انرژی و محیط زیست درصنعت سیمان

مهرداد کریمی [1]، سید محمد افسریان [2] ،حسن جهان زاد ه [3]

[1]استادیـــــــار دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز

[2]مربی آموزشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز

[3]مربی آموزشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز

چکیده :

بخش صنعت بخصوص صنعت سیمان از جمله بخشهای عمده مصرف کننـــده انـــرژی پس از بخشهای خانگی ، تجاری وحمل ونقل می باشد . جهانی شدن صنعت سیمان نیز روند پرشتاب خود را ادامه می دهد و بعنوان عامل مهم درتامین مواد اولیه ســاختمانی محــسوب می گردد. مصرف زیاد سوختهای فسیلی جامد ، مــایع و گــاز درکارخانجــات ایــن بخــش و همچنین درنیروگاهها جهت تامین برق مورد نیاز کارخانه های سیمان علاوه برپرهزینه شدن تولید ،درایجاد آلاینده های مختلف همچــون CO2 و NOX ، فلــزات ســنگین و ... نقــش مهمی را ایفا خواهد نمود . میزان انتشار این آلاینده ها کــه حاصــل ســوختن ، ســوختهای فسیلی است ، درمحیط زیاد بوده و اثرات زیست محیطی زیانباری را ازجمله آثار گلخانه ای ، بارانهای اسیدی و مرگ و میر انسانها و سایر موجودات و غیره را به همراه خواهد داشــت . به همین علت توجه به امر محیط زیست درکل دنیا مورد اهمیت قرار گرفته وبرای جلوگیری ازانتشار اینگونه آلاینده ها درمحیط و کاهش آنها ، راهکارهای مختلفــی از ســوی صــاحب نظران ارائه واجرا گردیده است . دراین رابطــه دروهلــه اول بــا اقــداماتی همچــون تجهیــز کارخانجات سیمان به تکنولوژی روز دنیا درکاهش آلاینده ها قدمی برداشته شده وسپس با صرفه جویی و ممیزی کردن سوختهای فسیلی ، استفاده از سوختهای فسیلی با آلاینــدگی کمتر و در نهایت جایگزینی این سوختها با سوختهای ضایعاتی که اثــرات آلاینــدگی کمتــر دارند و کم هزینه تر می باشند ، درکاهش این معضل اقدام بسزایی نموده اند .

واژه های کلیدی : انرژی ، محیط زیست ، سیمان ، آلاینده ها ، سوخت

مقدمه :

امروزه یکی از چالش های اصلی ، ضروری ، پیچیده و همه جانبه درجامعه جهـانی از بحث انرژی برای توسعه پایدار ، توسعه صنعتی ، آلودگی هـوای جـو و تغییـرات آب و هـوا نشات می گیرد این موارد برتمامی بخشهای اقتصادی ، فعالیتهای اجتماعی ، سلامت جوامع بشری و کره زمین درابعاد محلی، منطقه ای و جهانی تاثیر می گذارد .

کمبود و عدم دسترسی به خدمات انرژی مدرن ، زیر ساختارهای ضـعیف و کمبـود ظرفیتهای نهادی و انسانی ، علاوه بردسترسی محدود به فن آوریهای نـوین و منـابع مـالی کافی موجب ممانعت از توسعه صنعتی دربسیاری از کشورهای درحال توسعه شـده اسـت . دردستیابی به توسعه پایدار ،لزوم افزایش پایداری و قابل پیش بینی بودن بازارهای جهـانی انرژی ، بهبود فضای سرمایه گذاری دربخش انرژی شامل توسعه زیرسـاخت هـای انـرژی ، بهبود راندمان انرژی و صرفه جویی انرژی ، تنوع منابع انرژی و کاهش فقر انـرژی غیرقابـل انکار می باشد .

درروند حرکت جانی به سوی توسعه پایدار ، توجه به آسیب هـای زیـست محیطـی ناشی از بخش انرژی ، امری ضروری محسوب می گردد . دراین راستا ، توجه به میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه ای ناشی از بخشهای مختلف انرژی از منظر اثرات محلـی ، منطقـه ای و جهانی آن از اهمیت بسزایی برخوردار است و میزان انتشار گازهای آلاینـده و گلخانـه ای (CO2 ، CO ، SO2 ، SO3 ، NOX ، SPM ، CH) ناشـی از مـصرف سـوختهای مختلف دربخش صنایع سیمان دربخش تراز انرژی ومحیط زیست ملی بررسی می گردد .

سهم انرژی درصنعت سیمان

کارخانجات سیمان یکی از انواع مختلف کارخانجات دربخش صنعت می باشند که سهم زیادی از مصرف انرژی را دردنیا بخود اختصاص داده اند جدول شماره ۱ و ۲ به معرفی برخی از منابع انرژی بر، به همراه صنعت سیمان درکشور و میزان مصرف انرژی درآنهاپرداخته است . همانگونه که ملاحظه می گردد کارخانجات سیمان از پرمصرف ترین کارخانه های بخش صنعت محسوب می گردند .

(جدول ۱): مصر ف فرآورده های نفتی و گاز طبیعی دربرخی از کارخانجات درسال ۱۳۸۴

(متر مکعب معادل نفت کوره)

صنعت	تعداد کارخانه‌ها	گاز مایع		نفت سفید		نفت گاز	
		مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد
آجر	۱۰۳۲	--	--	۷/۵	۰/۰۳	۳۸۲۴۹/۰	۵/۷۵
کاشی و سرامیک و چینی	۱۰۰	۱۰۴۰۲۹/۳	۹۱/۴۲	--	--	۱۶۰۱۲/۷	۲/۴۱
آسفالت	۴۴	--	--	۲۷۶۴/۳	۱۱/۲۰	۲۳۴۸۹/۱	۳/۵۳
شیشه	۴۷	۱۶۷۲/۲	۱/۴۷	--	--	۸۷۷۸/۷	۱/۳۲
سیمان	۴۱	--	--	۵۷/۵	۰/۲۳	۲۰۴۶۱/۱	۳/۰۸
گچ و آهک	۱۲۲	--	--	۲۵/۰	۰/۱۰	۹۹۸۴/۶	۱/۵۰
آلومینیوم	۶	--	--	--	--	۱۳۸۴/۵	۰/۲۱
آهن و فولاد	۶۰	۷۶۸۸/۴	۶/۷۶	۱۴۶/۳	۰/۵۹	۵۴۷۶۴/۴	۸/۲۴
سرب و روی	۱۱	۱۹/۷	۰/۰۲	۱۷۳۷/۶	۷/۰۴	۲۴۴۷۸/۰	۳/۶۸
مس	۶	--	--	--	--	--	--
پالایشگاه	۴۹[۲]	--	--	--	--	۸۴۱۱۵/۳	۱۲/۶۶
پتروشیمی	۱۴	--	--	۱۵/۰	۰/۰۶	۱۶۰۸۸/۸	۲/۴۲
صنایع غذایی	۲۱۲	--	--	--	--	۶۰۵۵۴/۴	۹/۱۱
تجهیزات	۱۰۶	--	--	--	--	۲۰۴۷۰/۷	۳/۰۸
چوب و کاغذ	۴۸	--	--	--	--	۲۵۲۱۴/۹	۳/۷۹
شیمیایی	۱۰۸	--	--	۱۸۰۲۳/۴	۷۳/۰۰	۴۳۵۶۱/۶	۶/۵۵
معدن	۴۷	۲۸/۹	۰/۰۳	۱۸۷۰/۹	۷/۵۸	۱۲۵۶۲۸/۶	۱۸/۹۰
نساجی	۱۱۴	۳۳۳/۵	۰/۲۹	۱۰/۰	۰/۰۴	۳۵۷۶۷/۵	۵/۳۸
متفرقه[۳]	۱۲۲	۲۱/۷	۰/۰۲	۳۳/۳	۰/۱۴	۵۵۶۳۰/۰	۸/۳۷
جمع	**۲۲۸۹**	**۱۱۳۷۹۳/۷**	**۱۰۰/۰۰**	**۲۴۶۹۰/۸**	**۱۰۰/۰۰**	**۶۶۴۶۳۳/۸**	**۱۰۰/۰۰**
ارزش داخلی (میلیون ریال)	--	**۵۶۴۰/۲**	--	**۴۷۴۰/۴**	--	**۱۲۱۵۱۱/۸**	--
ارزش خارجی (میلیون ریال)	--	**۴۰۱۰۷۲/۰**	--	**۱۱۵۲۰۲/۴**	--	**۱۶۰۶۵۵۳/۶**	--

(جدول ۱): مصرف فرآورده های نفتی و گاز طبیعی دربرخی ازکارخانجات درسال ۱۳۸۴ ...

