick، هزینه های تولید خود را به وسیله سوزاندن کک نفتی در کلساینر نوع ICC-E کاهش داده است. بیشترین میزان جایگزینی در سوخت معمول به وسیله کک نفتی با گردش سولفور در سیستم کوره تعیین می شود و این امر به محتوی سولفور کک نفتی وابسته است. طبق تجربیات موجود، کک نفتی با ۴٪ سولفور در شرایط معمول حداکثر می تواند تا میزان ۷۰٪ جایگزین سوخت اصلی شود که البته به میزان آلکالی موجود در سیستم پخت بستگی داشته و با تغییر فرایند این مقدار می تواند تا ۱۰۰٪ افزایش یابد.

در این کارخانه، محدودیت ناشی از مقدار بالای سولفور در کوره (کوتینگ در اسموک چمبر و رایزر داکت) به دلیل احتراق ناقص کک نفتی بوده است. این امر تا حدود زیادی بستگی به مشعل با

مومنتوم پائین می باشد که در حال حاضر استفاده می شود (FLS-Swirlax 1982) و همچنین به کک نفتی با فراریت کم که در کلسایتر (ICL-E) محترق می شود بستگی دارد. با نصب مشعل Swirlax با مومنتوم هوای بالا (که فن هوای اولیه با فن فشار بالای هوای اولیه جایگزین شده)، افزایش نسبت کک نفتی در مخلوط احتراق پذیر ممکن گردید. با این کار، تبخیر سولفور از منطقه پخت کوره به حدی کاهش یافت که امکان جایگزینی سوخت به ۱۰۰٪ کک نفتی با سولفور بالاتر از ۴/۵٪ فراهم شد.

واحد ششم کارخانه سیمان ICL Limerick که در سال ۱۹۸۳ راه اندازی شده است، شامل یک کوره $۷۵ \times ۴/۷۵$ متر با کولر سیاره ای می باشد. کوره به یک مشعل Swirlax برای سوزاندن زغال سنگ تیومین و یا مازوت مجهز می باشد. پیش گرمکن از نوع سیکلونی و ۴ مرحله ای با کلسایتر ICL-E است. میزان تولید بر اساس گارانتی ۲۱۰۰ tpd کلینکر با مصرف گرمای ویژه ای در حدود ۷۸۰ kcal/kg cli وقتی احتراق ثانویه در بین نباشد و ۷۹۵ kcal/kg cli با ۲۰٪ احتراق در ICL-E می باشد.

در اوایل سال ۱۹۹۰، میزان تولید سیمان از میزان تقاضا تجاوز کرد و تلاش های فراوان برای کاهش هزینه ها انجام شد. در این مدت زمان، نسبت کک نفتی در مخلوط زغال سنگ / کک به بیشترین سطح افزایش یافت. با مشعل Swirlax اصلی، به یک نسبت تا ۷۰٪ کک نفتی به ازای ۴٪ سولفور در مخلوط احتراق پذیر دستیابی حاصل شد. در نسبت های بالاتر، مشکلاتی که از طریق پیدایش مواد چسبناک مسدود کننده در رایزر داکت و اسموک چمبر بروز می کند، اتفاق افتاد. بعد از سال ۱۹۹۵، برای تبدیل سوخت به ۱۰۰٪ کک نفتی بررسی ها و اصلاحات لازم انجام شد.

در زمان توقف کوره برای تعمیر و نگهداری معمول، شامل آستر نسوز، لوله های خنک کننده (کولر)، آب بندی ورودی کوره و غیره ...، در فوریه ۱۹۹۷، اصلاحات زیر انجام شد:

– جایگزینی فن هوای اولیه با فن با فشار بالا (۲۵۰ mbar)

-اصلاح مشعل Swirlax به مشعل با هوای اولیه کم مناسب برای سوزاندن کک نفتی

-اصلاح داکت مواد و صفحه پخش کننده در سومین مرحله بمنظور اطمینان از یک توزیع یکسان مواد بالای مقطع عرضی مجرای بالارونده از کوره به پیش گرمکن

-رفع عایق بندی از مجرای اسموک چمبر با هدف کاهش دمای گاز در خروجی ID فن

-نصب تجهیزات تزریق آب در مجرای بالارونده از دومین به اولین مرحله سیکلون و کاهش دمای خروجی پیش گرمکن

-افزایش دور موتور ID فن به ۱۱۳٪ بار مجاز موتور به وسیله تغییر طراحی

-نصب صفحات فولادی طرح دار در ورودی کولر Unax به منظور بهبود توزیع کلینکر بین لوله های کولر

۲-۱-۱- اپراسیون بعد از اصلاحات

بعد از اصلاحات، نسبت کک نفتی در مخلوط سوخت به ۱۰۰٪ کک نفتی با سولفور بالاتر از ۴/۵٪ افزایش یافته است. کک نفتی مصرفی با میانگین نرمی ۶٪ باقیمانده روی الک ۹۰ میکرون آسیاب شد. مشکل کوتینگ و گرفتگی های ناشی از مسدود کردن مواد چسبنده در اسموک چمبر و رایزر داکت به طور قابل ملاحظه ای کاهش داشته است.

۲-۲- جایگزینی ۱۰۰٪ کک نفتی گوگرد بالا در دو خط تولید سیمان در اسپانیا [۴]

با بررسی بازار سیمان، هنگامی که ظرفیت تولید از میزان تقاضا پیشی گرفته باشد، واحدهای تولیدی بسیاری سعی در بهبود فعالیت های رقابتی فروش محصول خود از طریق کاهش در هزینه های مستقیم تولید می نمایند که مهمترین این هزینه ها مربوط به سوخت مصرفی می باشد. واحدهای تولیدی زیادی پی به میزان صرفه جویی قابل ملاحظه ای در تبدیل سوخت مصرفی خود به کک نفتی برده و از اینجا این سوخت مورد توجه قرار گرفت تا بررسی ها و مطالعات بیشتری بر روی آن صورت گیرد. کک نفتی یک محصول ضایعاتی صنعتی می باشد که از پالایش نفت بدست آمده و

به دلیل میزان سولفور بالا در صنایع دیگر قابل استفاده نمی باشد و نیز قابلیت دسترسی به آن در مقایسه با سوخت های معمول هزینه کمتری دربر دارد.

در سال ۱۹۹۲ ملاحظات بر روی دو واحد تولیدی سیمان در اسپانیا صورت گرفت و از طریق موازنه های جرمی سولفور صورت گرفته و کنترل میزان ترکیبات فرار ورودی از طریق مواد خام، این دو واحد تولیدی سوخت مصرفی خود را به صورت ۱۰۰٪ با کک نفتی جایگزین نمودند.

