

آشنایی با
تکنولوژی مدیریت ضایعات
در کوره های سیمان

۱. مشخصات و مزایای قابل توجه کوره های سیمان جهت سوزاندن ضایعات
۲. سوخت های مناسب برای کوره های سیمان
۳. آشنایی با تجربیات اجرا شده در سراسر دنیا
۴. ملزومات پیاده سازی طرح سوزاندن ضایعات در کوره های سیمان

علیرضا طلاقت

صنعت سیمان بعنوان یک صنعت در بردارنده انرژی و درجه حرارت بالا جهت پروسه مورد نیاز تولید کلینکر ، در کوره ها ، شناخته میشوند. منابع انرژی معمول مورد استفاده در این صنعت شامل ذغال سنگ ، مازوت و گاز طبیعی میباشد که از دهه ۷۰ (۱۹۷۰) ، رنج وسیعی از مواد دارای انرژی حرارتی مناسب مانند روغنها ، تایرهای فرسوده اتومبیل ها ، مواد ارگانیک و ضایعات و زباله های شهری بعنوان سوخت های ضایعاتی ، جهت استفاده در کوره های سیمان مورد توجه قرار گرفته اند.

در این مقاله با بیان مشخصات و مزایای قابل توجه کوره های سیمان ، سوخت های مناسب برای سوزاندن در کوره های سیمان مورد بررسی قرارمیگیرد و متعاقب آشنائی با برخی از طرحهای پیاده شده در سراسر دنیا ملزومات پیاده سازی طرحها و مدیریت ضایعات در کوره های سیمان مطرح خواهد شد.

لازم بذکر است مطالب آورده شده در این مقاله، گردآوری شده از مقالات ، انتشارات و نتایج فعالیت ها و تحقیقات و گزارشات ارائه شده از تجربیات اجرائی است که در هر مورد مستندات معرفی شده است.

امید است مطالب ارائه شده گامی در آشنائی و پیاده سازی این طرح ملی در کشور عزیزمان باشد.

علیرضا طلاقت

۱. مشخصات و مزایای قابل توجه کوره های سیمان جهت سوزاندن ضایعات :

مشخصات و مزایای قابل توجه کوره های سیمان که آنها را بعنوان وسیله مناسبی برای سوزاندن ضایعات معرفی مینماید به شرح ذیل میباشد.

۱-۱ درجه حرارت بالا و مدت زمان ماندگاری طولانی مواد در کوره

درجه حرارت گاز احتراق و زمان ماندگاری در کوره های سیمان به مراتب بیشتر از پارامترهای مشابه در زباله سوزهای معمول میباشد.

جهت تولید کلینکر ، لازم است مواد موجود در کوره به درجه حرارت 1500°C برسند و این در حالی است که درجه حرارت گاز حاصل از احتراق به حدود 2000°C خواهد رسید. بسته به نوع پروسس و طرح کوره زمان ماندگاری ۶ تا ۱۰ ثانیه به همراه اغتشاش شدید داخل کوره ها، شرایطی در کوره های سیمان فراهم می آورد که حتی مؤلفه های بسیار پایدار ارگانیک نیز از بین خواهند رفت.

درحالت کلی تمامی مواد ارگانیک تحت درجه حرارت 1200°C و زمان ماندگاری حدود ۳-۲ ثانیه و اکسیژن دهی مناسب از بین خواهند رفت که مطمئناً این شرایط در منطقه پخت کوره های سیمان تأمین میگردد.

۱-۲ ظرفیت حرارتی بالا :

اندازه بزرگ و میزان زیاد مواد حرارت داده شده در کوره های سیمان امکان نوسانات دمائی شدید را به حداقل تقلیل داده است. بنابراین در زمانهای Shutdown ، به جهت مشکلات بهره برداری، فرصت زمان کافی برای قطع شدن جریان ضایعات (ارگانیک) به کوره تا قبل از رسیدن به درجه حرارت های بحرانی وجود دارد.