ادامه

(مترمکعب معادل نفت کوره)

صنعت	نفت کوره		گازطبیعی		جمع	
	مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد
آجر	۱۷۵۴۹۷۳/۰	۴۲/۰۹	۶۲۱۱۴۸/۲	۳/۲۵	۲۴۱۴۳۷۷/۷	۱۰/۰۳
کاشی و سرامیک و چینی	۲۷۸۲/۰	۰/۰۷	۴۰۴۳۷۵/۲	۲/۱۲	۵۲۷۱۹۹/۲	۲/۱۹
آسفالت	۲۷۵۰۶/۰	۰/۶۶	۱۳۰۶۴/۲	۰/۰۷	۶۶۸۲۳/۶	۰/۲۸
شیشه	۱۸۲۱۰/۵	۰/۴۴	۴۸۷۶۱۰/۷	۲/۵۵	۵۱۶۲۷۲/۱	۲/۱۴
سیمان	۹۳۹۳۳۶/۵	۲۲/۵۳	۱۶۴۲۲۱۶/۶	۸/۶۰	۲۶۰۲۰۷۱/۷	۱۰/۸۱
گچ و آهک	۳۵۶۰۲۳/۵	۸/۵۴	۳۳۰۴۰/۷	۰/۱۷	۳۹۹۰۷۳/۸	۱/۶۶
آلومینیوم	۱۱۹۰/۰	۰/۰۳	۱۹۸۶۵/۷	۰/۱۰	۲۲۴۴۰/۲	۰/۰۹
آهن و فولاد	۱۲۲۳۹۸/۰	۲/۹۴	۴۰۴۶۶۳۷/۷	۲۱/۱۹	۴۲۳۱۶۳۴/۷	۱۷/۵۸
سرب و روی	۲۹۱۶۳/۰	۰/۷۰	۶۵۰۸/۱	۰/۰۳	۶۱۹۰۶/۴	۰/۲۶
مس	۱۸۱۲۲/۰	۰/۴۳	۲۵۲۶۰۴/۸	۱/۳۲	۲۷۰۷۲۶/۸	۱/۱۲
پالایشگاه	۶۹۷۳۵/۰	۱/۶۷	۴۰۸۹۱۰۴/۶	۲۱/۴۱	۴۲۴۲۹۵۵/۰	۱۷/۶۳
پتروشیمی	۹۳۶۰/۰	۰/۲۲	۳۷۶۱۷۰۲/۶	۱۹/۶۹	۳۷۸۷۱۶۶/۵	۱۵/۷۳
صنایع غذایی	۴۳۴۵۱۱/۰	۱۰/۴۲	۹۲۵۶۱۱/۷	۴/۸۵	۱۴۲۰۶۷۷/۲	۵/۹۰
تجهیزات	۱۸۱۸۷/۰	۰/۴۴	۴۶۳۳۷۴/۴	۲/۴۳	۵۰۲۰۳۲/۱	۲/۰۹
چوب و کاغذ	۳۴۵۴۸/۰	۰/۸۳	۱۸۲۱۳۰/۲	۰/۹۵	۲۴۱۸۹۳/۱	۱/۰۰
شیمیایی	۱۴۱۵۵۸/۰	۳/۴۰	۶۶۳۳۲۲/۸	۳/۴۷	۸۶۶۴۶۵/۸	۳/۶۰
معدن	۵۷۹۹۸/۰	۱/۳۹	۶۸۷۳۹/۳	۰/۳۶	۲۵۴۲۶۵/۷	۱/۰۶
نساجی	۸۴۵۶۱/۰	۲/۰۳	۲۹۱۳۰۴/۴	۱/۵۳	۴۱۱۹۷۶/۴	۱/۷۱
متفرقه [۳]	۴۹۴۰۱/۵	۱/۱۸	۱۱۲۷۵۷۱/۱	۵/۹۰	۱۲۳۲۶۵۷/۶	۵/۱۲
جمع	**۴۱۶۹۵۶۴/۰**	**۱۰۰/۰۰**	**۱۹۰۹۹۹۳۳/۲**	**۱۰۰/۰۰**	**۲۴۰۷۲۶۱۵/۶**	**۱۰۰/۰۰**
ارزش داخلی (میلیون ریال)	**۳۳۴۳۹۹/۰**	--	**۳۰۱۱۷۸۸/۵**	--	**۳۴۷۸۰۷۹/۹**	--
ارزش خارجی (میلیون ریال)	**۱۵۲۸۷۵۳۹/۶**	--	**۹۷۸۵۵۹۴/۴**	--	**۲۷۱۹۵۹۶۲/۱**	--

(جدول ۲): سهم مصرف فرآورده های نفتی و گاز طبیعی از کل مصرف سوختهای فسیلی دربرخی از کارخانجات درسال ۱۳۸۴ .

درصد

صنعت	گازمایع	نفت سفید	نفت گاز	نفت کوره	گازطبیعی	جمع
آجر	--	*	۱/۵۸	۷۲/۶۹	۲۵/۷۳	۱۰۰/۰۰
کاشی و سرامیک و چینی	۱۹/۷۳	--	۳/۰۴	۰/۵۳	۷۶/۷۰	۱۰۰/۰۰
آسفالت	--	۴/۱۴	۳۵/۱۵	۴۱/۱۶	۱۹/۵۵	۱۰۰/۰۰
شیشه	۰/۳۲	--	۱/۷۰	۳/۵۳	۹۴/۴۵	۱۰۰/۰۰
سیمان	--	*	۰/۷۹	۳۶/۱۰	۶۳/۱۱	۱۰۰/۰۰
گچ و آهک	--	۰/۰۱	۲/۵۰	۸۹/۲۱	۸/۲۸	۱۰۰/۰۰
آلومینیوم	--	--	۶/۱۷	۵/۳۰	۸۸/۵۳	۱۰۰/۰۰
آهن و فولاد	۰/۱۸	*	۱/۲۹	۲/۸۹	۹۵/۶۳	۱۰۰/۰۰
سرب و روی	۰/۰۳	۲/۸۱	۳۹/۵۴	۴۷/۱۱	۱۰/۵۱	۱۰۰/۰۰
مس	--	--	--	۶/۶۹	۹۳/۳۱	۱۰۰/۰۰
پالایشگاه	--	--	۱/۹۸	۱/۶۴	۹۶/۳۷	۱۰۰/۰۰
پتروشیمی	--	*	۰/۴۲	۰/۲۵	۹۹/۳۳	۱۰۰/۰۰
صنایع غذایی	--	--	۴/۲۶	۳۰/۵۸	۶۵/۱۵	۱۰۰/۰۰
تجهیزات	--	--	۴/۰۸	۳/۶۲	۹۲/۳۰	۱۰۰/۰۰
چوب و کاغذ	--	--	۱۰/۴۲	۱۴/۲۸	۷۵/۲۹	۱۰۰/۰۰
شیمیایی	--	۲/۰۸	۵/۰۳	۱۶/۳۴	۷۶/۵۵	۱۰۰/۰۰
معدن	۰/۰۱	۰/۷۴	۴۹/۴۱	۲۲/۸۱	۲۷/۰۳	۱۰۰/۰۰
نساجی	۰/۰۸	*	۸/۶۸	۲۰/۵۳	۷۰/۷۱	۱۰۰/۰۰
متفرقه	*	*	۴/۵۱	۴/۰۱	۹۱/۴۷	۱۰۰/۰۰
جمع	**۰/۴۷**	**۰/۱۰**	**۲/۷۶**	**۱۷/۳۲**	**۷۹/۳۴**	**۱۰۰/۰۰**

منابع تامین انرژی برای کارخانه سیمان

مواد سوختنی که برای کارخانه سیمان سوزانده می شوند، فراوان هستند و اصولاً با توجه به شرایط فیزیکی سوختها تقسیم بندی می گردند. سوختها ممکن است جامد – مایع وگاز می باشند . که به توضیح مختصری دراین رابطه می پردازیم .براساس تقسیم بندی دیگر ، سوختها را می توان به دو نوع اولیه و ثانویه (ضایعاتی) تفکیک نمود .