۲-۳- استفاده از تکنولوژی جدید کی اچ دی همبولت^۲ جهت جایگزینی ۱۰۰٪ کک نفتی [۵]

استفاده از کک نفتی به عنوان یک سوخت جایگزین در تولید سیمان و کلینکر به علت هزینه پایین و ارزش گرمایی بالای آن مفید می باشد. هر چند به علت خواص اشتعال پذیری و احتراق پایین، کک نفتی بایستی تا درجه بسیار بالایی پودر شود که به این ترتیب ظرفیت عملیاتی آسیاب زغال را کاهش می دهد.

استفاده از کک نفتی به علت حجم بالای سولفور آن محدود شده است. به عنوان نتیجه می توان ذکر کرد که تنها راه استفاده ۱۰۰٪ از کک نفتی استفاده از یک سیستم جریان کنار گذر^۳ می باشد. این بخش مشکلات فرآیندی ایجاد شده در اثر استفاده از کک نفتی و راه حل های ارائه شده توسط کی اچ دی (KHD Humboldt Wedag) را ارائه می دهد.

کک نفتی انتخاب بسیار جالب توجهی برای تولید سیمان و کلینکر می باشد، چرا که هزینه های آن به طور قابل ملاحظه ای کمتر از سایر سوخت های اولیه مثل نفت و زغال می باشد. هر چند مقایسه خواص عمومی شیمیایی و فیزیکی آن با زغال، تفاوت های قابل ملاحظه ای را بین آنها نشان می دهد.

— کک نفتی دارای حجم خاکستر بسیار کمتر و حجم سولفور بسیار بالاتری است.

^۲ - KHD Humboldt

^۳-by pass

– حجم ترکیبات فرار آن بسیار کمتر است، بنابراین نیاز به افزایش نرمی سوخت تا میزان قابل توجهی می باشد.

– قابلیت آسیاب پذیری کمتری دارد.

– ارزش گرمایی آن نیز به طور قابل توجهی بالاتر است.

۲-۳-۱- خود اشتعالی و احتراق

حجم کم ترکیبات فرار باعث می شود که این ماده دارای خواص خود اشتعالی و احتراق پایینی باشد. بنابراین بایستی تا درجه نرمی متناظر با ۵٪ باقیمانده روی الک ۹۰ μm، پودر شود. درجه آسیاب پذیری پایین اثر منفی بر ظرفیت آسیابهای زغال موجود (در مواردی که به جای زغال از کک نفتی در آنها استفاده شود)، دارد. در صورتیکه جایگزینی زغال با کک نفتی به طور ۱۰۰٪ صورت گیرد، خروجی آسیاب زغال بایستی به روش زیر تخمین زده شود.

– ۳۵٪ کاهش خروجی به علت افزایش نرمی مورد نیاز

– ۳۵٪ کاهش ظرفیت مورد نیاز به علت ارزش گرمایی بالاتر کک نفتی

– ۲۰٪ کاهش خروجی به علت ضعف در قابلیت آسیاب پذیری کک نفتی

نیاز به افزایش نرمی و ارزش گرمایی بالا با هم معادل هستند ولی به علت قابلیت آسیاب پذیری پایین، آسیاب زغال در مقایسه با عملیاتی که از زغال استفاده می کند، ۲۰٪ کاهش ظرفیت نشان می دهد. خواص ویژه کک نفتی در سیستم پخت نیز مورد توجه خواهد بود. در این حالت کلساینر دارای اهمیت ویژه ای می باشد.

۲-۳-۲- تکنولوژی جدید

برای سوزاندن تمامی انواع سوخت، کی اچ دی کلساینر پیروکلون (PYROCLON) را ارائه داده است که مدلهای ویژه آن قادر به تطبیق با هر شرایط عملکردی می باشند.

۲-۳-۳- سوخته‌های استاندارد

یک نسخه استاندارد این کلسایر در دمای حدود 900°C با سوخته‌هایی با دمای خود اشتعالی و خواص احتراق نرمال، مثل زغال، لیگنیت (Lignite)، نفت، گاز و سوخت های جایگزین^۴ (RDF) نرم، کار می کند. به علت بازده بالا و انعطاف پذیری بالایی که این سیستم دارد (به طور ویژه در موارد اضافه کردن یک سیستم جدید یا ایجاد اصلاحات جدید) پیروکلون در سراسر جهان به خوبی پذیرفته شده و به عنوان یک تکنولوژی مناسب شناخته شده است.

۲-۳-۴- استفاده از کک نفتی

برای دستیابی به بازده حرارتی بالا هنگام استفاده از کک نفتی پودر شده ریز (همانند زغال سنگ)، کلسایر طوری تنظیم شده که زمان ماند در آن بیشتر از ۵ ثانیه باشد. علاوه بر این، جریان گاز در پیروکلون به شدت در محفظه چرخشی فشرده^۵ مخلوط می شود، بنابراین اطمینان لازم جهت احتراق کامل حاصل می گردد.

۲-۳-۵- جایگزین کردن کک نفتی به جای زغال سنگ

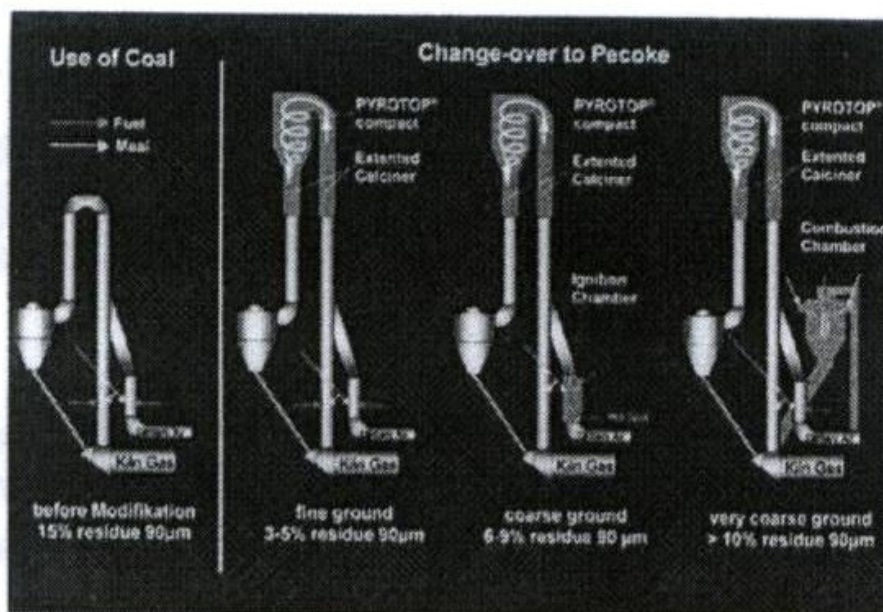
در پروژه هایی که زغال سنگ با کک نفتی جایگزین می شود و آسیابهای زغال دارای ظرفیت کافی برای تامین درجه نرمی مورد نیاز کک نفتی که دارای آسیاب پذیری پایینی است، نمی باشند، دو مدل کلسایر دیگر وجود دارد که برای سوخته‌هایی که کمتر پودر شده اند قابل استفاده می باشند. کک نفتی که تا میزان ۹-۶٪ باقیمانده روی $90\ \mu\text{m}$ ، پودر شده در قسمت پایینی محفظه احتراق که یک مشعل داغ^۶ در آن قرار دارد، در دمای $1100-1200^{\circ}\text{C}$ مشتعل می شود. سوخت به فضای احتراق (در اتمسفری از اکسیژن با غلظت بالا) وارد می شود. یک جریان هموزن و یکنواخت هوا/ سوخت و زمان اقامت کافی بیشتر از ۵ ثانیه در کلسایر و همچنین محفظه چرخشی پیروتاپ^۷ باعث می شوند که سوخت به طور کامل بسوزد (شکل ۱).