۱-۳ محیط قلیایی و ایجاد شرایط محیط زیستی مطلوبتر:

مواد موجود در کوره های سیمان قلیائی میباشد. بنابراین شرایط خنثی شدن تمامی ترکیبات حاوی کلسیم (کلرین) به فرم کلسیم کلرین ، سدیم کلرین و پتاسیم کلرین که مؤلفه های غیرسمی میباشد فراهم میگردد. بهمین دلیل میتوان نتیجه گرفت که کلرید هیدروژن (HCL) . زمان سوزاندن ضایعات در کوره های سیمان ، در مقایسه با زباله سوزها کمتر متصاعد میگردد . البته میتوان به این نکته نیز اشاره نمود که کاهش سوخت های فسیلی . در کل ، باعث کاهش CO_2 ، که مطلوبیت بیشتری از نظر محیط زیستی دارا است ، دربرخواهد داشت.

۱-۴ حداقل پس ماند ضایعات :

احتراق ضایعات در زباله سوزها ، خاکستر ، بعنوان پسماند دربرخواهد داشت . که می بایست جمع آوری و دفع گردد ولی تنها محصول سوزاندن ضایعات در کوره های سیمان غبارهای خروجی از کوره است که بالغ بر ۹۹/۹٪ توسط فیلترها (الکتریکی و کیسه ای) جمع آوری و به پروسس بازگردانده میشود.

۱-۵ بازیافت انرژی :

سوزاندن ضایعات بعنوان سوخت مکمل ، در کوره های سیمان ، باعث بازیافت مقدار قابل توجهی انرژی از مواد زائد میگردد. دستیابی به این منابع انرژی یکی از دلایل اولیه توجه صاحبان این صنعت به سوزاندن ضایعات بوده است. قابل ذکر است ۲۵٪ تا ۵۰٪ از انرژی حاصل از سوخت های فسیلی توسط سوزاندن ضایعات ، در کوره های سیمان ، قابل دسترسی است.

۱-۶ حفاظت از منابع سوخت غیرقابل احیاء (فسیلی) :

یکی از مزایای پراهمیت استفاده از ضایعات بعنوان سوخت مکمل ، حفاظت از منابع سوخت فسیلی مانند ذغال سنگ، گاز و مازوت میباشد. منابعی که در طول هزاران سال بوجود آمده اند و روزانه رو به کاهش میباشد و توجه جهانی همواره به جایگزینی این منابع پرارزش بوده است.

۱-۷ کاهش هزینه ها و تولید :

میزان مصرف انرژی در پروسه تولید سیمان قابل توجه میباشد. بنابراین کاهش آن ، از طریق جایگزینی سوخت های ضایعاتی ، باعث پائین آمدن هزینه های تولید میگردد. باتوجه به ارزش حرارتی ضایعات مناسب برای سوزاندن در کوره های سیمان و نیز مقایسه با ارزش حرارتی گاز و مازوت ، که بطور معمول استفاده میگردند، امکان کاهش هزینه سوخت با استفاده از سوخت های ضایعاتی کاملاً مشهود است.

۱-۸ استفاده از امکانات موجود :

یکی از مزایای کلیدی استفاده از کوره های سیمان ، افزایش بهره وری از امکانات موجود است که باعث میگردد سرمایه گذاری به میزان قابل توجهی کاهش یابد. ضمن اینکه با استفاده از کوره های سیمان منابع تولید غبار جدید نیز ، ایجاد نمی شود.

۲- سوخت های مناسب برای کوره های سیمان

قابلیت احتراق و ارزش حرارتی ضایعات پارامترهای تعیین کننده جهت مناسب بودن ضایعات بعنوان سوخت جایگزین در کوره های سیمان میباشد. ارزش حرارتی برخی سوخته های ضایعاتی در جدول ۱ ارائه شده است.

نتایج بررسی های انجام شده حاکی بر این است که ضایعاتی بعنوان سوخت مناسب شناخته میشوند که دارای حدود ارزش حرارتی 10'000 Btu/lb تا 6000 (14-23 MJ/Kg) باشند (Peters et al., 1986)

آنچه مسلم است برای کوره های سیمان ضایعاتی که عامل افزایش خوردگی و یا سمی باشند نامناسب می باشد مگر در شرایطی که از قابلیت احتراق و ارزش حرارتی بالائی برخوردار باشند (Mantus 1992).