سوختهای اولیه (فسیلی) :سوختهای اولیه مهمترین وعمده ترین منبع تامین انرژی کارخانجات دنیا بخصوص بخش سیمان می باشند که شامل انواع زغال سنگها ، نفت کوره ، مازوت ، نفت سفید و گاز طبیعی است .درایران به دلیل وفور مواد نفتی ،از سوخت مایع (نفت کوره) وسوخت گاز طبیعی تصفیه شده استفاده می گردد . درکشورهای اروپایی نیز بدلیل وفور معادن زغال سنگ اصولا زغال سنگ وکک مصرف عام داشته ولی از مخلوط دونوع سوخت مثلا سوخت گاز ومایع نیز استفاده می گردد .

سوختهای ثانویه : سوختهای ثانویه یا جایگزین به سوختهایی گفته می شود که دربازارهای معمول داد و ستد نمی شود . این سوختها در حقیقت مواد باقیمانده ودوریز کارخانجات ، حتی کارخانه سیمان ، نیروگاهها، ضایعات و پسماندهای شهری و ... می باشند .

این سوختها ازلحاظ ارزش حرارتی هم ارز سوختهای اولیه بوده و درعین حال میزان آلایندگی ناشی ازآنها کمتر است .درجدول شماره ۳ لیستی ازسوختهای جایگزین ،مقایسه و میزان ارزش حرارتی هرکدام با سوختهای اولیه آورده شده است .

(جدول ۳): ارزش حرارتی سوختهای جایگزین و معمول (موارد خط کشی شده سوختهای معمول می باشند).

سوخت	ارزش حرارتی خالص (MJ/kg)
پلی اتیلن خالص	۴۶
نفت سبک	۴۲
نفت سنگین	۴۰
قیر (محصول جانبی)	۳۸
لاستیک خالص (بدون مواد پرکننده)	۳۶
زغال سنگ (آنتراسیت)	۳۴
فلز آلومینیم	۳۱
روغنهای ضایعاتی و ضایعات مختلف پالایشگاه	۳۰ تا ۴۰
کک نفتی	۳۳
تایرهای ضایعاتی	۲۸ تا ۳۲
زغال بیتومن (خاکستر کم)	۲۹
زغال بیتومن (خاکستر زیاد)	۲۴
مخلوطهای مایع	۲۰ تا ۳۰
گاز طبیعی	۱۶ تا (۳۰MJ/Nm^3)
لجن اسیدی، قیر اسیدی (حاصل از فرآیندهای نفتی)	۱۶ تا ۳۲
زغال سنگ قهوه‌ای (لیگنیت با ۱۰ درصد رطوبت)	۱۶ تا ۲۱
لایهٔ پاتیلهای ذوب آلومینیم	۲۰
پی وی سی	۱۹
پوست خرما (با ۱۰ درصد رطوبت)	۱۹
کیک پرس کردن زیتون	۱۸
چوب خشک، پوست درخت و پوکهٔ چوب (با ۱۰ درصد رطوبت)	۱۶
سبوس برنج (با ۱۰ درصد رطوبت)	۱۶
ضایعات اتومبیل مستعمل	۱۵
ضایعات خانگی (با ۱۰ درصد رطوبت)	۱۵
کود حیوانات	۱۵
ضایعات کاغذی	۱۵
پوکهٔ اره کشی چوب با رطوبت ۲۵ درصد	۱۰ تا ۱۲
لجن فاضلاب خشک با ۱۰ درصد رطوبت	۱۰
ضایعات حاصل از خالص سازی نفت خام	۱۰
ضایعات خانگی (با ۳۰ درصد رطوبت)	۸/۵
لجن خشک فاضلاب (با ۳۰ درصد رطوبت)	۷/۵
آهن خالص	۷/۵

آلودگیهای صنعت سیمان

تولید سیمان بطور غیر قابل اجتناب یک فرایند آلوده کننده محیط زیست است. آلودگیهای اصلی شامل دی اکسید کربن (CO_2)، دی اکسید سولفور (SO_2) ، اکسیدهای ازت (NO_X) ، مونواکسید کربن (CO) ، و هیدروکربن های سوخته ، فلزات سنگین ، ترکیبات آلی (ازقبیل دی اکسین ها و فورانها ، گردو غبارهای خروجی از دودکشها ، هالوژنه ها ، سروصدا ، آب ریزشها و ضایعات تولیدی مثل آجرهای مستعمل و غبار کوره می باشد . درذیل به توضیح مهمترین آنها خواهیم پرداخت :

الف) دی اکسید کربن :

مصرف بی رویه انرژی درجها ن یکی از بزرگترین موارد آلودگی درجهان می باشد . تولید انرژی الکتریکی درنیروگاههای با سوخت فسیلی علاوه برمصرف منبع غیر قابل بازیافت نفت و آب ، باعث افزایش گونه های مختلف آلایندگی بخصوص CO_2 و مصرف اکسیژن هوا می گردد. CO_2 حاصل ازصنایع سیمان مربوط به احتراق سوختهای فسیلی وفرایند کلسینه شدن سنگ آهک موجود درمخلوط مواد خام می باشد

سوختهای فسیلی نیز، برای تولید جریان الکتریسیته مورد نیاز مصرف مـی شـوند . تقریباً نیمی از CO_2 تولیدی حاصل از سوخت و نیمی دیگر حاصل تبـدیل مـواد خـام بـه کلینکر است . تقریباً تمام سوخت درفرایند پخت کلینکر مصرف می گـردد انـرژی حـرارت مصرفی برای تولید یک کیلوگرم کلینکر درحدود KJ ۳۳۵۰ می باشد بـه ازاء هرکیلـوگرم زغالسنگ حدود kg ۳۳۴/.، co2 تولید می شود و از طرف دیگر کلسیناکسیون نیز برابر kg ۵۳۸ /. ، co2 درازاء یک کیلوگرم کلینکر ، دی اکسید کربن ایجاد مـی نمایـد . یعنـی اگـر تولید کل دی اکسید کربن ۸۷۲/.باشد ۶۲/. آن از سنگ آهک و ۳۸/. آن از سوخت حاصـل می شود . نکته قابل ملاحظه دررابطه با تولید CO_2 آن است کـه درمـواقعی کـه سـوخت مازوک مصرف می شود CO_2 تولیدی نیز بیشتر می شـود و ایـن بـدلیل ویژگـی سـوخت مازوت (سوختهای کربن بالا) می باشد با توجه بـه آنـالیز گـاز خروجـی مـشخص شـده ، درحالت استفاده از مازوت ۱۳/۸۲ درصـد ازگـاز خروجـی را CO_2 تـشکیل میدهـد ولـی درحالت استفاده از گاز طبیعی این مقدارتنها ۹/۹۹ درصد است .

آثاوزیان بخش ناشی از دی اکسید کربن

این گاز بعنوان مهمترین گاز گلخانه ای باعث اثرات گلخانه ای درجـو و گـرم شـدن زمین می شود . آثار زیان بخش این پدیده درتغییر اقلیم ، پدیده های جوی مخرب وتغییـر شدیددرپایداری آب و هوا همچون جریانهای باد و طوفان و بارندگیهای نامتناسب ، زیـر آب رفتن سواحل و زمینهای کشاورزی ، رعد و برق و گرد باد ، افزایش میزان بیابانهـا ، کـاهش محصولات کشاورزی ، تغییر اکوسیستم و رشد طبیعی نباتات را می توان نام برد .

روشهای کاهش انتشار دی اکسید کربن

بدون شک یکی از عوامل مورد توجه درصنعت سیمان درقرن جدید کـاهش مقـدر دی اکسید کربن تولید شده می باشد . و درحقیقت هرتغییـری کـه باعـث کـاهش مـصرف سوخت شود انتشار CO_2 را نیز کاهش خواهد داد . امـروزه بـرای ایـن منظـور روشـهای گوناگونی وجود دارد ،که درذیل به ذکر چندین مورد ازآنها پرداخته ایم .