^۴ - Refuse Derived Fuels

^۵ - Compact swirl

^۶ - hot spot

^۷ - PYROTOP



شکل ۱: سیستمهای کلساینر پیروکلون

کک نفتی آسیاب شده تا درجه نرمی بیشتر از ۱۰٪ باقیمانده روی الک $90\ \mu\text{m}$ به خوبی سوخته‌های ثانویه توده ای، می تواند در دمای 1200°C و بالاتر به هسته گرم محفظه احتراق وارد شود که این امر باعث آزادسازی ترکیبات فرار می شود. هسته گرم به وسیله مشعل پیروجت^۸ و درجه مناسب پودر شدن خوراک، با شرایط ویژه فرآیند تطبیق پیدا می کند.

خوراک مستقیماً به هوای ثالثیه اضافه می شود و سپس این جریان به دو قسمت تقسیم شده و به طور مرکزی و مماسی وارد محفظه احتراق می گردد. اگر لازم باشد تمام مدلهای کلساینر می توانند به طریقی کار کنند که بدون نیاز به اضافه نمودن مواد افزودنی^۹، بازده مناسب و طراحی کم هزینه ای برای کاهش NO_x داشته باشند. کاهش میزان خروجی NO_x در یک کلساینر NO_x پایین، بر پایه اصل "احتراق مرحله ای" که باعث دستیابی به تکنولوژی BAT^{۱۰} می شود، قرار دارد.

برای انجام این کار، خوراک و سوخت به صورت موازی با گاز وارد می شوند. در منطقه NO_x پایین، بخش سوختی به وسیله گازهای کوره مشتعل شده و به علت حجم کم اکسیژن، ناحیه ای

^۸ - PYROJET

^۹ - additive

^{۱۰} - Best Available Technology

با اتمسفر احیاء کننده را بوجود می آورند. به این ترتیب شرایط اولیه ای برای کاهش NO_x در گازهای کوره فراهم می شود.

گاز احیاء کننده از ناحیه NO_x پایین در مسیر رو به بالا با گازهای اکسید کننده مخلوط می شود. گازهای مخلوط شده در محفظه چرخشی پیروتاپ به شدت حالت چرخشی پیدا کرده و به دلیل اختلاط شدید، CO به CO_2 اکسید می شود.

استفاده از کک نفتی می تواند باعث کاهش هزینه های راهبری خطوط تولید کلینکر گردد. خاصیت ضعیف اشتعال و احتراق و همچنین حجم بالای سولفور موجود باعث می شود تا نتوان بیشتر از ۷۰-۵۰٪ از سوخته های اولیه را توسط آن جایگزین نمود، به همین جهت نمی توان پتانسیل کلی را حفظ نمود. پارامترهای زیر منجر به حفظ ماکزیمم پتانسیل استفاده ۱۰۰٪ از کک نفتی در اغلب کارخانجات می شوند:

— توسعه کلساینر (افزایش ابعاد آن) جهت افزایش زمان اقامت در آن

— نصب محفظه فشرده چرخشی از نوع پیروتاپ

— نصب یک محفظه اشتعال یا احتراق چنانچه آسیاب زغال ظرفیتش کم شود و سوخت درشت تر آسیاب گردد.

— نصب یک سیستم کنار گذر ۱۵٪

این پارامترها باعث ارائه مدل های مختلف KHD Humboldt Wedag AG می شود که نه تنها قابل نصب در سیستم های جدید می باشند بلکه برای مدرنیزاسیون سایر پروژه ها نیز قابل استفاده هستند. ضمناً امروزه سعی بر استفاده ماکزیمم از کک نفتی می باشد که همین امر خود سرمایه گذاری برای آینده است تا در آینده توانایی استفاده ماکزیمم و انعطاف پذیر از سوخته های پسماند و مواد خام ثانویه حاصل شود.

۴-۲- استفاده از کک نفتی در دو خط تولید کارخانه Ramla [۲]

خط تولید اول واحد تولید سیمان Ramla در سال ۱۹۹۲ طراحی و ساخته شد و در این زمان طراحی خط تولید دوم در حال انجام بوده است. در سال ۱۹۹۷، تقریباً دو سال بعد از شروع به کار خط تولید اول، خط تولید دوم راه اندازی شد که بسیاری از مشکلات موجود در طرح RDL-1 در طرح RDL-2 رفع گردید. لازم به ذکر است که هر دوی این خطوط از کک نفتی به عنوان سوخت استفاده می نمایند.

آنالیز نهایی و تقریبی یک نمونه از کک نفتی مصرفی در جدول های زیر داده شده است. نکات اصلی که در اینجا باید ذکر شوند: ارزش حرارتی نسبتاً بالا - حدود 33500 kJ/kg (Btu/lb) 14500 - محتوای مواد فرار پایین در محدوده ۸ تا ۱۲ درصد و محتوای گوگرد به طور معمول بالا بین ۴ تا ۷ درصد بسته به نفت خام پالایش شده، می باشند. محتوای مواد فرار پایین مسبب دو جنبه منفی می باشد که عبارتند از: احتراق کند و تولید نسبتاً بالای NO_x ، البته پاسخهایی توسط تکنولوژی مورد استفاده برای غلبه بر این دو عیب عمده وجود دارد.

جدول ۱: نمونه ای از خواص کک نفتی؛ آنالیز نهایی (درصد بر مبنای خشک)

C	-	۸۷
H	-	۳/۸
N	-	۱/۵
S	-	۵
O	-	۱/۷

جدول ۲: نمونه ای از خواص کک نفتی؛ آنالیز تقریبی (درصد)

کربن ثابت	-	۸۸
ماده فرار	-	۱۱
خاکستر	-	۰/۵

اندیس قابلیت خردایش HGI برای کک نفتی: به طور عمده بین ۴۰ و ۸۰

۲-۲-۴-۱- استفاده از اصل TOT

TOT مخفف دما (Temperature) ، اکسیژن (Oxygen) و زمان (Time) می باشد. هر سه باید به هنگام طراحی یک سیستم احتراق برای سوزاندن سوخت نوع سخت سوز در نظر گرفته شوند. نرمی و ریز بودن پودر سوخت موجود، بر اساس درصد وزنی باقیمانده روی الک مش ۱۷۰ (۹۰ میکرونی) ارزیابی می شود. اصل TOT به ویژه به منظور سوزاندن کک نفتی در پیش کلسیناتور حائز بیشترین اهمیت است.