لذا اگر چه شرایط کوره های سیمان رنج وسیعی از ضایعات را جهت سوزاندن دربر میگیرد ولی برخی به لحاظ محدودیت های پروسی و حتی نظرات عموم، ضعیف و نامناسب محسوب میگردند. مانند فلزاتی چون قلع، آرسینیک، جیوه، کاندیوم و کروم. سطح مجاز مؤلفه ها و پارامترهای مطلوب سوخت های ضایعاتی جهت کوره های سیمان، در جدول ۲ ارائه گردیده است.

نتایج حاصل از برخی تحقیقات انجام شده در مورد سوخته های ضایعاتی در جدول ۳ ارائه گردیده که در این تحقیقات رنج وسیعی از ضایعات مایع و جامد مورد بررسی قرار گرفته (Test Burns) و نتایج ارائه شده است.

جدول ۱

ارزش حرارتی برخی از سوخت های ضایعاتی مناسب برای کوره های سیمان

نوع مواد	میزان ارزش حرارتی MJ/Kg تقریبی
روغن های ضایعاتی	۳۴
لاستیکهای اتومبیل	۲۶ تا ۳۵
پلاستیک	۲۳
حلال ها	۲۲
ضایعات چوب	۱۴
گوشت و چربی حیوانات	۱۷
RDF	۱۵

ارزش حرارتی گاز طبیعی حدود 35 MJ/m^3 و ارزش حرارتی مازوت 40 MJ/Kg میباشد.

جدول ۲

محدوده قابل قبول پارامترهای سوخت ضایعاتی برای کوره های سیمان
(Peters et al. & Vogel et al. 1987)

محدوده قابل قبول	پارامتر
14-23MJ/Kg (6000 to 10;000 btu/lb)	ارزش حرارتی، Heating Valve
۱-۳	سولفور، Sulphur %
۵-۱۲	خاکستر، Ash%
۱-۱۰	آب %
۳-۱۰	کلرین %، Chlorine
۴-۱۱	PH
<۴۰۰۰	Lead (mg/kg) قلع
۱۵۰۰-۳۰۰۰	Chromium (mg/kg) کرم
۱۰۰۰-۳۰۰۰	Zinc (mg/kg) روی
<۳۰۰۰	Barium (mg/kg) باریوم
<۶۰۰۰	Titanium (mg/kg) تیتانیوم
<۱۰	Mercury (mg/kg) جیوه
<۱۰	Arsenic (mg/kg) آرسینک

جدول ۳

نتایج تحقیقاتی پیرامون سوخت های مناسب برای سوزاندن در کوره های سیمان

نوع ضایعات	نام سوخت های ضایعاتی	مراجع	توضیحات
مایع	تینر رنگ-محلولهای شستشو-مواد شیمیایی حاصل از تولید صنایع - شیمیائی و داروئی - محلولهای قابل اشتعال و نیز قابل پمپ	Chadbourn & Freeman 1988	-
مایع	روغنهای ماشینکاری و فلزکاری - خنک کننده ها - محلولهای شستشو در صنایع خودرو سازی و یا کارگاههای رنگ و یا تعمیرگاهها - مواد ضایعاتی صنایع نفت و پتروشیمی	Gabbard & Gossman 1990-1992	-
مایع	قیر - مواد ضد آفت - حشره کشها	Milne el at 1986 - Marcil 1990 - Huden 1989	-
جامد	زباله های شهری و یا بخشی از آنها که ارزش حرارتی بالائی دارند (RDF)	Newmann et al. 1990 - 1992	RDF : Refuse Derive Fuel باتوجه بمیزان کلراین موجود در زباله ها تا حدود ۳۰٪ از سوخت کوره های سیمان را میتواند تأمین نماید . این نوع سوخته های ضایعاتی از ۱۹۷۰ مورد توجه قرار گرفته است
جامد	تایر های فرسوده	Blumenthal 1992	با توجه به مشخصات ترکیبی (کربن و اکسیژن ۸۸٪) سرعت احتراق و ارزش حرارتی بالائی دارد ، ارزش حرارتی لاستیک

