

بازیافت حرارتی گازهای خروجی ، کوره های سیمان و تولید انرژی الکتریکی

حسین افشار باقری- طاهره رحیمی- آرمان کاظمی

(سیمان تهران)

خلاصه:

صنعت سیمان بعنوان یکی از مصرف کنندگان عمده انرژی محسوب شده و هزینه زیادی در آن صرف تامین انرژی می شود. در طی فرآیند پخت کلینکر مقدار زیادی انرژی حرارتی بدون استفاده، مستقیماً وارد اتمسفر می شود. با استفاده از تلفات حرارت خروجی از پیش گرمکن و خنک کن گریتی کوره های سیمان می توان انرژی الکتریکی تولید نمود. با این روش ۳۰ درصد از انرژی الکتریکی مورد نیاز و حدوداً ۱۰٪ از کل انرژی اولیه مورد نیاز کارخانه های سیمان بدست می آید. همچنین از میزان انتشار گازهای گلخانه ای مانند CO_2 کاسته می شود با استفاده از تکنولوژی ژنراتورهای جانبی در ۲ کوره (۲۱۰۰ تنی و ۴۰۰۰ تنی) سیمان تهران حدوداً ۹MW انرژی الکتریکی تولید خواهد شد.

کلمات کلیدی: سیمان، انرژی، بازیافت حرارتی، ژنراتورهای جانبی

۱- مقدمه

در عرصه رقابت جهانی و در راستای تولید بیشتر، هزینه کمتر، صنایعی موفق خواهند بود که در این رقابت با تحقیقات و مطالعات بیشتر، موفق به یافتن راهکارهایی جهت جلوگیری از اتلاف در مصرف انرژی شوند. میزان مصرف معادل انرژی در ایران در نمودار ۱ از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ آورده شده است.

صنعت سیمان نیز که بعنوان یکی از مصرف کننده های عمده انرژی محسوب میشود از این امر مستثنی نمی باشد.

صنعت سیمان کشور دارای ۴۲ کارخانه با ۶۵ خط تولید و ظرفیت اسمی بیش از ۱۱۰۵۶۰ تن در روز معادل ۳۳ میلیون تن سیمان در سال میباشد [۱]. این صنعت دارای مصرف انرژی الکتریکی سالیانه بیش از ۳/۵ میلیارد کیلووات ساعت (معادل ۶ میلیون بشکه نفت خام) و مصرف انرژی فسیلی سالیانه حدود ۲۶ میلیون کیلوکالری (معادل ۱۸ میلیون بشکه نفت خام) می باشد. در مجموع صنعت سیمان کشور سالیانه بیش از ۲۴ میلیون بشکه نفت خام را بعنوان انرژی به خود اختصاص داده است [۲].

همچنین طبق بررسیهای به عمل آمده، بر اثر عملیات کلسینه شدن مواد خام به ازاء هر تن کلینکر تقریباً ۰/۹۷ تن دی اکسید کربن تولید میشود [۳]. میزان دی اکسید کربن ناشی از تولید ۳۳ میلیون تن سیمان و مقدار دی اکسید کربن حاصل از مصرف سوخت در صنایع سیمان و مقدار دی اکسید کربن حاصل از مصرف برق جمعا در سال ۲۸۹۷۱۵۸۴ تن CO_2 از صنایع سیمان کشور حاصل می شود [۲]. میزان تولید دی اکسید کربن در ایران در نمودار ۲ از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ آورده شده است.

در اواخر سال ۱۹۷۰ همزمان با بحران انرژی دراروپا و ژاپن تحقیقاتی در جهت استفاده از حرارت گازهای خروجی از پیش گرمکن و گریت کولر انجام گردید [۴].

بررسی ها نشان داد که این روش بهترین روش تبدیل انرژی حرارتی به انرژی الکتریکی می باشد. طی فرآیند تولید کلینکر به روش خشک، تبادل حرارتی بین گازهای خروجی و مواد خام وارد شونده به پیش گرمکن انجام میشود.