هم اکنون هر یک از پارامترها را به طور جداگانه مرور می کنیم:

دما نقش مهمی در سینیتیک واکنشهای سوختن کک نفتی پودری دارد. در بازه دماهای موجود در یک پیش کلسیناتور، افزایش دمایی به اندازه ۱۰۰ درجه سانتیگراد (۱۸۰ درجه فارنهایت) سرعت واکنش را دو برابر می کند و بنابراین این نکته باید در بخش طراحی به طور جدی در نظر گرفته شود.

غلظت اکسیژن در گازی که می سوزد نیز یک عامل مهم می باشد و استفاده از هوای احتراق (۲۱ درصد اکسیژن) در این مورد بر استفاده از مخلوطی از هوا و گازهای احتراقی کوره که محتوای اکسیژن کمتری دارد ترجیح داده می شود. این نکته نباید به هنگام تعیین تکنولوژی فرایند احتراق نادیده گرفته شود. زمان باید به اندازه کافی طولانی باشد تا فرایند سوختن به طور کامل انجام گیرد. این، به دما و اکسیژن موجود و همین طور به میزان نرمی کک نفتی پودر شده بستگی دارد. به منظور حفظ بالاترین دمای ممکن، هوای احتراق به جای اینکه از بالای کولر برگردانده شود، مستقیماً از کلاhek دودکش کوره باز گردانده می شود.

همچنین طراحی به گونه ای انجام شده که خوراک خام پودری به پیش کلسیناتور به بخش پایینی محفظه تغذیه نشود. زیرا این امر سبب خنک شدن شعله به خاطر واکنش گرماگیر کلسیناسیون می شود.

برای حفظ حداکثر مقدار ممکن اکسیژن از یک کلسیناتور SLC بجای کلسیناتور ILC استفاده شد. به این ترتیب هوای احتراق ۲۱٪ اکسیژن داشت. برای اینکه زمان اقامت به اندازه کافی طولانی نگه داشته شود، تصمیم گرفته شد که یک کوره بلند مجهز به یک by-pass (جریان برگشتی) کوچک (حداکثر ۱۵٪) و یک محفظه پیش کلسیناتور بزرگتر از اندازه نرمال (حجمی در حدود ۹۸۰ مترمکعب) که ۴ ثانیه زمان اقامت دارد (در حالیکه در حالت نرمال زمان اقامت کمتر از ۳ ثانیه می باشد). مورد استفاده قرار گیرد.

با استفاده از کک نفتی دارای نرمی حداکثر ۵ درصد وزنی باقیمانده روی الک mesh ۱۷۰ (۹۰ میکرون) و با به کارگیری یک مشعل اصلی مدرن با راندمان بالا، راهبری خط تولید با سوختی متشکل از ۸۰٪ کک نفتی بدون هیچ مشکلی صورت گرفت.

تصمیم گرفته شد که توانایی سیستم برای عملکرد در ۱۰۰ درصد کک نفتی مورد آزمایش قرار گیرد. برای موفقیت در رسیدن به این هدف، می بایست اپراسیون در سه مورد زیر بهبود می یافت:

(۱) بهبود عملکرد مشعل اصلی به منظور کاهش دمای انتهای کوره. این مورد با جایگزین کردن فن هوای اولیه با یک فن تا حدی بزرگتر و همزمان کاهش سرعت تزریق ذرات کک نفتی از نوک مشعل اصلی به کوره، انجام گرفت.

(۲) حفظ اپراسیون خوب در سرعت تغذیه کک نفتی به مشعل اصلی و مشعلهای پیش کلسیناتور. آخرین مرحله مربوط به وزن کردن سوخت ورودی به مشعل است که این عمل توسط سیستم توزین (Weighing rotor Scales) انجام می شود. این تغذیه کننده ها سوخت پودری را به طور مستقیم از یک سیلوی ۲۰۰ تن متریک در بالای آنها دریافت می کنند. متأسفانه وقفه های لحظه لحظه در تغذیه کک نفتی به مشعل ها وجود داشت که سبب افزایش موقتی غلظت مونواکسیدکربن در گاز دودکش می شد. به منظور جلوگیری از چنین عملکرد نادرستی می بایست یک انبار کوچک واسط بین سیلوی ۲۰۰ تن متریک و سیستم توزین قرار داده شود. این تغییرات باعث رفع مشکلات به طور کامل شد.

سیستم ها نسبت گوگرد به آلكالی بالایی دارند. یک نمونه ترکیب شیمیایی خوراک خام پودری، غبار برگشتی و کلینکر در جدول زیر آمده است. به تجربه معلوم شد که باید از غلظت SO_3 مازاد بیش از ۲ درصد در خوراک خام داغ ورودی به کوره از سیلکون انتهایی پیش گرمکن جلوگیری بعمل آید. به منظور حفظ تبخیر گوگرد در کوره در کمترین حد ممکن و به طور همزمان حفظ ظرفیت بالای تولید کلینکر به اندازه ۵۶۰۰ تن در روز با مصرف ویژه انرژی حرارتی معادل kJ ۲۹۲۶ به ازای هر کیلوگرم کلینکر (۲/۵۲ میلیون Btu به ازای تن کوچک کلینکر) و با وجود جریان برگشتی ۷/۵٪، سیستم طوری تنظیم شد که محتوای اکسیژن در گاز احتراق خروجی از کوره که به سمت رایزر داکت می رود بالای ۳/۵ درصد و در بالای پیش گرمکن، محتوای اکسیژن در رنج ۵ تا ۶ درصد باشد.

جدول ۳: ترکیب شیمیایی خوراک خام پودری، غبار برگشتی و کلینکر (درصد)

غبار برگشتی	کلینکر	خوراک خام داغ	خوراک خام	
۵۹/۵۰	۶۵/۵۴	۶۳/۰۰	۴۳/۷۶	CaO
۱۷/۷۶	۲۱/۲۶	۲۰/۷۰	۱۳/۳۰	SiO ₂
۵/۳۱	۵/۷۵	۵/۶۴	۳/۷۰	Al ₂ O ₃
۲/۸۷	۳/۴۴	۳/۳۵	۰/۸۲	Fe ₂ O ₃
۲/۱۴	۱/۲۶	۱/۲۲	۰/۸۲	MgO
۰/۴۲	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۲۹	TiO ₂
۲/۱۸	۰/۴۲	۰/۸۸	۰/۳۰	K ₂ O
۰/۴۱	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۱۵	Na ₂ O
۶/۲۵	۰/۸۶	۲/۱۶	۰/۰۷	SO ₃
۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۱	P ₂ O ₅
۰/۲۴۹	۰/۰۰۳	۰/۲۶۸	۰/۰۲۲	Cl ⁻
۳/۶۴	۰/۰۷	۱/۹۶	۳۴/۹۶	LOI
مدولهای شیمیایی				
۱۰۲/۸۴	۹۶/۶۱	۹۴/۳۲	۱۰۱/۶۷	LSF
۲/۱۷	۲/۳۱	۲/۳۰	۲/۲۵	SIM
۱/۸۵	۱/۶۷	۱/۶۸	۱/۶۷	AIM

تحت این شرایط عملیاتی می توانیم تا زمانیکه غلظت گوگرد در کک نفتی از ۴/۷ درصد بر مبنای خشک تجاوز نمی کند، با ۱۰۰ درصد کک نفتی کار کرد. این به معنای ناچیز در نظر گرفتن غلظت گوگرد در خوراک خام پودری می باشد.