- تبدیل فرایندتر به فرایند خشک که منجربه کاهش مصرف انرژی حرارتی می شود .
- بکار گیری ژنراتور برق کارخانه دربدست آوردن انـرژی از حـرارت تلـف شـده و کـاهش مصرف سوختهای فسیلی .

- کاهش اتلاف حرارتی گاز خروجی با توسعه دوباره پیش گرمکن مـواد خـام ، خنـک کـن کلینکر و بهسازی شیرهای آب بندی و کانالهای ورودی ولوله های خروجی جریـان گـاز بـه سیکلونها

- استفاده از مواد با کربنات کمتر و یا مواد خام غیر کربناتی بجای سنگ آهک

- بهینه سازی کولر برای بهبود و استفاده دوباره از حرارت و افزایش دمای هوای ثانویه

- استفاده از مواد افزودنی

- استفاده از سوختهای ثانویه

- استفاده از سوختهای با کربن پایین ، بجای سوختهای با کربن بالا

- استفاده از سیستم های جدید خردایش

- کاهش و صرفه جویی درمصرف انرژی

- بهبود راندمان مصرف انرژی درفرایند

- استفاده از فرایند های باراندمان مصرف انرژی بالاتر

- بکارگیری نسبت کلینکر به سیمان پایین

- بکارگیری پلیمر های معدنی

-جدا سازی CO_2 ازگازهای دودکش

- جنگل کاری وایجاد فضای سبز

- استفاده از تکنولوژی های مختلف (جدول شماره ۴ روند پیـشرفت تکنولوژیهـای تولیـد سیمان و تاثیرات آن را درکاهش هزینه و آلاینده ها نشان داده است)

(جدول ۴): روند پیشرفت تکنولوژی های تولید سیمان

نوع سیستم	سال	کارآیی حرارتی ($kcal/kg_{clin}$)	هزینه‌های انرژی حرارتی ($US\$/ton_{clin}$)	انتشار CO_2 (kg/ton_{clin})
کوره‌های شفتی	۱۸۸۰	۳۰۰۰	۴۰	۱۹۰۰
کوره‌های دوار اولیه	۱۹۰۰	۲۵۰۰	۳۳	۱۵۸۳
کوره‌های دوار تر بهبود یافته	۱۹۴۰	۱۵۰۰	۲۰	۹۵۰
کوره‌های تر مدرن	۱۹۵۵	۱۳۰۰	۱۷	۸۲۳
کوره‌های خشک بلند	۱۹۷۰	۱۰۵۰	۱۴	۶۶۵
کوره‌های مجهز به پیش‌گرمکن	۱۹۷۵	۸۵۰	۱۱	۵۳۸
کوره‌های مجهز به پری‌کلساینر	۱۹۸۰	۸۰۰	۱۱	۵۰۷
کوره‌های مجهز به پری‌کلساینر با استفاده از ۴۰ درصد سوخت ضایعاتی	۱۹۹۵	۷۵۰	۶	۳۸۰
کوره‌های مجهز به پری‌کلساینر با استفاده از ۷۰ درصد سوخت ضایعاتی	۲۰۰۰	۷۲۵	۳	۲۹۸

ب) دی اکسید گوگرد

منشأ و میزان SO2 وابسته به ، نوع پیوند گوگرد با مواد خام می باشد . اساسا SO2 درفرایند تولید سیمان از دو منبع ، ترکیبات سولفاتی ومواد آلی و معدنی فرار حاوی گوگرد نتیجه می شود منشاSO2 گازهای کوره ، سوخت و مواد اولیه است. همچنین انتشار آن درکارخانجات سیمان باافزایش میزان گوگرد درمواد خام یا سوخت افزایش می یابد .

درطی سولفوریزه شدن مجدد گوگرد درصنعت سیمان ، سولفور با قلیاییها و آهک وارد واکنش شده و بصورت سولفاتهای قلیایی و آهکی درداخل کلینکر بدام می افتد . بطور کلی می توان گفت که حدوداً ۷۰ تا ۹۰ درصد از سولفورها بدین صورت درکلینکر بدام می افتند وبقیه همراه با گازهای خروجی از دودکش وارد محیط می شوند . انتشار SO2 ازیک کارخانه سیمان بستگی به عواملی همچون نوع کوره ، کیفیت ماده خام وسوخت ، شرایط بهره برداری از کوره و سیستم آسیاب ، اقدامات کاهش دهنده ثانویه برای پایین آوردن SO2 ، مقدار وشکل گوگرد درمواد خام وسوخت دارد

آثارزیان بخش ناشی از دی اکسید گوگرد :

کل SO2 منتشره توسط صنایع سیمان کمتر ازیک درصد مقدار کلی انتشارآن درکل جهان ارزیابی می گردد . SO2 معمولا درانسان وحیوانات منجر به ناراحتی و آسیب

غشاء مرطوب، بدلیل تشکیل اسید سولفور می گردد . ایـن گـاز درغلظتهـای زیـاد سـبب اسپاسم برونشیتی می شود . محدوده SO2 درهوا بین PPM ۲/۵ تا ۳ /. بوده درحالی کـه حداکثر غلظت آن درمحیط کارخانه درحد ppm ۵ تعیین شده است غلظت ppm ۲ تـا ۱ از SO2 تنهابرای چند ساعت باعث مرگ نسوج گیاهان و اضـلال درفتوسـنتز درجـو زمـین هنگام وارونگی هوا، باعث ایجاد مشکلات غیر عادی وصدمات جانی می گردد .

از جمله صدمات دیگر SO2 ایجاد بارانهای اسیدی و اثـرات خـوردگی ناشـی از آن ،آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی می باشد . تبدیل SO2 به اسید سولفوریک نیـز سـبب تاثیرات شدیدی برچشمها ، غشاء مخاط و پوست حتی درغلضتهای پایین می شود . تـنفس بخارات اسید سولفوریک منجربه سوختن سطح مخاط بینی ، حلق و سطوح تنفـسی شـده وسرفه های شدیدی را درپی دارد . نفوذ این اسید درآب برای جلبکهـا و ماهیهـا خطرنـاک است .

روشهای کاهش انتشار SO2

برای کاهش انتشار آلودگی SO2 حاصل از یک سیستم پخت سیمان تا یـک سـطح کنترل شده معین ، سه روش عمده مختلف وجود دارد :

۱- تثبیت فرایندهای موجود بطوری که سبب کاهش گوگرد ورودی به سیستم شود

۲- اصلاح فرایند وجود (کاهش اولیه)

۳- تثبیت فرایند موجود با افزودن یک واحد تمیز کننده گاز جداگانه برای گازهای خروجی(کاهش ثانویه)

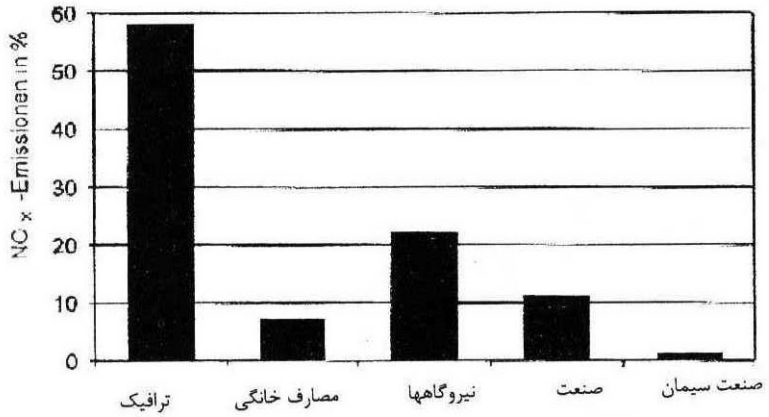
تزریق آهک هیدراته به کانال بالا برنده گاز پیش گرمکن درکارخانه سیمان منجربه کـاهش میزان انتشار گوگرد می شود. همچنین از طریق جذب خشک و تصفیه مرطوب گاز یا غبـار گیرتر می توان از انتشار این گاز جلوگیری کرد .عواملی همچون عملکـرد فراینـد ، اصـلاح کارخانه ، کاهش درخط تولید و کاهش درخارج از خط تولید می تواند درکاهش SO2 مـؤثر باشد .