گازهای خروجی از پیش گرمکن با دمای $C 400-300$ (مقدار این دما بستگی به تعداد طبقات پیش گرمکن دارد) قبل از وارد شدن به اتمسفر از برج خنک کن عبور کرده و به هدر می رود و فقط قسمتی از حرارت گاز های خروجی صرف خشک کردن مواد موجود در آسیای مواد میشود. بعلاوه گازهای خروجی از گریت کولر نیز با حرارت حدود $C 250$ مستقیماً وارد اتمسفر می شود که میتوان از این حرارت تولید انرژی الکتریکی نمود [۵].

با استفاده از ژنراتورها جانبی، کارخانجات سیمان قادرند تقریباً ۳۰٪ مجموع انرژی الکتریکی مورد نیاز خود را تولید نمایند [۶]. این روش با توجه به اینکه قادر به کاهش انتشار گازهای CO_2 و NO_x و SO_2 است از اهمیت خاصی برخوردار می باشد. [۵].

در کشور چین ۲۴ واحد تولید سیمان با ظرفیت تولید بالای ۲۰۰۰ تن در روز از این روش استفاده می کنند و حدوداً ۲۲-۳۶KWh/t clinker از کل انرژی مورد نیاز برای تولیدشان را از این طریق بدست می آورند[۶].

بعنوان مثال در کارخانه ای واقع در چین دارای ۲ خط تولید ۲۵۰۰ تنی می باشد که در سال معادل ۲۰۰۰۰۰۰ تن سیمان تولید دارد و با استفاده از این سیستم بازیافت حرارت ، ۵۴/۱۹۱ تن در سال از انتشار CO₂ می کاهد[۷].

همچنین کارخانه تایشان واقع در چین دارای ۲ خط تولید با ظرفیتهای معادل ۲۵۰۰ تن(تاسیس شده در june2003) و ۵۰۰۰ تنی (تاسیس شده در November2004) با استفاده از سیستم بازیافت حرارتی، در سال ۱۰۷/۱۱۶ تن از انتشار CO₂ می کاهد [۸]. از بین کارخانه های سیمان کشور هندوستان ۶۴ کارخانه از این سیستم استفاده می کنند که جمعا ۲۱۰ MW انرژی الکتریکی تولید می نماید[۵].

بررسی نتایج حاصل از ۲۰ کارخانه سیمان هندوستان توسط NCB نشان داد که پتانسیل بازیافت حرارتی بسته به نوع پیش گرمکن و گریت کولر و تعداد طبقات پیش گرمکن حدوداً معادل ۳-۵،۵MW می باشد[۶]. که سالانه سودی معادل ۲۰۰۰ میلیون روپیه به دنبال خواهد داشت همچنین از میزان انتشار گاز دی اکسید کربن ۱،۶۵ میلیون تن در سال کاسته میشود در جدول ۱ مشخصات کارخانجات هندوستان که دارای سیستم بازیافت حرارتی می باشند آورده شده است. در کارخانه های سیمان ژاپن ۳۳ واحد بازیافت حرارتی تاسیس شده است که مجموعاً حدود 200MW انرژی الکتریکی بدین روش تولید میشود[۵].

در جدول ۲ مشخصات تعدادی از کارخانجات سیمان ژاپن که دارای سیستم بازیافت حرارتی میباشند، مقدار تولید انرژی الکتریکی آنها آورده شده است[۵].