تجربه ثابت کرده که نگه داشتن نرمی کک نفتی در حد ۵ درصد باقیمانده روی الک ۱۷۰ mesh هیچ اهمیت واقعی ندارد و هم اکنون سوخت جامد با نرمی ۹ تا ۱۲ درصد وزنی باقیمانده روی الک ۹۰ میکرونی، تهیه می شود. در مورد مقادیر محدودیت انتشار گازهای آلاینده برای ۱۰۰٪ کک نفتی در حال سوختن، ۱۳۰۰ میلی گرم NO_x به ازاء هر متر مکعب نرمال گاز خشک می باشد و نشر هر دو خط RDL-1 و RDL-2 در سطح ۱۰۰۰ میلی گرم NO_x به ازای متر مکعب نرمال گاز خشک کنترل شده است.

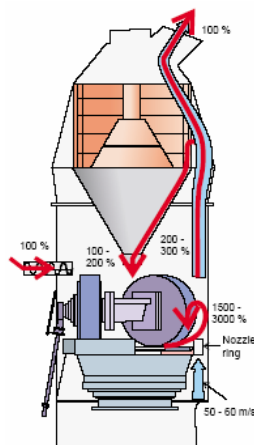
۳- نحوه آماده سازی و مصرف کک نفتی در صنعت سیمان

۳-۱- خشک کردن و آسیاب نمودن کک نفتی

امروزه دریافته اند که استفاده از آسیابهای غلتکی برای خرد کردن و آسیاب نمودن مواد خام سیمان، کلینکر، سرباره کوره ذوب آهن و زغال می تواند منجر به صرفه جویی قابل ملاحظه ای در مصرف انرژی گردد. این مزیت آسیابهای غلتکی باعث شده است تا استفاده از آنها برای خشک نمودن و پودر نمودن کک نفتی افزایش یابد. آرایش و ساختار ساده و متراکم واحدی که از آسیاب غلتکی استفاده می نماید، دارای مزایای بسیاری می باشد.

۳-۱-۱- آسیاب غلتکی ساخت شرکت FLSmidth [۶]

آسیاب مورد بحث به نام ATOX می باشد که معمولاً برای آسیاب نمودن انواع زغال سنگ و کک نفتی مورد استفاده قرار می گیرد. این آسیاب امکان نصب در شرایط احتراق مستقیم و غیر مستقیم را دارا می باشد. در شکل زیر مسیر چرخش مواد در فضای داخلی آسیاب نشان داده شده است.



شکل ۲: چرخش مواد در داخل آسیاب

این آسیاب مجهز به یک سپراتور دینامیک با کارایی بالا به نام RAKM می باشد (که در ادامه بحث به صورت مفصل توضیح داده می شود). که قابلیت آسیاب نمودن را تا میزان نرمی دلخواه و قابل کنترل فراهم می نماید. آسیاب ATOX دارای یک موتور با دور متغییر بوده و امکان آسیاب نمودن انواع زغال سنگ و کک نفتی را تا میزان نرمی زیر ۵٪ باقیمانده روی الک $90\ \mu\text{m}$ را دارا می باشد. از ویژگیهای آسیاب غلطکی ATOX می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ۱- راندمان بالا در آسیاب نمودن انواع زغال سنگ و کک نفتی
 - ۲- دارا بودن سپراتور دینامیک با کارایی بالا و اطمینان از حصول محصولات با کیفیت
 - ۳- طراحی مناسب بر مبنای اشغال کمترین فضای عملیاتی
 - ۴- سهولت در نصب و تعمیر و نگهداری به واسطه طراحی بخصوص غلطک ها
 - ۵- غلطک های بزرگ تر و امکان ورود خوراک درشت تر و تشکیل بستر خردایش ضخیم
 - ۶- اپراسیون پایدار حتی در زیر بار کم
 - ۷- توزیع هوای اپتیمم و در نتیجه کاهش تلفات
- این آسیاب اولین بار در سال ۱۹۹۶ جهت آسیاب نمودن کک نفتی در صنعت سیمان مورد استفاده واقع شده است که در جدول زیر لیستی از کارخانجاتی که از این نوع آسیاب استفاده می کنند آورده شده است.

جدول ۴: کارخانجاتی که از آسیاب ATOX جهت خردایش کک نفتی استفاده می کنند

ابعاد آسیاب (متر)	نوع آسیاب	موتور اصلی (kW)	سال	کشور	واحد تولیدی
۲۲/۵	ATOX	۴۹۴	۲۰۰۳	مکزیک	Apaxco
۲۵	ATOX	۵۹۰	۲۰۰۲	السالوادور	Ronco
۴*۵	TM	۱۰۴۰	۲۰۰۲	تونس	Ciments Gabès
۲۵	ATOX	۴۵۰	۱۹۹۸	کویت	Shuaiba
۲۰	ATOX	۴۰۰	۱۹۹۷	دانمارک	Rardal
۱۳/۵	ATOX	۱۳۰	۱۹۹۶	اسپانیا	El Alio

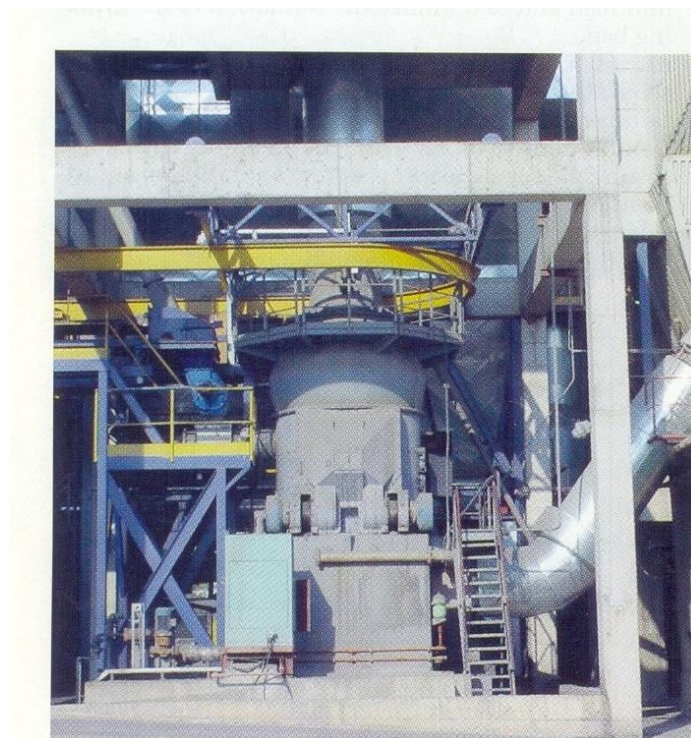
۳-۱-۲- آسیاب غلتکی ساخت شرکت لوشه^{۱۱} [۷ و ۸]