ج) اکسید های ازت

چندین اکسید ازت وجود دارندکه دو گونه ازآنها از اهمیت بیشتری درآلـودگی هـوا برخوردار است . این دو شامل اکسید نیتریک (NO) و دی اکسید ازت (NO2) می باشند . اکسید نیتروز (N2O) نیز، معمولاً وجود دارد وآلودگی کننده نیست . اصـطلاح NOX بـه مجموعه ای از غلظتهای NOو NO2 درهوا گفته می شود . اکسید نیتریک و اکسید نیتروز (گاز خنده آور) بیرنگ و بی بو می باشند. منشأ NOX درصنعت سیمان شامل دو منبع می

باشد یکی NOX ایجاد شده از اکسیداسیون ازت موجود درسوخت ودوم اکسید اسیون ازت هوای احتراق .درجه حرارت منطقه شعله کوره های سیمان تقریبا برابر با 2000C می باشد ، لذا هردو اکسیداسیون اعم از اکسیداسیون ازت سوخت و هم اکسیداسیون مولکول N2 هوا دراین درجه حرارت اتفاق افتاده،NOX ایجاد می گردد . اکثر NOX از ترکیب N2 با O2 تولید می شود ، و درسیستم های پخت ثانویه NOX بیشتر از نیتروژن موجود درسوخت تشکیل می گردد سیمان پخته شده در دماهای پایین تر و اکسیژن اضافی باعث افزایش غلظت NOX تا حدود $2/1\ grNo2/m^3$ در کوره های دوار می گردد . اندازه گیری NO درگازهای احتراق خروجی کوره سیمان نشان می دهد که میزان NOX درمحدوده ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ می باشد. پس بطور کلی می توان گفت سهم صنعت سیمان درانتشار NOX نسبت به سایر بخشهای مصرف کننده انرژی ، پایین و ناچیز است که این موضوع درشکل ۱ نشان داده شده است.

(شکل ۱) : سهم صنعت سیمان درانتشار NOX



آثار زیان بخش ناشی از انتشار NOX:

اکسیدهای ازت ، به استثناء N2O همگی هستند . مهمترین اثرات زیست محیطی NOX به شرح زیر می باشد :

- سبب تشکیل ازون درسطح زمین می شود
- مشکلات دردستگاه تنفسی و مرگ ناگهانی دراثر ورم ریوی یاامراض برونشیتی
- مشارکت درایجاد بارانها ی اسیدی
- کاهش کیفیت آبها دراثر انباشته شدن مواد معدنی
- تخریب لایه ازون
- مشارکت درذرات محیطی که سبب کاهش میدان دید می گردد
- واکنش به شکل مواد شیمیایی سمی

- مشارکت درگرم شدن کره زمین بعنوان یکی از گازهای گلخانه ای و مخرب لایه ازون
- کاهش رشد درختان
- کاهش قابلیت حمل اکسیژن درخون

روشهای کاهش انتشار NOX :

بهترین تکنیک های کاهش انتشار NOX ،شامل سرد کردن شعله ، تزریق آب به درون سیستم احتراق اصلی ، استفاده از مشعلهای با انتشار NOX کم ، استفاده از مینرالایزر جهت بهبود پخت مواد خام ، استفاده از احتراق مرحله ای و استفاده از تکنولوژیهای SCR (Selective Cotalytic Reactor) می باشد .

د) فلزات سنگین :

با مصرف روبه رشد مواد قابل احتراق و غیر قابل احتراق ، مقادیری از فلزات سمی و سنگین از طریق مزبور وارد کوره های پخت سیمان می گردد . معمولا فلزات سنگین به دو شکل عناصر اصلی و سمی وجود داشته ،که اهمیت عناصر سمی از لحاظ میزان آلایندگی وخطرات ناشی ازآن بیشتر می باشد هرکدام از سوختهای بکارگرفته شده درصنعت سیمان نیز ، خود سبب ایجاد آلایندگی های خاصی ازفلزات سنگین می شود که درذیل به توضیح مختصری از هرکدام می پردازیم .

سوخت طبیعی معمول : این سوختها بدلیل اینکه طی میلیونها سال از فرایند های طبیعی درپوسته زمین تشکیل شده اند، حاوی مقادیر خیلی کمی از عناصر سمی وسنگین می باشند که مقادیر گزارش شده درمورد انواع سوختها درجدول ۵ گزارش شده است .

همانطور که ملاحظه می شود زغال سنگ قهوه ای حاوی کمترین مقادیر فلزات سنگین می باشد که درآن zn با بیشترین مقدار، برابر ppm ۷۰ است .برای زغال سنگ سخت مقادیر حداکثر فلزات سنگین مهم (pb(27.ppm) ، zn (۲۲، ppm) ، (۱۸۰ ppm) v و (Ni (۹۶ ppm و cr (۸۰ ppm) است درمازوت عده فلزات سنگین با حداکثر (ppm ۱۱۷) v ، (zn (۸۵ ppm) ، (Ni(۴۳ ppm) ، حضور دارند. درکک نفتی که باقیمانده تقطیر نفت محسوب می شود،حداکثر فلزات سمی شامل (Ni (۳۵۵ ppm) ، pb،cr هردو با حداکثر ppm ۱۰۰ می باشند .

(جدول ۵) : مقدار فلزات سنگین موجود درسوختهای طبیعی مورد استفاده برای تولید کلینکر برحسب PPM

عنصر	گروه	زغال سخت	زغال قهوه‌ای	کک نفتی	مازوت	خاکستر آزاد زغال سخت	متوسط پوستهٔ زمین
Cd	۱	۰/۱ تا ۱۰	۰/۱ تا ۲/۴	۰/۱ تا ۴	۰/۰۲ تا ۰/۴	۰/۲ تا ۸	۰/۲
Hg	۱	۰/۱ تا ۱		۰/۰۱ تا ۰/۰۹		۰/۲ تا ۰/۸	۰/۰۸
Tl	۱	۰/۱ تا ۱/۲	۰/۰۷ تا ۰/۳	۰/۰۴ تا ۳/۱	۰/۰۲ تا ۰/۱۲	۲ تا ۱۵	۰/۵
As	۲	۲ تا ۵۰	۰/۳ تا ۹		۰/۰۱ تا ۰/۱	۴۰ تا ۵۳۰	۱/۸
Co	۲	۵ تا ۳۴				۹۰ تا ۲۵۰	۲۵
Ni	۲	۱۵ تا ۹۶	۰/۶ تا ۱/۹	۲۴ تا ۳۵۵	۵ تا ۴۳	۱۵۰ تا ۶۰۰	۷۵
Se	۲	۰/۶ تا ۳/۴				۱ تا ۳۵	۰/۰۵
Te	۲	۰/۲ تا ۰/۶					۰/۰۱
Cr	۳	۵ تا ۸۰	۰/۹ تا ۸	۳/۶ تا ۱۰۴	۲ تا ۴	۶۰ تا ۳۳۰	۱۰۰
Cu	۳	۱۰ تا ۶۰		۶ تا ۱۰۲		۱۴۰ تا ۶۵۰	۵۵
Pb	۳	۱۰ تا ۲۷۰	۰/۸ تا ۶		۱ تا ۳۴	۱۲۵ تا ۸۰۰	۱۳
Sb	۳	۰/۴ تا ۲				۰/۵ تا ۹۰	۰/۲
Sn	۳					۳۸	۲
V	۳	۳۰ تا ۱۸۰	۲ تا ۷		۲ تا ۱۱۷	۲۳۰ تا ۵۰۰	۱۳۵
Zn	۳	۶ تا ۲۲۰	۱ تا ۷۰	۷/۶	۵ تا ۸۵	۳۵۰ تا ۹۱۰	۷۰

سوختهای ثانویه (جایگزین) :

جدول شماره ۶ لیستی از مقادیر فلزات سنگین موجود درسوختهای ثانویه مورد استفاده را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود سطح بسیاری از عناصر ، زیر متوسط پوسته زمین می باشد ، امّا درشرایط خاصی وبرای حفظ صرفه اقتصادی درتهیه سوخت ، افزایش می یابد . بطور مثال و قتیکه روغن سوخته اتومبیل مورد مصرف قرار می گیرد ، درشرایطی که تا یاتاقان سایش دارد ، مقادیر بیشتری از این مواد وارد روغن شده و درنتیجه میزان سرب روغن به میزان ۲۱۰۰۰ ppm و روی ۳۰۰۰ ppm نیز می رسد . همچنین لاستیک خودرو از لحاظ مقدار روی غنی بوده و بین مقادیر ۹۳ /. درصد تا ۲/۰۵ درصد

گزارش شده است . ناخالص رزین های تبادل یونی تا مقادیر ppm ۶۴۰۰ بـرای pb و ppm ۳۹۰۰ برای zn گزارش شده است. چوب مصرف مقادیر کمتری از فلزات سنگین را دارا بـوده و حداکثر مقادیر آن برای CD برابر ppm ۱۶ ، se برابـر ppm ۵ ، su برابـر ppm ۷۷، pb برابر ppm ۷۰ ، sb برابر ppm ۱۰ و zn برابر ppm ۵۶۰ می باشـد کـه از متوسـط مقـادیر موجود درپوسته زمین کمتر است .