MJ/Kg ۳۴۹ حدود			
میزان جیوه عامل محدود کننده میباشد	Orbist & Lang. 1987	لجن های فاضلاب	جامد
SPL : Spent Potlining لایه کربن بین فلز مذاب و دیواره فلزی سل های آلومینیومی - مزیت استفاده ، فلورید موجود است که باعث تسریع در تولید کلینکر در دماهای پائین میگردد، که دارای قلیائیت بیشتری هستند.	Spiegel & pelis 1990	مواد ضایعاتی صنایع تولید آلومینیوم SPL	جامد

۳- آشنایی با تجربیات اجراء شده در سراسر دنیا

موارد اجرا شده طرح استفاده از سوخت های ضایعات در کوره های سیمان، خود حاکی بر مناسب بودن این روش در دستیابی به انرژی موجود در مواد زائدی است که بطور معمول در کشورمان بعنوان یک معضل معرفی میگردد. همانگونه که قبلاً اشاره گردید استفاده از زباله های شهری در کوره های سیمان از سال های ۱۹۷۰ آغاز گردید که تا سال ۲۰۰۰ بالغ بر ۷۰ مورد طرح اجراء شد. در آمریکا، اروپا و آسیا معرفی و ثبت گردیده است.

در جدول ۵ تعدادی از طرحهای اجرا شده سوخت ضایعاتی در کوره های سیمان معرفی شده و متعاقب آن برخی از دست آوردهای بین المللی در زمینه طرحهای اجراء شده سوخت ضایعاتی در صنعت سیمان ذکر گردیده است.

روند تکاملی و مرحله ای استقرار و بهینه سازی سیستم ها و تکنولوژی های بکار برده شد جهت سوخت های ضایعاتی بسیار قابل توجه میباشد.

سرعت رشد استفاده از سوخت های ضایعاتی بیانگر این مطلب است که رقابت بسیار فشرده ای جهت بهره مندی از انرژیهای نهفته ضایعات در مسیر کاهش هزینه ها وجود دارد. البته شاید در حال حاضر در کشور ما ایران قیمت پائین سوخت چندان انگیزه ای برای این سرعت ایجاد ننماید ولی کاهش منابع سوخت فسیلی و افزایش لاعلاج قیمت های سوخت عواملی است که گوی سبقت در فروش نصیب کسانی خواهد شد که در کاهش مصرف انرژی و پائین آوردن قیمت تمام شده تولید پیشرو باشند.

جدول ۴

لیست برخی از طرح های اجراء شده سوخت ضایعات در کوره های سیمان
سراسر دنیا

Client/ Cement Plant	Country	Subject
Moroccan State	Morocco	Pesticides
Sanson	Spain	Waste oil, Hazardous Waste
Milburn	New Zealand	Waste oil
Golden Bay	New Zealand	Automobile tyres
Berrima	Australia	Automobile tyres
Tourah	Egypt	Waste oil, Hazardous Waste
Cemex	Mexico	Hazardous Waste, automobile tyres
Cepsa-Financiera	Spain	Hazardous Waste
Adriasebina	Italy	Hospital waste
Pretoria Portland	South Africa	Household waste, automobile tyres
Valderriva, El Alto	Spain	Automobile tyres, waste oil
Association of Spanish Cement Plants	Spain	Automobile tyres
Italcementi	Italy	Automobile tyres
Akmenes	Lithuania	Waste oil, Hazardous Waste
Tonasa	Indonesia	Hazardous Waste
Aalborg Portland	Denmark	Automobile Tyres, paper sludge, sewage sludge
Danida/ Matola	Mozambique	Pesticides
Genco	Thailand	Hazardous Waste
Jalaprathan	Thailand	Hazardous Waste
Sintef/ Tanga Wazo Hill	Tanzania	Pesticides
Heracles	Greece	RDF, Sewage Sludge, tyres
Titan	Greece	Tyres
Bio Bio	Chile	Hazardous Waste, Agricultural Waste
Alfa	Spain	Tyres
Golden Bay	New Zealand	Wood Waste
Cementir	Italy	RDF

برخی از دست آوردهای بین المللی در زمینه طرحهای اجراء شده سوخت ضایعاتی
در کوره های سیمان