آسیاب غلتکی شرکت لوشه در حال حاضر چندین سال است که تحت شرایط عملیاتی و به طور تجربی جهت خشک کردن و آسیاب نمودن کک نفتی بکار می رود. کارخانه سیمان Usje در مقدونیه در سال ۱۹۵۵ به عنوان یک تشکیلات دولتی آغاز به کار کرده و در سال ۱۹۹۵ به صورت خصوصی درآمد. در سالی که کارخانه خط تولید ۱، که از فرآیند نیمه خشک استفاده می کرد را ساخت، دارای میزان تولید کلینکر به مقدار ۱۵۰ t/d بود. خط تولید ۲ در سال ۱۹۶۰ و با استفاده از همان تکنولوژی برای تولید ۳۵۰ t/d کلینکر طراحی و ساخته شد. سوخت کوره دوار زغال سنگ صربستان بود که در سال ۱۹۶۶ سیستم اشتعال به مازوت تغییر داده شد. دو خط پخت یکسان با فرآیند خشک نیز در سالهای ۱۹۶۷ و ۱۹۷۱ اضافه شدند که به این ترتیب ظرفیت تولید کلینکر به ۲۰۰۰ t/d افزایش داده شد.

ملاحظات بهینه سازی در سال ۱۹۸۰ باعث شد تا تولید کلینکر در خطوط تولید ۳ و ۴ به ۲×۱۳۰۰ t/d افزایش یابد. به این ترتیب می توانستند دو فرآیند نیمه خشک را در سال ۱۹۸۴ متوقف نمایند.

¹¹ - Loesche

ارزیابی مجدد اقتصادی سوختها در سال ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۳ باعث تعویض سوخت مشعلهای کوره از نفت کوره به سوختهای جامد شد. اولین گام جایگزینی ۷۰٪ از مازوت با زغال سنگ خشک بود و در گام بعدی ۳۰٪ از زغال سنگ به وسیله کک نفتی جایگزین شد. به دلیل نتایج خوب حاصل شده از کک نفتی استفاده از آن تا ۵۰٪ از میزان سوخت مورد نیاز افزایش داده شد. از سال ۱۹۹۸ کک نفتی به عنوان سوخت انحصاری برای اشتعال کوره های دوار به کار برده می شود. کک نفتی ابتدا به وسیله یک آسیاب گلوله ای که قبلاً، در قسمت تولید مواد خام مورد استفاده بود، آسیاب می شد. سپس آسیاب غلتکی LM 19.20D ساخت شرکت لوشه که در زیر شکل آن آورده شده است جهت آماده سازی و پودر نمودن کک نفتی مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۴: نمایی از آسیاب غلتکی LM 19.20D ساخت شرکت لوشه در کارخانه Usje واقع در مقدونیه

۳-۲- مشعل های مورد استفاده جهت احتراق کک نفتی در صنعت سیمان

۳-۲-۱- مشعل دوفلکس^{۱۲} ساخت شرکت اف ال اشمیت [۱۰]

¹² - DUOFLEX

مشعل دوفلکس به طور مناسبی با چهار لوله مرکزی برای سوخت های جایگزین، یکی برای جامدات و سه تا برای مایعات طراحی شده است. این موقعیت برای لوله های بر پایه تجربیات ناشی از هوای اولیه تأمین کننده سوخت ها که بهترین شرایط احتراق در شعله را فراهم آورده بنا شده است.

۳-۲-۱-۱- مزایای عملیاتی

مشعل جدید دوفلکس و سیستم جدید سوخت جامد جایگزین در ژوئن سال ۲۰۰۱ نصب شده و مزایای زیر به صورت خلاصه نتیجه استفاده از این نوع مشعل ها می باشند:

- در حال حاضر امکان افزایش درصد جایگزینی سوخت جایگزین از ۳۰٪ به ۵۰٪ ممکن است که بستگی به طراحی نازل دوفلکس دارد.
- مشکلاتی که قبلاً در ارتباط با رینگ های سولفور در کوره به دلیل مقدار بالای سولفور در خوراک خام داغ وجود داشت، برطرف شده است. این امر به دلیل شعله نازک تر تولیدی به وسیله مشعل دوفلکس می باشد که از برخورد شعله با بار کوره ممانعت می کند.
- به دلیل شکل شعله و تنظیمات مشعل، هیچ آسیبی به پوشش نسوز وارد نمی آید.
- میزان تولید نرمال کوره در حدود ۳٪ افزایش داشته است.
- اپراسیون کوره و پروفایل کوتینگ یکنواخت تر شده است.
- کیفیت کلینکر علی رغم جایگزینی نسبت بیشتری از سوخت جایگزین، کماکان ثابت باقی مانده است.

در شکل زیر تصویر واقعی از نماهای مختلف مشعل دوفلکس نشان داده شده است.



شکل ۷: تصاویری واقعی از مشعل دوفلکس

در جدول زیر لیستی از کارخانجاتی که از این نوع مشعل جهت احتراق کک نفتی استفاده می کنند آورده شده است.

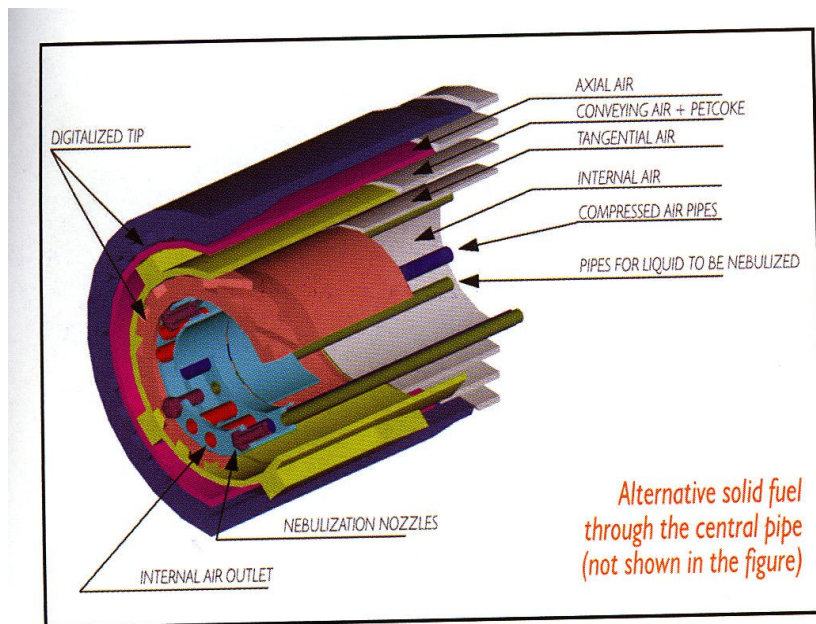
جدول ۵: کارخانجاتی که از مشعل دوفلکس جهت احتراق کک نفتی استفاده می کنند