(جدول ۶) : مقدار فلزات سنگین موجود درسوختهای جایگزین مورد استفاده برای تولید کلینکر برحسب PPM

عنصر	گروه	روغن ضایعاتی	Fullers Earth	رزینهای تبادل یونی	تایر اتومبیل	ضایعات چوب	متوسط پوستهٔ زمین
Cd	۱	۴	۰/۰۱ تا ۲	۹ تا ۵۰	۵ تا ۱۰	۱/۵ تا ۱۶	۰/۲
Hg	۱					<۰/۰۵	۰/۰۸
Tl	۱	۰/۰۲	۰/۲	۰/۰۳ تا ۰/۰۷	۰/۲ تا ۰/۳	۰/۵	
As	۲						۱/۸
Co	۲						۲۵
Ni	۲	۳ تا ۳۰	۰/۰۰۱ تا ۳۰	۸ تا ۸۷	۷۷	۱۱ تا ۵۰	۷۵
Se	۲					۵	۰/۰۵
Te	۲						۰/۰۱
Cr	۳	۵ تا ۵۰	۲ تا ۱۱	۲۰ تا ۳۳۰	۹۷	۱۶ تا ۲۵	۱۰۰
Cu	۳					۴۰ تا ۷۷	۵۵
Pb	۳	۱۰ تا ۲۱۰۰۰	۲ تا ۲۵۰۰	۱۵۰ تا ۶۴۰۰	۶۰ تا ۷۶۰	۳۸ تا ۷۰	۱۳
Sb	۳					۱۰	۰/۲
Sn	۳						۲
V	۳						۱۳۵
Zn	۳	۲۴۰ تا ۳۰۰۰	۱۰ تا ۴۸۰	۵۶ تا ۳۹۰۰	۹۳۰۰ تا ۲۰۵۰۰	۱۳۰ تا ۵۶۰	۷۰

رفتار فلزات سنگین درکوره های سیمان

براساس تحقیقات انجام شده درآلمان بیشترین غلظـت عناصـر جزئـی موجـود در عنصرهای جمع آوری شده مربوط به سرب ، کادمیوم ، تالیم وروی بوده که سرب وروی طی فرایند پخت کلینکر سیمان از ترکیبات کما بیش فرار تولید می شد و درحرارتهای زیاد بخار شده و متعاقبا درحرارتهای کمتر روی خوراک کوره سیستمهای خشک کن و یا خـورد کـن

خشک کن مواد خام میعان می یابد . برلیم و نیکل رفتاری شبیه به کلسیم دارند (کلسیم عنصر اساسی و تشکیل دهنده کلینکر بشمار است). آرسنیک و کرومیم نیز به مقدار زیادی درکلینکر پایدار می شود. این مساله به این صورت قابل استناد است که، محیط قلیایی واکسید کننده کوره سیمان تشکیل کروماتها و آرسناتهایی با فراریت کم را می دهد . از عناصر با فراریت نسبی کم می توان از کادمیم نام برد که ۷۴ تا ۸۸ درصد آن درکلینیک پایدار می شود .

کمی از کادمیم جذب کلنیکر شده و انتشار آن نیز ناچیز است . بنابراین درسیستم پخت باقی مانده و با ایجاد چرخه سبب غنی شدن مواد مختلف از کادمییم شود و غلظت این عنصر درمواد خام تا غبار الکتروفیلتر روبه افزایش می گذارد .

از مهمترین ترکیباتی که تحت شرایط پخت کلینکر فرار هستند تالیم می باشد که این عنصر بطور کامل به غبار فرایند ها یفرصتی (یکسمی) کون ماپیوندد . تالیم با منشا غبار کوره سیمان که وارد خاک شده است بررشد و بازده محصول و میزان آن درگیاهان تاثیر گذاشته و بصورت خطی افزایش می یابد .

تحقیقات برروی مواد مختلف نشان می دهد که مقدارجیوه بطور وسیعی تغییر می کند و مقدار درمواد خام و مصرفی نسبت به متوسط محتوای پوسته زمین کمتر است . مقدار جیوه درغبار کوره حداکثر ۱۹۰ می باشد که نسبت به دیگر عناصر (همچون تالیم) ناچیز است بطور کلی می توان گفت که جیوه ورودی به سیستم از طریق مواد خام و سوخت کاملا وارد گازهای خروجی می شده و از سیستم خارج می شود .

آثار زیان بخش ناشی از انتشار فلزات سنگین

فن آوری جدید سبب تولید فلزاتی شده است که خواص سمی آنها از ابتدا با تنفس گردو غبار ، دود (فیوم) و یا تماس باپوست ، سبب ایجاد بیماری یا مرگ می گردید چنین فلزاتی شامل برلیوم ، سلینوم ، کادیموم ،ایندیوم و ... می باشد .

روشهای کاهش انتشار فلزات سنگین

درراستای کاهش انتشار فلزات سنگین اقداماتی همچون کاهش ورود فلزات سنگین به سیستم پخت از طریق فیلتر کردن ، اصلاح فرایند از طریق شکستن چرخه غنی از این عناصر درسیستم پخت ، روش کاهش ثانویه با اصلاح سیستم غبارگیری صورت گرفته است .

هزینه حفاظت محیط زیست درصنعت سیمان

تقریباً ۵۰ درصد از هزینه تولید درصنعت سیمان اروپا مربوط به هزینه انرژی است ،که به نوبه خود بین انرژی برق وسوخت تقسیم می شود . بدون درنظر گرفتن وسایل عملیاتی کاهش آلودگی ، حدود ۱۵ درصد از انرژی برق برای خردایش و آسیاب کردن مواد خام و زغال مصرف می شود . حدود ۱۵ درصد برای پخت کلینکر و ۴۵ درصد نیز برای آسیاب کردن کلینکر به کار می رود . جدا از وسایل عملیاتی ، کل ۲۵ درصد باقیمانده برای حفظ محیط زیست صرف می شود ،که به ویژه برای کاهش غبار و سروصدا مورد استفاده قرار می گیرد . بنابراین هزینه حفظ محیط زیست به طور قابل توجهی تحت تاثیر قیمت برق (توان مصرفی) می باشد . به همین لحاظ درکشورهایی که قیمت انرژی با لایی دارند ، کنترل انتشار آلاینده ها برای کارخانجات سیمان مشکل تر وهزینه برمی باشد .

سهم انرژی درقیمت تمام شده سیمان درایران چیزی بین ۳۰ تا ۳۵ درصد می باشد . هرچند از سوختهای گران قیمت و با ارزشی همچون مازوت وگاز طبیعی استفاده می گردد، ولی به علت قیمت پایین سوخت درداخل کشور نسبت به بازارهای جهانی ، مقدار کمتری از هزینه ها را به خود اختصاص می دهد .

مشکلات زیست محیطی کارخانجات تولید سیمان دراروپا باعث شده است، که استفاده از تکنولوژی مدرن، گسترش روز افزونی یابد .اما این موضوع نیازبه ساختار اقتصادی مبنی بر،سلامت محیط با قدرت مالی کافی برای استفاده از تکنولوژی های جدید دارد. به عنوان مثال صنعت سیمان آلمان با توسعه گسترده ای که دارد ، کوششهای قابل توجهی جهت حفاظت از محیط زیست به انجام رسانده است . هرچند اکثر این کوششها متمرکز برتمیز کردن گازهای خروجی می باشد . هم اکنون چیزی حدود ۱۵ درصد از سرمایه های سالانه مربوط به صنعت سیمان آلمان جهت حفظ از محیط زیست مصرف می گردد . البته ناگفته نماند که این هزینه ها بستگی به تمایل صنایع برای دسترسی به تکنولوژیهای پیشرفته جهت کنترل آلاینده هادارد.