- در میان کشورهای اروپائی فرانسه مدعی است که در استفاده از سوخت های ضایعاتی در کوره های سیمان پیشرو است. کمپانی SCORI (زیرمجموعه Lafarge) که دارای ۱۶ کارخانه سیمان با ۲۲ کوره ، و تولیدی حدود ۶۰۰۰،۰۰۰ تن در سال است تماماً از سوخت ضایعاتی استفاده میکنند درسال ۱۹۹۰ این شرکت بالغ بر ۱،۰۰۰،۰۰۰ تن ضایعات را سوزاند و حدود ۱۰۰،۰۰۰ تن مازوت صرفه جوئی کرد. (Douvre 1992 & Peters, 1990)

- در ارتباط با شرکتهای سیمان آلمان گزارش زیر ارائه گردیده است. (Kirsch 1992)

جمع کل	RDF	روغن ضایعاتی	TDF, Tyers	نوع سوخت ضایعاتی
۴۶۴،۰۰۰	۹۲،۵۰۰	۱۴۱،۵۰۰	۲۳۰،۰۰۰	میزان مصرف در سال ۱۹۹۲ tones/year
۴۲۰،۰۰۰	۵۱،۰۰۰	۱۵۵،۵۰۰	۲۱۳،۵۰۰	میزان صرفه جوئی در سوخت (ذغال سنگ) ton/Year

برطبق گزارشات بدست آمده ۱/۶ کل سوخت لازم در صنعت سیمان آلمان توسط سوخت های ضایعاتی تأمین می گردد که نیمی از آن لاستیک است.

در کشور سوئیس موارد ذیل گزارش شده است (Obrist 1992)

تا سال ۱۹۸۰ صرفاً و بطور محدود روغنهای ضایعاتی در کارخانجات سیمان سوئیس استفاده میشد آزمایش استفاده از لجن های فاضلاب تأثیر بسزائی در روند رشد استفاده از سوخت های ضایعاتی دیگر در کارخانجات سیمان این کشور گذاشت که گزارش نتیجه روند آن تا سال ۲۰۰۰ در جدول ذیل آورده شده است.

استفاده از سوخت های ضایعات در سویس

نام شرکت سیمان	نوع ضایعات استفاده شده	میزان ضایعات tpy	میزان جایگزینی
Bundner	Waste Oil	15000	28%
Cement werke	Sewage Sludge	21000	0.6%
Vigier Cement	Waste Oil & Spent Solvents	25000 5450	54% 9%
Cements of Betons	TDF RDF	7200 3000	11% 3.9%
Jura cement	TDF	5300	11%

- در ارتباط با نروژ گزارش NORCEM 1992 ، به شرح ذیل است :

شرکت NORCEM در سال 1992 یک تکنولوژی ابداعی در جهت کاهش هزینه های سوخت جهت بهره مندی از سوخت های مایع ضایعاتی بعنوان سوخت مکمل در کوره های سیمان بکار گرفت که باعث کاهش هزینه سوخت به میزان ۴۸٪ گردید.

تجربه این شرکت بیانگر بازگشت سرمایه گذاری در طی مدت یکسال است. استفاده از سوخت های ضایعاتی در این شرکت از سال ۱۹۸۷ آغاز گردیده است. که روزانه ۲۱۰۰ تا ۳۸۰۰ دلار ذخیره سوخت به واسطه استفاده از سوخت های ضایعاتی گزارش شده است.

در این پروژه مبلغ 50\$ بازای هر تن زباله دریافتی کارخانه بابت سوزاندن ضایعات در کوره های سیمان است.

- در کشورهای آسیائی در ارتباط با استفاده از سوخت های ضایعاتی در کشور ژاپن گزارش ذیل ارائه شده است:

استفاده از سوخت های ضایعاتی در کشور ژاپن

نام شرکت	نوع ضایعات استفاده شده
Tosoh Corp	TDF
Mitsubishi Corp	TDF , Slug
Tokuyama Soda	TDF , Slug
Nihon Cement	TDF
Onoda Cement	TDF , Waste oil , Slug

طبق گزارشات ارائه شده ۱۳۷٫۰۰۰ تن لاستیک (TDF) به میزان ۱۸٪ کل لاستیکهای فرسوده ژاپن در کارخانجات سیمان مصرف میگردد.