ردیف	واحد تولیدی	کشور	سال	ظرفیت تولید کوره (تن در روز)
۱	Brooksville	USA	۲۰۰۶	-
۲	Costantinopoli	Italy	۲۰۰۵	۱۲۵۰
۳	P.T.indocement	Indonesia	۲۰۰۵	۵۵۰۰
۴	Troutville	USA	۲۰۰۵	۳۹۶۰
۵	Rillito	USA	۲۰۰۴	۶۰۰۰
۶	Macuspana	Mexico	۲۰۰۴	۲۷۰۰
۷	Ensenada	Mexico	۲۰۰۴	۱۶۰۰
۸	Cemex Hermosillo	Mexico	۲۰۰۴	۲۶۵۰
۹	Macoris	Dominican Rep.	۲۰۰۴	۵۰۰۰
۱۰	Campulung	Romania	۲۰۰۴	۱۰۰۰
۱۱	Thomaston	USA	۲۰۰۴	۱۹۰۵
۱۲	Sigma	Peru	۲۰۰۳	۳۰۰۰
۱۳	Caué White Caué	Brazil	۲۰۰۳	۳۷۵
۱۴	Novi Popovac 1	Serbia	۲۰۰۳	۱۰۰۰
۱۵	Novi Popovac 2	Serbia	۲۰۰۳	۲۰۰۰
۱۶	Gador	Spain	۲۰۰۳	۲۴۰۰
۱۷	S.A. Jeréz	Spain	۲۰۰۳	۲۲۵۰
۱۸	SA Turda	Romania	۲۰۰۳	۴۰۰
۱۹	Maple Leaf White	Pakistan	۲۰۰۳	۵۰۰
۲۰	Maya	El Salvador	۲۰۰۲	۱۳۰۰
۲۱	Campo Formoso	Brazil	۲۰۰۱	۲۰۰۰
۲۲	Cemento Managua Kiln 3	Nicaragua	۲۰۰۱	۱۸۰
۲۳	Cemento Managua Kiln 4	Nicaragua	۲۰۰۱	۵۰۰
۲۴	Cemento Managua Kiln 5	Nicaragua	۲۰۰۱	۵۰۰
۲۵	Campulung	Romania	۲۰۰۱	۱۰۰۰
۲۶	Alesd	Romania	۲۰۰۱	۳۰۰۰
۲۷	Aalborg RCI White	Malaysia	۲۰۰۱	-

	Cement			
۲۸	Lebec CA	USA	۲۰۰۰	۲۸۱۲
۲۹	Clarkdale	USA	۱۹۹۹	۲۷۲۲
۳۰	Titan Kamari	Greece	۱۹۹۹	۳۵۰۰
۳۱	Ticaret Mersin (white)	Turkey	۱۹۹۸	۱۵۰۰
۳۲	Shuaiba	Kuwait	۱۹۹۸	۵۵۰۰
۳۳	Kamari	Greece	۱۹۹۸	۳۵۰۰

۳-۲-۲- مشعل جدید سی گرکو^{۱۳} [۱۲]

مشعل جدیدی برای کارخانه بارلتا (Barletta) با پنج مسیر هوای اولیه در ایتالیا توسط شرکت سی گرکو ساخته شد. سوخت اصلی آن کک نفتی پودر شده است. مشعل روی یک سیستم کوره ساخت پلی زیوس در سال ۱۹۹۳ با ۴ متر قطر و ۵۵ متر طول با شیب ۳٪، برج پیش گرم کن ۵ طبقه و گریت کولر که ۲۵۰۰ tpd کلینکر تولید می کرد نصب شد. مصرف انرژی حرارتی ویژه آن تقریباً ۸۲۰ kcal/kg cli. می باشد که ۵۵٪ از کل بار حرارتی در مشعل اصلی (کک نفتی) و ۴۵٪ در کلساینر (کک نفتی و سوخت های جایگزین جامد شامل پلاستیک ها، تایر ها و لاستیک های فرسوده) است. شرکت سی گرکو نیز مشعلی چندگانه سوز جهت تزریق سوخته های جایگزین ارائه نموده که در شکل ۱۰ زیر شماتیک آن نشان داده شده است.



Detail of the C. Greco burner.

شکل ۱۰: مشعل چندگانه سوز سی گرکو جهت مصرف سوختهای جایگزین

لوله مرکزی مشعل برای تزریق هوا برای پودر کردن سوخت های جایگزین سبک و باقیمانده استخوانی حیوانات و یا ضایعات مایع نظیر محلول ها و امولسیون ها قرار می گیرد. نصب این مشعل جدید در واحد بارلتا نتایج مهمی در کاهش میزان انتشار NO_x داشته است. یک ارزیابی اولیه نشان داد که تقریباً ۲۸٪ کاهش در تولید NO_x رخ داده است.

۴- بررسی امکان استفاده از کک نفتی در واحد چهارم کارخانه سیمان صوفیان

در یک طرح پژوهشی که کارفرمای آن شرکت ملی مهندسی و ساختمان نفت ایران بود، امکان استفاده از کک نفتی در واحد چهارم کارخانه سیمان صوفیان مورد بررسی قرار گرفت. در این طرح پس از مطالعه سیستم پخت واحد چهارم کارخانه سیمان صوفیان از نظر شرایط فنی، ساختاری و فرایندی از خط تولید نمونه برداری شد. براساس نتایج بدست آمده از آنالیز نمونه ها، حداکثر مقدار کک نفتی قابل مصرف براساس نسبت مولی آلکالی به سولفات و شرایط فرایندی سیستم پخت تعیین شده و همچنین نوع، ظرفیت و مشخصات کلی دستگاهها و تجهیزات مورد نیاز مشخص گردید.

۴-۱- نتایج کلی طرح

کک نفتی خام، محصول جانبی پالایشگاهها است که دارای ارزش حرارتی بالایی بوده و حاوی مقدار کمی مواد فرار است. همچنین میزان گوگرد و نیتروژن موجود در آن نسبت به سوخته‌های رایج بیشتر است. این ماده در پالایشگاهها جزء ضایعات محسوب می شود ولی در کارخانجات سیمان از آن به عنوان سوخت جایگزین استفاده می شود.