جدول ۱: میزان انرژی الکتریکی حاصل از بازیافت حرارت از خنک کن و پیش گرمکن کارخانجات

سیمان هندوستان

PLANT CAPACITY	PH EXIT	GAS	COOLER FLOW (Nm ³ /hr) X 1000	EXIT GAS TEMP (°C)	COGEN POTEN MW
	FLOW (Nm ³ /hr) X 1000	TEMP (°C)			
A 3000, 4ST*	۱۸۶	۴۱۵	۲۵۸	۲۵۰	۴/۶
4500, 5ST	۳۵۰	۳۲۰	۲۵۰	۲۵۰	۵/۵
B 3300, 4ST	۲۸۹	۳۶۰	۱۲۹	۲۳۰	۴/۵
C 3000, 4ST*	۱۹۴	۳۵۰	۲۷۷	۲۲۰	۴/۰
D 3300, 6ST	۱۸۸	۲۹۵	۲۳۳	۲۴۵	۳/۲
E 3300, 6ST	۲۳۴	۳۰۰	۱۶۵	۲۵۰	۳/۲
F 2x2800, 6ST	۱۷۰	۳۰۰	۱۳۰	۲۵۰	۴/۴
G 2x1700, 5ST	۱۵۷	۳۲۰	۱۲۰	۲۵۰	۴/۲
H 3300, 4ST*	۲۰۰	۳۹۰	۱۵۴	۲۹۰	۴/۲
I 2250, 5ST	۱۴۸	۳۷۸	۱۴۹	۲۶۰	۳/۲
J 2500, 4ST	۱۷۲	۳۶۵	۱۲۰	۲۳۰	۳/۰
K 2225, 5ST	۸۸	۳۰۰	۱۴۲	۲۲۰	۳/۴
L 2225, 5ST	۸۸	۳۰۰	۱۴۲	۲۲۰	
M 3250, 6ST	۲۲۵	۲۹۵	۲۴۰	۲۳۰	۳/۵
N 3000, 4ST	۲۱۰	۳۶۰	۱۸۰	۲۲۰	۳/۷
O 3700, 4ST	۱۵۱	۲۸۰	۳۷۳	۲۲۰	۳/۲
P 2000, 5ST	۱۸۳	۳۳۰	۲۱۰	۲۴۰	۳/۴

• کارخانه های که با علامت * مشخص شده اند مجهز به پیش گرمکن هستند و بقیه کارخانه دارای کلساینر هستند

• ST: تعداد طبقات پیش گرمکن

Suspension preheater : SP

Precalcinator : PC

جدول ۲: مشخصات تعدادی از کوره های کارخانه های سیمان ژاپن که مجهز به سیستم بازیافت

حرارتی می باشند

نام کارخانه	تناژ تولیدی (تن/روز)	منبع حرارتی	انرژی الکتریکی تولید شده (KW)
Gifu	۵۷۰۰	AQC	۲۶۴۰
Hachinohe	۴۴۰۰	AQC	۲۲۰۰
Ako	۴۹۰۰	PH/AQC	۱۰۰۰۰
Ako	۷۴۰۰	AQC	۱۰۳۰۰
Kumagaya	۱۲۰۰۰	PH/AQC	۱۵۰۰۰
Kawara	۱۰۳۰۰	PH/AQC	۱۶۲۰۰
Kyushu	۲۱۳۰۰	PH/AQC	۲۴۰۰۰
Omi	۸۷۰۰	PH/AQC	۱۱۰۰۰
Tagawa	۷۰۰۰	PH/AQC	۹۰۰۰
Aomori	۴۵۰۰	PH/AQC	۷۳۰۰
Nanyo	۱۰۰۰۰	PH/AQC	۹۰۰۰
Toso	۷۰۰۰	PH/AQC	۸۲۰۰
Tsukumi	۱۳۷۰۰	PH/AQC	۱۸۰۰۰
Itoigawa	۷۹۰۰	PH/AQC	۸۹۰۰
Chichibu	۴۹۰۰	PH/AQC	۸۰۰۰
Ofunato	۱۱۰۰۰	PH/AQC	۱۷۶۰۰
Kochi	۷۷۰۰	PH/AQC	۸۹۰۰
Fujiwarta	۸۳۰۰	PH/AQC	۱۲۰۰۰
Hachinohe	۱۲۰۰۰	AQC	۱۰۰۰
Hitachi	۴۰۰۰	PH	۱۵۰۰
Nanyo	۲۰۰۰	PH/AQC	۱۳۰۰۰