راهکارهای ارائه شده جهت کاهش آلودگی درکارخانه

بطو رکلی برای کاهش مصرف انرژی همراه با کاهش قیمت (بهینه سازی مصرف انرژی) دو شیوه کلی مد نظر قرار دارد . یکی اعمال مدیریت مصرف (پیک سائی) و دیگر ، بهبود تکنولوژی و ارتقاء آن برای بهره وری بیشتر می باشد، که درادامه به صورت جزئی تر بدان خواهیم پرداخت. جدول۷ به ارائه روشهایی جهت بهبود راندمان انرژی درصنعت سیمان

اشاره نموده است . درحقیقت اقدامات لازم جهت کاهش مصرف انـرژی درصـنعت سـیمان درسه دسته کلی زیر قابل بررسی است که شامل

۱-اقدامات بدون هزینه همانند تشکیل واحد مدیریت انـرژی درکارخانـه ،حـساس سـازی پرسنل به امر صرفه جویی انرژی ، جلوگیری از توقف کوتاه مدت کوره و...

۲ – اقدامات کم هزینه همانند نصب کنتورهای سه تعرفه ، کنترل شارژی ،چگونگی آسـیاب های مواد و سیمان جهت بالا بردن راندمان ، هوا بندی سیستم پخت

۳ – اقدامات پرهزینه همچون طراحی ، ساخت و نصب سرند برای سـنگ شـکن ، تعـویض آسیاب های گلوله ای با غلطکی دربخش مواد اولیه درراستای اعمال مدیریت مصرف و بهینه سازی انرژی اجرای طرح ممیزی انرژی درواحدهای صنعتی ، شناخت وضعیت مصرف انـرژی وتعیین راهکارهای مناسب برای بهبود مصرف وافزایش کارایی انرژی دربخشهای مختلف آن حائز اهمیت می باشد. طی سالیان اخیر نیز درایران وزارتین نیرو و نفت دربعضی ازکارخانـه ها اقدام به انجام ممیزی انرژی به صورت موردی درکارخانه های صنایع مختلف نمـوده انـد. در جدول شماره ۸ حداقل پتانسیل صرفه جویی دربخشهای مختلف صنایع از جمله سیمان آورده شده است .

(جدول ۷) : ارائه روشهایی جهت بهبود راندمان انرژی در تولید سیمان

توجیه اقتصادی	مقدارکاهش در مصرف انرژی	توضیحات	تکنیک
صرفهٔ اقتصادی‌فرآیندهای پیشرفته خیلی خوب است (زمان برگشت سرمایهٔ کوتاه تا سه ماه)	۳/۵ تا ۵٪	بهینه‌سازی‌شرایط و فرآیند پخت باکنترل اتوماتیک رایانه‌ای	کنترل فرآیند و سیستم‌های مدیریتی
اطلاعات قابل دسترسی وجود ندارد	۱/۴ تا ۴ kwh/t_{clin} کاهش در مصرف انرژی	استفاده از سیلوهای هموژناسیون نوع جاذبه‌ای	سیستم‌های هموژناسیون مواد خام
کاهش‌هزینه‌های‌سوخت که هزینه‌های‌دیگر را نیز کاهش می‌دهد.	۰/۸-۱/۶ GJ/t و افزایش توان مصرفی معادل ۳-۵ kwh	کاهش رطوبت مواد خام بوسیلهٔ فیلترهای فشاری	تبدیل از روش‌تر به روش‌نیمه‌تر
هزینه‌های بالا، ۱۳۳ دلار آمریکا به‌ازاء هرتن از ظرفیت سالانه که البته تغییراتی برای نقاط مختلف دارد.	۳/۲ GJ/t_{clin} تخمین زده می‌شود با افزایش حدود ۱۰ kwh/t در مصرف توان الکتریکی	عملیات ترکیبی، بخشهای اساسی دست نخورده باقی‌می‌ماند.	تبدیل از روش تر به روش خشک
اطلاعاتی در دسترس نمی‌باشد	افزایش کم درتوان الکتریکی و کاهش انرژی حرارتی در حدود۲GJ/t_{clin} تخمین زده می‌شود	رطوبت موجود درمواد خام در طول‌فرآیند خشک‌کردن‌کاهش می‌یابد	تبدیل از روش‌تر به روش نیمه خشک
۳۰-۴۰ دلار آمریکا به‌ازای هر تن از ظرفیت سالیانه تخمین زده می‌شود.	بستگی به فرآیند اصلی، کاهش انرژی حرارتی حدود ۳/۴-۳/۹ GJ/t	پیش‌گرم‌کن‌های ۴ یا ۵ مرحله‌ای سبب کاهش اتلاف حرارتی و افزایش افت فشار می‌شوند.	تبدیل از روش خشک به کوره‌های دارای پیش‌گرمکن چند مرحله‌ای
۲۸ دلار آمریکا به‌ازای هر تن از ظرفیت سالانه تخمین زده می‌شود.	به فرآیند اصلی بستگی دارد وکاهش انرژی حرارتی در حد ۱۲ درصد یا ۰/۴۴ GJ/t تخمین زده می‌شود.	افزایش ظرفیت و کاهش مصرف سوخت	تبدیل از روش خشک به کوره‌های دارای پری کلساینر
هنگامی توجیه پذیر است که از یک پری‌کلساینر نیز استفاده شود.	کاهش انرژی حرارتی در حدود ۰/۳-۰/۱ GJ/t و افزایش توان الکتریکی حدود۳ kwh/t	ظرفیت زیاد و بازیافت حرارتی مؤثر	تبدیل کولر به کولر مشبک
زمان برگشت سرمایه مناسب است	کاهش انرژی حرارتی تا ۶/۳ درصد(۳/۳ GJ/t) یا حدود یک درصد کاهش در انرژی الکتریکی	مواد خام در دو مرحله پیش‌گرمکن،گرم می شوند	بهینه کردن پیش گرم‌کن (کورهٔ لپول)
اطلاعاتی در دسترس نمی‌باشد	۰/۵ GJ/t در آمریکا و ۰/۲GJ/t در هند	بهینه سازی بازیافت حرارتی با کاهش مقدار هوای اضافه یا کنترل عمق بستر کلنیکر و صفحات مشبک جدید ممکن است.	بهینه سازی بازیافت حرارتی در کولر کلینکر