به دلیل قیمت نسبتاً پائین کک نفتی و اینکه استفاده از آن به عنوان سوخت احتمال بروز خطرات کمی را به دنبال دارد، می توان به منظور کاهش قیمت تمام شده تولید سیمان از آن استفاده کرد.

نتایج کلی بدست آمده در طرح حاکی از آن است که :

۱- استفاده از کک نفتی در صنعت سیمان جهان بیش از یک دهه سابقه داشته و رغبت تولیدکنندگان سیمان به استفاده از این سوخت در حال افزایش است.

۲- در بعضی از کارخانه های سیمان در دنیا از جمله کارخانه Limerick در ایرلند و کارخانه دیگری در اسپانیا، سوخت مصرفی خود را بطور کامل از کک نفتی تامین می کنند.

۳- محاسبات صورت گرفته برای تعیین حداکثر مقدار مصرف کک نفتی در واحد چهارم کارخانه سیمان صوفیان قبل از طرح افزایش ظرفیت و در شرایط نسبتاً نرمال از نظر غلظت ترکیبات فرار نشان می دهند که در سوخت ترکیبی مازوت و کک نفتی حداکثر می توان $70/53\%$ از انرژی مورد نیاز سیستم را با استفاده از کک نفتی تامین نمود که این درصد معادل 7104 kg/hr کک نفتی می باشد.

۴- محاسبات صورت گرفته برای تعیین حداکثر مقدار مصرف کک نفتی در واحد چهارم کارخانه سیمان صوفیان قبل از طرح افزایش ظرفیت و در شرایط نسبتاً نرمال از نظر غلظت ترکیبات فرار نشان می دهند که در سوخت ترکیبی گاز طبیعی و کک نفتی حداکثر می توان $83/87\%$ از انرژی

مورد نیاز سیستم را با استفاده از کک نفتی تامین نمود که این درصد معادل 8448 kg/hr کک نفتی می باشد.

۵- محاسبات صورت گرفته برای تعیین حداکثر مقدار مصرف کک نفتی در واحد چهارم کارخانه سیمان صوفیان بعد از طرح افزایش ظرفیت و در شرایط نسبتا نرمال از نظر غلظت ترکیبات فرار نشان می دهند که در سوخت ترکیبی مازوت و کک نفتی حداکثر می توان $80/21\%$ از انرژی مورد نیاز سیستم را با استفاده از کک نفتی تامین نمود که این درصد معادل 13194 kg/hr کک نفتی می باشد.

۶- محاسبات صورت گرفته برای تعیین حداکثر مقدار مصرف کک نفتی در واحد چهارم کارخانه سیمان صوفیان بعد از طرح افزایش ظرفیت و در شرایط نسبتا نرمال از نظر غلظت ترکیبات فرار نشان می دهند که در سوخت ترکیبی گاز طبیعی و کک نفتی حداکثر می توان $89/34\%$ از انرژی مورد نیاز سیستم را با استفاده از کک نفتی تامین نمود که این درصد معادل 14695 kg/hr کک نفتی می باشد.

۷- براساس محاسبات صورت گرفته هنگام استفاده از کک نفتی حجم کل گازهای حاصل از احتراق افزایش می یابد که این افزایش در حالت سوخت ترکیبی مازوت و کک نفتی مقدار نسبتا ناچیزی دارد و در نتیجه تاثیر آن بر افت ظرفیت تولید کوره ناچیز می باشد. چنانچه سوخت ترکیبی گاز طبیعی و کک نفتی باشد در این صورت افزایش زیاد حجم گازهای کوره باعث کاهش در ظرفیت تولیدی کوره خواهد شد.

۸- براساس محاسبات انجام شده مصرف کک نفتی باعث افزایش حجم گاز دی اکسید کربن در گازهای خروجی از سیستم پخت می گردد. این افزایش در حالت سوخت ترکیبی مازوت و کک نفتی دارای بیشترین مقدار می باشد.

۹- بررسی ها نشان داد که استفاده از کک نفتی در کوره سیمان مشکلی از لحاظ فلزات سنگین و پیامدهای آن بر فرایند و کیفیت کلینکر نخواهد داشت.

۱۰- بررسی نتایج آنالیزهای شیمیایی نشان می دهد، غلظت اکسیدهای سدیم و پتاسیم بطور معمول در یک دامنه نسبتاً محدود تغییر می کند در حالیکه دامنه تغییرات برای سولفات و کلر قابل ملاحظه می باشد. همچنین این بررسی نشان می دهد هیچ ارتباطی مستقیم یا غیر مستقیمی بین غلظت سولفات و کلر وجود ندارد. بنابراین بدترین حالت یا محدود کننده ترین حالت برای حداکثر مقدار کک نفتی قابل مصرف زمانی است که غلظت سولفات و غلظت کلر تا حدود نسبتاً ماکزیمم خود افزایش یابند (با SO_3 ۰/۲۷٪، Cl ۰/۰۹٪). برای این حالت براساس محاسبات انجام شده برای شرایط قبل از طرح افزایش ظرفیت در سوخت ترکیبی مازوت و کک نفتی حداکثر می توان ۴۹/۵۶٪ از انرژی مورد نیاز سیستم را با استفاده از کک نفتی تامین نمود که این درصد معادل ۴۹۹۲ kg/hr کک نفتی می باشد.

منابع و مراجع

1. Petcoke firing technology, F.L.Smidth Brochure.
2. E. Kaplan and N. Nedder, PETROLEUM COKE UTILIZATION FOR CEMENT KILN FIRING, Israel Cement Enterprises Ltd. 1999.
3. Richard Cunningham, Ib Ohlsen and Peter Rosholm, Swirlax burner conversion leads to 100% petroleum coke firing, World Cement, April 1998.
4. A. H. Mortensen, E. A. Hintsteiner, P. Rosholm, Converting two kiln lines to 100% high sulphur petroleum coke firing, ZKG INTERNATIONAL, February and April 1998.
5. No problem with petcoke, Fuel Technology, March 2002.
6. ATOX mill, F.L.Smidth Brochure.
7. B. Schroder, T. Leppak, Drying and grinding petroleum coke in a roller mill at the Usje cement works, Macedonia, ZKG, Vol. 55, 2002, pp. 68-73.

8. H.U. Schaefer, LOESCHE VERTICAL ROLLER MILLS FOR THE COMMINUTION OF ORES AND MINERALS, Minerals Engineering, 14 (2001) 1155-1160.
9. RTKM Separator for coal grinding ball mills, F.L.Smith Brochure.
5. Hans Erik Jannerup, New DUOFLEX kiln burner, Cemento-Hormigon, February 2002.
10. Gary R. Roy, Petcoke Combustion Characteristics, World Cement, April 2002.
11. c. Greco, Innovative Burners, World Cement, September 2001, pp. 91-93.