منظور از PH: پیش گرمکن
منظور از AQC: خنک کن گریت

۲-شرح مقاله و روش تحقیق

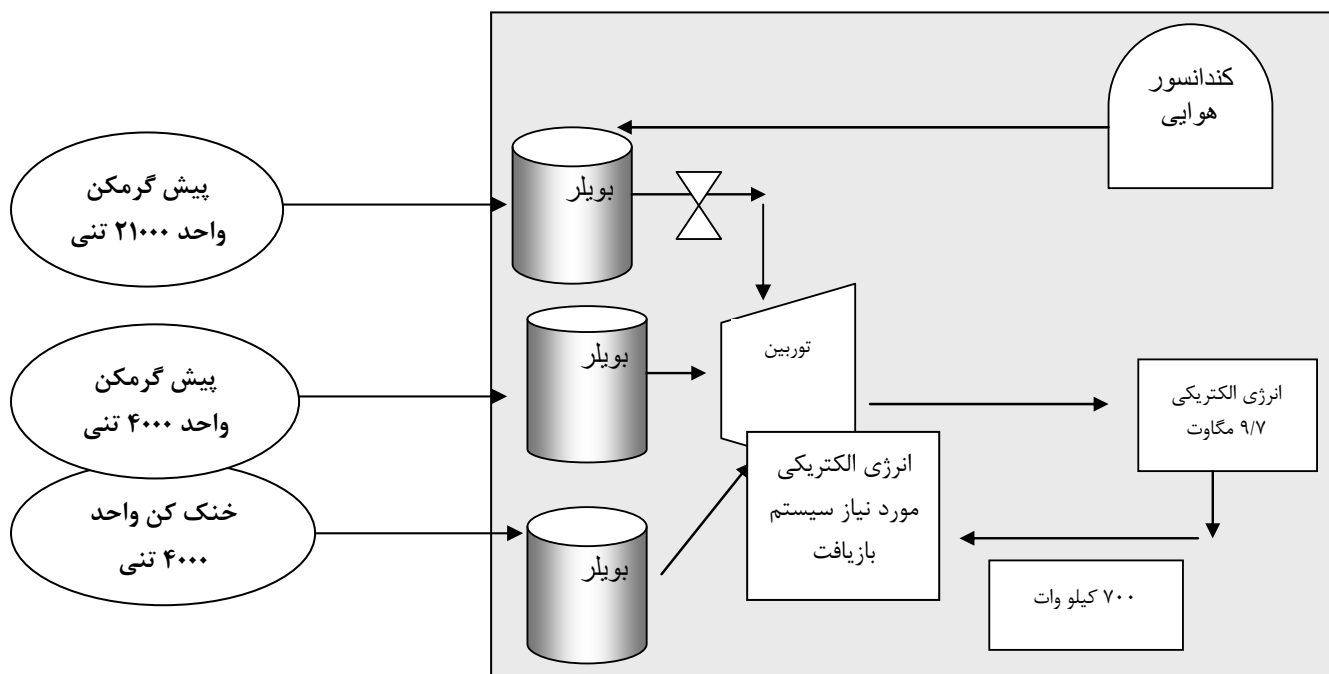
شرکت سیمان تهران با ۸ خط تولیدی که یکی از بزرگترین کارخانجات تولید سیمان در کشور است (مشخصات کوره های سیمان تهران در جدول ۳ آورده شده است). دیماندر قرار دادی برق مصرفی ۷۳ مگاوات و میزان مصرف گاز ۵۸ هزار متر مکعب در ساعت می باشد. در شرکت سیمان تهران نیز بمنظور بهره وری بیشتر در منابع انرژی، مواد اولیه و رعایت بیشتر مسائل زیست محیطی و ارتقاء سطح تکنولوژی تولید، تحقیقات و بررسی هایی با در نظر گرفتن مزایای بازیافت حرارتی و با توجه به توسعه پایدار در ۲ واحد ۲۱۰۰ تنی و ۴۰۰۰ تنی انجام گرفته است در این روش تلفات حرارتی در پیش گرمکن واحدهای ۲۱۰۰ تنی و ۴۰۰۰ تنی و همچنین در گریت کولر واحد ۴۰۰۰ تنی به سمت دستگاه بویلر هدایت شده که ضمن جذب بخشی از غبار موجود باعث گرم شدن آب در بویلر میگردد.

