



Semnan University

# Journal of Modeling in Engineering

Journal homepage: <https://modelling.semnan.ac.ir/>



## Research Article

# Energy recovery from the rotary kiln of white cement Neyriz

Mohammad Hosein Najafzadeh<sup>1</sup>, Mohammad Reza Sardashti Berjandi<sup>2\*</sup>, Farhad Shahraki<sup>3</sup>, Somayeh Mansouri<sup>4</sup>

1. MSc Student, Department of Chemical Engineering, University of Sistan and Baluchestan
2. Assistant professor, Department of Chemical Engineering, University of Sistan and Baluchestan
3. Professor, Department of Chemical Engineering, University of Sistan and Baluchestan
4. PhD Student, Department of Chemical Engineering, University of Sistan and Baluchestan

\*Corresponding Author: [m.r\\_sardashti@eng.usb.ac.ir](mailto:m.r_sardashti@eng.usb.ac.ir)

## PAPER INFO

### Paper history:

Received: 18 February 2023  
Revised: 08 May 2023  
Accepted: 29 May 2023

### Keywords:

Cement kiln,  
Energy recovery,  
Heat loss,  
Organic Rankine Cycle.

## ABSTRACT

A huge part of the thermal energy consumed in energy industries is lost after exiting the process. Some of this waste heat can be recovered by various methods such as generating electrical energy, generating hot air for the production process or providing hot water. In Iran, the cement industry has always been far from the optimal use of resources, including energy, due to the existence of energy subsidies. In this research, the heat loss from the baking system of Nireez white cement plant as a model industry of the country to evaluate the simultaneous production of heat and electricity by using the organic Rankine cycle that generates electric power has been investigated in Span Plus V12 software. This evaluation is done to calculate the heat loss, including the mass and energy balance on the cooking system, as well as the energy balance on the pre-cooking system. The heat energy obtained enters the Rankine cycle and is converted into energy by the turbine. The results show that 635 kilowatts of electrical energy was produced from energy recycling, which leads to the elimination of 317.5 kg/hour of greenhouse gas.

© 2023 Published by Semnan University Press.

DOI: <https://doi.org/doi:10.22075/jme.2023.29964.2411>

## How to cite this article:

Najafzadeh, M. H., Sardashti Birjandi, M. R., Shahraki, F., & Mansouri, S. (2023). Energy recovery from the rotary kiln of white cement Neyriz. *Journal of Modeling in Engineering*, 21(73), 201-228.  
doi: 10.22075/jme.2023.29964.2411

## بازیافت انرژی از کوره دوار سیمان سفید نی ریز

محمد حسین نجف زاده<sup>۱</sup>، محمد رضا سردشتی بیرجندی<sup>۲\*</sup>، فرهاد شهرکی<sup>۳</sup> و سمیه منصوری<sup>۴</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: پژوهشی            بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۲۹            دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۱۸            پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۰۸</p>	<p>بخش عظیمی از انرژی حرارتی مصرفی در صنایع انرژی بر پس از خروج از فرایند تلف می‌شوند. مقداری از این حرارت اتلافی با روش‌های مختلفی مانند تولید انرژی الکتریکی، تولید هوای گرم برای فرایند تولید و یا تهیه آب گرم قابل بازیافت می‌باشد. در ایران همواره صنعت سیمان از استفاده بهینه منابع از جمله انرژی، با توجه به وجود یارانه انرژی، به دور بوده است. در این تحقیق اتلاف حرارتی از سیستم پخت کارخانه سیمان سفید نی ریز به عنوان صنعت نمونه کشوری جهت ارزیابی تولید همزمان حرارت و برق با به کارگیری چرخه رانکین آلی که مولد توان الکتریکی است در نرم افزار اسپن پلاس V12 مورد بررسی قرار گرفته شده است. این ارزیابی برای محاسبه اتلاف حرارتی شامل موازنه جرم و انرژی بر روی سیستم پخت و نیز موازنه انرژی بر روی سیستم ماقبل پخت انجام می‌گردد. انرژی‌های گرمایی بدست آمده وارد سیکل رانکین شده و توسط توربین به انرژی تبدیل می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد از بازیافت انرژی، ۶۳۵ کیلووات انرژی الکتریکی تولید گردید که منجر به حذف ۳۱۷/۵ کیلوگرم بر ساعت گاز گلخانه ای می‌گردد.</p>
<p><b>واژگان کلیدی:</b>            کوره سیمان،            بازیافت انرژی،            اتلاف حرارتی،            سیکل رانکین آلی.</p>	

### ۱- مقدمه

گلخانه‌ای نیز در سال‌های گذشته اهمیتی چند برابر یافت و شاخص‌های کیفی تولید و مصرف انرژی را تحت تاثیر قرار داد [۲].