(جدول ۸) : حداقل پتانسیل صرفه جویی درزیر بخش های صنعتی

نام صنعت	سال پتانسیل‌سنجی	تعداد کارخانجات بررسی شده	مصرف ویژه سوخت (گیگاژول بر تن)	مصرف ویژه برق (کیلووات‌ساعت بر تن)	کل مصرف ویژه انرژی (گیگاژول بر تن)	پتانسیل قابل صرفه‌جویی نسبت به متوسط مصرف در سال مورد بررسی (تراژول)
صنایع فلزی :						
ریخته‌گری	۱۳۷۹	۴۵	۵۸/۴۳	۳۳۴۴	۹۴/۱۹	۱۲۸۵/۲۷
فولاد ریز		۱۴	۵/۷۲	۱۲۷۰	۱۹/۰۷	۲۳۵/۶
چدن ریز القایی		۲۲	۴/۶۰	۱۸۱۴	۲۴/۱۹	۱۰۲۲/۲۹
چدن ریز		۵	۳۶/۴۲	۲۱۵	۳۸/۷۵	۱۲/۹۹
آلومینیوم ریز		۴	۱۱/۶۹	۴۵	۱۲/۱۸	۱۴/۳۹
آلومینیوم	۱۳۷۹	۲۳	--	--	--	۶۷۷۳
تولید شمش		۲	--	۲۰۸۵۰	--	۶۶۰۱
تولید پروفیل		۱۸	۱۷/۱	۱۳۳۴/۴	۳۱/۵۴	۱۲۱
تولید سیم و کابل		۳	۱۷/۳	۶۵۶	۲۴/۲	۵۱
کانی‌های غیرفلزی:						
سیمان	۱۳۷۷	۲۹	۳/۵۱	۱۱۲	۴/۷۲	۴۶۰۰
	۱۳۸۱	۳۶	۳/۴۶	۱۱۰/۵	۴/۵	۲۴۵۰ (۱)
کاشی و سرامیک	۱۳۸۰	۶۲	--	--	--	۲۰۳۸
کاشی کف		۱۶	۰/۱۳ (۲)	۴/۰۳ (۳)	۰/۱۷ (۳)	۷۱۰
کاشی دیوار		۱۹	۰/۱۳ (۲)	۳/۶۷ (۳)	۰/۱۷ (۳)	۹۶۰
چینی بهداشتی		۸	۱۷/۷۵	۴۸۴	۲۲/۹۷	۷۸
ظروف چینی		۱۹	۵۱/۳۱	۹۵۱	۶۱/۵۸	۲۹۰
آجر	۱۳۸۱	۲۵	۱/۴	۵۱	۴/۷۳	۲۶۱۰
قند	۱۳۸۰					
چغندری		۳۴	۳/۲۵	۶۷/۵	۳/۹۸	۱۲۲۴
تصفیه شکر خام		۲	۹/۶	۲۴۸	۱۲/۲۷	۱۳۴۶
نساجی	۱۳۷۸	۳۴	--	--	۸۴/۲۳	۲۲۷۱
ریسندگی		۳۰	--	۴۰۷۶/۶	۴۴	--
بافندگی		۳۰	۹ (۴)	--	۹	--
رنگرزی، چاپ و تکمیل		۲۹	۳۶۰ (۴)	--	۳۶۰	--
لاستیک	۱۳۸۱	۹	۲۵/۱۷	۱۵۱۱	۴۰/۴۶	۴۶۶
چوب و کاغذ	۱۳۸۱	۱۹	۱۹/۳	۱۲۴۷	۳۱/۱۶	۳۲۲۲
کارخانجات تولید کاغذ		۳	۲۱/۹	۱۴۳۲/۶	۳۷/۴	۲۹۸۶
کارخانجات تبدیلی		۸	۹/۳	۸۲۷/۴	۱۸/۲	
کارخانجات تولید دستمال کاغذی	۱۳۸۳	۳	۱۴/۱۲	۲۱۴۰ (۵) ۱۳۷۵ (۵)	۳۳ (۵) ۲۸/۹۷ (۵)	۸۶
کارخانجات تولید کاغذ بسته‌بندی	۱۳۸۳	۵	۹/۸۵	۶۰۸ (۵) ۳۶۱ (۵)	۱۶/۴۱ (۵) ۱۳/۷۵ (۵)	۱۵۰
صنایع غذایی :						
نوشابه‌های گازدار	۱۳۸۳	۱۲	۲۲/۳۴۸ (۶)	۰/۴۸۲ (۷) ۰/۰۶۲ (۸) ۰/۰۳۰ (۹)	-- -- --	۹۹

امروزه درکارخانجات سیمان برای کاهش مصرف سوخت با گرم نمودن هرچه بیشتر هوای مورد نیاز جهت احتراق درخنک کردن کلینکر گامی دراین راستا برداشته شده است . ازجمله اقداماتی دیگر تبدیل فرایند تر به فرایند خشک که دراین حالت توان صرفه جویی درانرژی حرارتی مصرفی تولید تر حدود ۱۱/۶ تا ۲۴ درصد و برای پروسه خشک بین ۷ الی ۱۶/۳ درصد است . با کاهش تلفات حرارتی پوسته خصوصاً کوره های دوارنیز، امکان صرفه جویی درمصرف سوخت وجود دارد .

ازراهکارهای کاربردی دیگر ایجاد و فضای سبز وجنگل کاری می باشد این روش بعنوان ذخیره کردن کربن نام دارد . یکی از اقدامات جالب توجه دیگر ، استفاده از انرژی خورشیدی درتولید سیمان می باشد . انرژی مذبور درمرحله کلسیناسیون که بیشترین مصرف انرژی را درصنعت سیمان داراست ، مورد استفاده قرار می گیرد .

نتیجه گیری

استفاده از سوختهای فسیلی به هرشکلی از آن ، درصنایع بخصوص صنعت سیمان سبب ایجاد یک سری آسیب های زیست محیطی برروی کره خاکی خواهد شد تولید گازهای آلاینده CO2 ، CO3 ، NOX ، CH و فلزات سنگین و غیره ، که همگی از احتراق سوختهای فسیلی حاصل می شوند ، هر کدام به تفکیک اختلالاتی را درمحیط اطراف وحتی زندگی موجودات این کره خاکی ایجاد می نمایند . تولید بیش از حد CO2 سبب ایجادگاز گلخانه ای و گرم شدن کره زمین و عوارض بعدی ناشی ازآن می گردد . تولید SO2 و NOX سبب ایجاد بارانهای اسیدی ، تشکیل اوزون برروی سطح زمین و مشکلات تنفسی می گردند . دراین رابطه و درجهت کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از عملکرد کارخانجات سیمان راهکارهای مختلف توسط برخی آژانس های حمایت از محیط زیست و تعدادی از محققین ارائه گردیده که از مهمترین آنها ، بکارگیری تکنولوژی جدید درکارخانجات سیمان جهت کاهش آلاینده های زیست محیطی (مثلا تبدیل سیستم تر به خشک) ، استفاده از سوختهای با آلایندگی کمتر (مثل گازطبیعی) ، صرفه جویی درمصرف سوخت ، جایگزینی سوختهای ضایعاتی بجای سوختهای فسیلی ، استفاده از مواد افزودنی برای کاهش گازهای آلاینده خروجی وغیره می باشد . بکارگیری سوختهای ضایعاتی بجای سوختهای فسیلی علاوه برکاهش مقادیر زیادی ازگازها، در از بین بردن واستفاده بهینه از ضایعات درجهت تولید انرژی بسیار مهم و کاربردی می باشد . و امروزه توجه خاصی به آن درسرتاسردنیا گردیده است و. استفادهاز انرژی های نو مانند انرژی خورشیدی نیز علاوه برکاهش آلایندگی ، درکاهش هزینه ها و صرفه جویی درانرژی بسیار مفید بوده است .

منابع :

۱ – معاونت امور انرژی وزارت نیرو، ۱۳۸۴ ، ترازنامه انرژی ، چاپ انتشارات وزارت نیرو

۲ – استفالن کسلر ، منابع معدنی از دیدگاه اقتصادی وزیست محیطی، ترجمه فرید لر ، احمد هرمزی ، عبدالمجدی یعقو ب پور ، ۱۳۸۵ ، موسسه انتشاراتی ویژه نشر

۳ – محمد رضا عزیزیان ، تکنولوژی پخت سیمان انتشارات شرکت مهندسی و قطعات سیمان ایران ، بهار ۱۳۶۵

۴ – علی اصغر حمزه گودرزی ، صنایع سیمان ومحیط زیست ، مجله سیمان ، شماره ۲۱ ، تیرماه ۱۳۷۴

۵ – روشهای کاهش NOX ترجمه فرخ گلکار ، مجله صنعت سیمان ، شماره ۳۵ ، دی ماه ۱۳۷۸

۶ – پیشگیری از انتشار گاز SO2 ترجمه فرامرز عالیمحمدی ، مجله صنعت سیمان ، شماره ۲۷ ،اردیبهشت ۱۳۷۸ ، (ترجمه از ۱۹۹۹ ، cement Review، January)

۷ – مجید عباسپور ، مهندسی محیط زیست مرکز انتشارات عملی دانشگاه آزاد اسلامی ،زمستان ۱۳۷۷

۸ – عواملی که درتولید و انتشار گاز CO2 دخالت دارند ، ترجمه بن هور سحری ، صنعت برق ، شماره ۶۵ ، مهر ۱۳۸۰ .

۹ – کاهش آلودگیهای محیط زیست، ترجمه سید علی اکبر موید زاده ، مجله سیمان ، شماره ۶۰ ، دی ماه ۱۳۸۰

10) HOLDERBANK CEMENT . CEMINAR , (Alternative . fuels) , world Ceminar , 2000

11) Mair and M.Rosset , (Principles for the utilization of material in cement works(ZKG.NO.1/2000.