جدول ۳: مشخصات کوره های سیمان تهران

شماره کوره	سال بهره برداری	ظرفیت اسمی تن در روز	قطر کوره	طول کوره	نوع مواد
۱	۱۳۳۵	۳۰۰	۳,۱۵-۲,۹۰-۳,۱۵m	۱۰۰m	تر
۲	۱۳۳۸	۳۰۰	۳,۱۵-۲,۹۰-۳,۱۵m	۱۰۰m	تر
۳	۱۳۴۶	۶۰۰	۳,۷۵-۳,۶۰-۳,۹۵m	۱۵۰m	تر
۴	۱۳۵۱	۲۱۰۰	۵,۰۰m	۸۰m	خشک
۵	۱۳۴۹	۳۰۰	۳,۲۰m	۱۰۵m	تر
۶	۱۳۵۷	۴۰۰۰	۵,۸۰m	۹۵m	خشک
۷	۱۳۶۴	۲۰۰۰	۵,۴۰m	۸۲ m	خشک
۸	۱۳۸۵	۳۴۰۰	۴,۵m	۵۵m	خشک

این آب در بخش بخار ساز بصورت بخار به سمت پره های توربین ژنراتور هدایت شده تا انرژی الکتریکی تولید شود سپس بخار آب موجود پس از عبور از کندانسور مجدداً به سمت بویلر هدایت می شود. شمای سیستم بازیافت حرارتی در شکل ۲ نشان داده شده است. در جدول ۴ تجهیزات لازم جهت بازیافت حرارتی آورده شده است.

شکل ۲: شمای بازیافت حرارتی در دو واحد ۲۱۰۰ تنی و ۴۰۰۰ تنی سیمان تهران



در طراحی سیستم بازیافت حرارتی در سیمان تهران در واحدهای ۲۱۰۰ و ۴۰۰۰ تنی، ۳ بویلر جداگانه برای هر کدام از منابع تولید کننده انرژی حرارتی در نظر گرفته شده است. حرارت گازهای خروجی از خنک کن واحد ۴۰۰۰ تنی بین ۲۵۰-۲۰۰ درجه سانتیگراد می باشد که جهت گرم کردن آب وارد شونده به بویلر پیش گرمکن کوره ۲۱۰۰ تنی و پیش گرمکن کوره ۴۰۰۰ تنی مورد استفاده قرار می گیرد در صورت توقف کوره ۲۱۰۰ تنی از آنجائی که آب داغ افزونتر از حد نیاز است آب داغ از خنک کن واحد ۴۰۰۰ تنی به سمت یک فلاشر فرستاده میشود. در فلاشر بخاری با فشار پایین تولید می گردد.

سپس بخار تولید شده به سمت توربین هدایت و باعث تولید برق می گردد. بعد از تولید انرژی الکتریکی، بخار آب موجود از کندانسور عبور کرده و مجدداً به سمت بویلر هدایت می شود. با توجه به فقدان آب در ایران در طراحی این سیستم از خنک کن هوایی بجای آب استفاده شد. همچنین بویلرها نیز مجهز به فیلتر بوده که بدینوسیله غبار موجود در هوای گرم نیز جداسازی می گردد.