گزارشی از شرکت سیمان Calaveras در کالیفرنیا – آمریکا (Siemering 1991)

این شرکت Calaveras ، سوخت های ضایعاتی متنوعی را شامل چوبهای ضایعاتی و TDF مورد استفاده قرار داده است. این شرکت تجربه خود را ، در این زمینه با استفاده از TDF در سال 83-1982 شروع کرد و تا سال 1986 جایگزین سوخت کارخانه را با TDF به حد 5% رساند.

در سال 1988 ، با تکمیل تجهیزات ، میزان جایگزینی TDF را تا حدود ۱۴٪ و در سال 1990 به ۲۰٪ افزایش داد.

سیستمی که توسط این شرکت استفاده شده بسیار ساده بود شامل یک هاپر تغذیه ، به همراه اسکروی دور متغیر، تسمه نقاله ، و الواتور کاسه ای ، الواتور منتهی به لوله ای میشد که TDF را وارد لوله عمودی تزریق به کوره می نمود. TDF به صورت خرد شده مورد استفاده قرار میگرفت که در سال 1991 شرکت اقدام به نصب سیستمی نمود که لاستیک بطور کامل مورد استفاده قرار گرفت.

۴- ملزومات پیاده سازی طرح مدیریت ضایعات در کوره های سیمان:

باتوجه به اینکه اجرای طرح استفاده از سوخت های ضایعاتی در کوره های سیمان، بستگی به شرایط کارخانه (تولید)، نوع ضایعات و چگونگی تأمین آن و همچنین هماهنگی با ارگانهای قانون گذار در هر منطقه دارد و نیز از طرفی ابهامات موجود در این زمینه ، از جانب صاحبان صنعت (مجریان طرح) به لحاظ فنی و اقتصادی و تأثیرات زیست محیطی می بایست مرتفع گردد، لذا تا قبل از اقدام به اجرای پروژه ، امکان سنجی طرح مربوطه ، مشتمل بر موارد ذیل میبایست تهیه گردد.

۴-۱ نتایج هماهنگی با مراکز قانون گذاری مربوطه :

- سازمان محیط زیست
- سازمان باز یافت
- شهرداری های منطقه

۴-۲ ارزیابی ضایعات :

- مشخص کردن منابع ضایعات موجود
- مشخص کردن مقدار و نوع ضایعات موجود و قابل دسترس
- تعیین مشخصات فیزیکی و شیمیائی ضایعات مورد نظر
- تعیین نوع ضایعات مناسب
- تعیین روشهای جاری امحاء و هزینه های مربوطه

۴-۳ تعیین جزئیات فنی و مهندسی طرح :

- انجام آزمایشات و بررسی نتایج سوزاندن ضایعات مورد نظر از لحاظ پایداری خط، کیفیت کلینکر ، ظرفیت کوره و

پارامترهای گاز خروجی دودکش

- تهیه طرح مقدماتی شامل:

تعیین مشخصات تجهیزات مورد نیاز (Sizing & Spec.)

تهیه فلوشیت اولیه و بالانس مواد و انرژی (PFD , Mass Balance Energy Balance)

تعیین احداث واحدهای مورد نیاز

۴-۴ برآورد کل هزینه های اجرا و بهره برداری طرح

۴-۵ محاسبه بازگشت سرمایه

۴-۶ ارزیابی پیامدهای اجتماعی

همانگونه که در بخش آشنائی با تجربیات اجراء شده ذکر گردید ، طرح استفاده از سوخت های ضایعاتی عموماً مرحله ای اجراء میگردد بدین مفهوم که با اجراء طرحی ساده ، پروژه آغاز شده و سپس تکمیل میگردد با این روش ضمن بررسی شرایط عملی واطمینان از موفقیت طرح زمینه های توسعه پروژه فراهم خواهد شد.

منابع :

- Word Cement March 2003
- Cement Review Feb. 2000
- Test Burns Reports & Thesis
Griffith University – Australia
Faculty of Environmental Science
- Co-processing of Waste, FLS Report