جدول ۴: تجهیزات لازم جهت ازیافت حرارتی در دو واحد ۲۱۰۰ تنی و ۴۰۰۰ تنی سیمان تهران

تجهیزات	تعداد
بویلر پیشگرمکن و تجهیزات مربوط به آن	۲ واحد
بویلر خنک کن و تجهیزات مربوط به آن	۱ واحد
فلاشر	۱ واحد
توربین بخار و ملحقات	۱ واحد
ژنراتور	۱ واحد
تجهیزات برقی و ادوات	۱ واحد

۲-۱- محاسبات اقتصادی

انرژی الکتریکی خالص تحویلی حاصل از سیستم بازیافت حرارتی در ۲ واحد ۲۱۰۰ تنی و ۴۰۰۰ تنی سیمان تهران معادل ۹ مگاوات می باشد، که صرفه جویی اقتصادی با احتساب ثابت بودن قیمت حامل انرژی (۱۵۳ ریال) برای ۳۰۰ روز کاری در طول ۲۴ ساعت معادل ۹۹۱۴۴۰۰۰۰ ریال خواهد بود از سوی دیگر صرفه جویی پیش بینی شده حدود ۳۵ کیلو وات ساعت برتن کلینکریا حدود ۳۰٪ انرژی الکتریکی مورد نیاز واحدهای ۲۱۰۰ تنی و ۴۰۰۰ تنی می باشد که این مقدار معادل ۱۶۷۸۷ تن نفت خام در سال خواهد بود و چنانچه قیمت هر بشکه نفت خام برابر ۵۰ دلار و برای تولید هر تن کلینکر ۷/۳۰ بشکه نفت خام مورد نیاز باشد. صرفه جویی سالانه معادل ۶۱۲۷۵۵۲ دلار در سال خواهد بود.

$$\text{دلار در سال} = ۱۶۷۸۷ \times ۷/۳۰ \times ۵۰ = ۶۱۲۷۵۵۲$$

هزینه خرید سیستم بازیافت حرارتی معادل ۱۸۵۸۵۰۰۰ دلار آمریکا می باشد.

تعداد نیروی انسانی شاغل در نیروگاه ۱۲ نفر شامل ۳ تیم چهار نفره در هر شیفت در نظر گرفته شده است و هزینه مربوط به حقوق سالیانه در مدت یکسال با احتساب حقوق ماهیانه معادل ۳۰۰۰۰۰۰ ریال معادل ۴۳۲۰۰۰۰۰ ریال خواهد بود. سایر هزینه های پیش بینی شده در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵: هزینه های پیش بینی شده استفاده از سیستم بازیافت حرارتی

۱۴۰۰۰۰۰۰	هزینه بازرسی سالانه (ریال)
۱۶۰۰۰۰۰۰	هزینه قطعات یدکی (ریال)
۱۴۰۰۰۰۰۰	تعمیرات و نگهداری سالانه (ریال)
۴۴۰۰۰۰۰۰	جمع کل (ریال)

از دیدگاه اقتصاد جهانی هزینه این سیستم با توجه به صرفه جوئی در سوخت مصرفی نیروگاهها جهت تولید انرژی الکتریکی، در مدت ۳ سال بازگشت خواهد گردید.

از دیدگاه اقتصاد شرکت سیمان تهران هزینه خرید این سیستم در مدت ۱۸ سال بازگشت خواهد شد. مضافا اینکه سیستم مذکور سالانه حدود یک میلیارد ریال برای سیمان تهران هزینه خواهد داشت. لازمه انجام این پروژه در سیمان تهران اخذ هزینه های ارزی از طریق صندوق ذخیره ارزی و استفاده از شرایط پیمان کیوتو می باشد.

۳- نتایج

برای اجرایی یک پروژه باید تمام جوانب سنجیده شود در اجرای پروژه بازیافت حرارت علاوه بر توجه به اهمیت تولید انرژی الکتریکی و کاهش گازهای گل خانه ای، صرف جوئی مالی و بازگشت سرمایه انجام پروژه نیز اهمیت خاصی دارد. از دیدگاه اقتصاد جهانی هزینه این سیستم با توجه به صرفه جوئی در سوخت مصرفی نیروگاهها جهت تولید انرژی الکتریکی، در مدت ۳ سال بازگشت خواهد گردید. از دیدگاه اقتصاد شرکت سیمان تهران هزینه خرید این سیستم در مدت ۱۸ سال بازگشت خواهد شد

بطور کلی مزایای حاصل از انجام این پروژه در سیمان تهران عبارتند از:

۳-۱- تولید انرژی الکتریکی

با انجام این پروژه در سیمان تهران بر طبق نتایج حاصل از گزارشات شرکت میتسوئی ژاپن تولید انرژی الکتریکی حاصل از دو خط تولید ۴۰۰۰ تنی و ۲۱۰۰ تنی ۹/۷ مگاوات خواهد بود که از این میزان ۷۰۰ کیلو وات صرف انرژی لازم برای سیستم بازیافت حرارتی خواهد شد و نهایت ۹ مگاوات برق تولید خواهد شد.

صرفه جوئی پیش بینی شده حدود ۳۵ کیلو وات ساعت برتن کلینکریا حدود ۳۰٪ انرژی الکتریکی مورد نیاز واحدهای ۲۱۰۰ تنی و ۴۰۰۰ تنی می باشد

۳-۲- کاهش انتشار گاز CO₂

استفاده از این سیستم منجر به کاهش تولید CO₂ در نیروگاه تولید انرژی الکتریکی به مقدار ۵۲۰۰۰ تن در سال خواهد شد بعلاوه کاهش تولید گازهای SO₂, NO_x را نیز به میزان قابل توجهی در بر خواهد داشت.

۳-۳- کاهش هزینه مربوط به تولید

صرفه جویی پیش بینی شده معادل ۳۵ کیلووات ساعت بر تن کلینکر که معادل ۱۶۷۸۷ تن نفت خام در سال می باشد.

و چنانچه قیمت نفت خام برابر ۵۰ دلار در هر بشکه و هر تن معادل ۷/۳۰ بشکه نفت خام باشد. صرفه جویی سالانه معادل ۶۱۲۷۵۵۲ دلار در سال خواهد بود.

۳-۴- سایر مزایایی استفاده از سیستم بازیافت حرارتی در سیمان تهران

-افزایش راندمان الکترو فیلترهای کوره بدلیل کاهش حجم گازهای ورودی به آن

-کاهش مصرف آب در کولینگ تاور بدلیل کاهش حجم گازهای ورودی به آن

-حذف احتمالی الکتروفیلتر گریت کولر

مراجع:

.-

[1] www.irancement.com

۳-زربخش ، بررسی وضعیت انرژی و میزان آلودگی محیط زیست ناشی از عملکرد

کارخانجات سیمان کشور و راهکارهای کاهش آن، همایش بین المللی سیمان، جلد ۱، ۱۳۸۳

[3] report on nanotechnology and
construction.pp.8, www.google.com

[4] Energy Efficiency Improvement Opportunities for Cement Making .Environmental Energy Technologies Division.Sponsored by the U.S. Environmental Protection Agency.January 2004page-46 www.google.com

[5] PRADEEP KUMAR, ROUND TABLE ON CLEAN ENERGY TECHNOLOGIES IN CEMENT MANUFACTURE.2000

[6] Shaleen Khurana, Rangan Banerjeeand Uday Gaitonde
Energy balance and cogeneration for a cement plant. Indian
Institute of Technology, Energy Systems Engineering
December. 2001.www.sciencedirect.com

[7] J. Li, J. Kong, Waste Heat Recovery and Utilization for Power
Generation Project in Quzhai Cement Works Date of
Submission□ March, 2006. www.sciencedirect.com

[8] Tahsin Enginand Vedat Ari .Energy auditing and recovery for
dry type cement rotary kiln systems—A case study.2 July
2004.www.sciencedirect.com