آگاهی از محدودیت منابع انرژی و منطق اقتصادی در دنیا باعث شده است که بسیاری از کشورها در مورد سیاست‌های خود در زمینه استفاده از انرژی تجدید نظر کنند [۳] و از هدر رفتن انرژی جلوگیری نمایند این امر همچنین باعث شده که جوامع علمی توجه خود را به روش‌های بازیافت انرژی و روش‌های جدید جهت استفاده بهینه از منابع غیرقابل بازگشت انرژی موجود جلب نمایند. کشورهای در حال توسعه و کشورهایی با موقعیت شبیه کشورمان با یک چالش بزرگ مواجه هستند که عبارت است از فراهم کردن

صنعت سیمان یکی از صنایع فعال کشور است که توانسته رقم قابل توجهی از اشتغال و اقتصاد و رفاه عمومی را در کشور به خود اختصاص دهد. اکثر کشورهای جهان به ویژه کشورهای در حال توسعه ناچار به تولید این محصول می‌باشند و همچنین میزان مصرف سیمان یکی از شاخص‌های توسعه و پیشرفت به شمار می‌رود [۱].

محدودیت منابع فسیلی، آلاینده‌گی محیط زیست، مدیریت مصرف انرژی کلید واژه‌هایی که همگی امروزه جزو موضوعات روز دنیای انرژی هستند که دغدغه‌ی بین المللی کشورهای کوچک، بزرگ و پیشرفته محسوب می‌شوند. بحث گرمایش جهانی و افزایش خطرات انتشار گازهای

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: m.r\_sardashti@eng.usb.ac.ir

۱. کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲. استادیار، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳. استاد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۴. دانشجو دکتری، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

الکتریسیته از آن در کارخانه سیمان سومیتومو با ظرفیت ۵۵۰۰ تن کلینکر در ازکای ژاپن در سال ۱۹۸۵ انجام شد [۸].

در سال ۱۹۸۷ دوهیم و دستیاران به بررسی انرژی اتلافی از کارخانه سیمان پرداختند و طی بررسی‌ها به پیشنهاداتی برای عایق بندی برخی تجهیزات ارائه دادند که منجر به کاهش دو درصد از سوخت مصرفی شد [۹].

گسترش و پیشرفت تکنولوژی زمینه‌ای را فراهم کرد که در کارخانه سیمان سیام در کشور تایلند با ظرفیت تولید ۵۵۰۰ تن کلینکر از انرژی اتلافی آن حدود ۹۱۰۰ کیلو وات انرژی الکتریکی تولید کنند در حالی که در سال ۱۹۸۵ در کارخانه سیمان ژاپن با همین ظرفیت در سال ۱۹۸۵ به میزان ۲۶۴۰ کیلو وات انرژی الکتریکی تولید می‌شد [۸].

در سال ۲۰۱۰ سوگوت و همکاران مدل سازی ریاضی برای بازیابی حرارتی اتلافی اطراف کوره بر روی کارخانه سیمان کشور ترکیه پرداختند که طبق محاسبات حدود ۴۹ درصد از این انرژی به هدر می‌رفت [۱۰].

در سال ۲۰۱۱ کاپوتو و دستیاران به محاسبه انرژی پرت حرارت تابشی اطراف کوره سیمان پرداختند و سپس با طراحی لوله‌های حاوی آب اطراف کوره مقداری از این انرژی را بازیابی کردند [۱۱].

در سال ۲۰۱۳ کمپانا و دستیاران انرژی اتلافی در صنعت اروپا را با سیکل رانکین آلی بازیابی کردند که طی این پژوهش به بهینه سازی این انرژی منجر شد و در نتیجه از آزادسازی حدود ۷.۶ میلیون تن گاز کربن دی اکسید به محیط جلوگیری شد [۱۲].

کارلاس و دستیاران در سال ۲۰۱۳ به بررسی سیستم بازیافت انرژی اتلافی توسط دو سیکل رانکین الی و رانکین بخار پرداختند که در این پژوهش به این نتیجه رسیدند که در دماهای بالاتر از ۳۱۰ درجه سانتیگراد سیکل رانکین بخار سیکل مناسب تری جهت بازیابی اتلاف حرارتی می‌باشد [۱۳].

فرغانی و دستیاران در سال ۲۰۱۶ به بررسی سیکل رانکین آلی با سیال‌های مختلف پرداختند تا بازیابی گرمای اتلاف از کارخانه سیمان را بررسی کنند [۱۴].

محمدی و همکاران در سال ۲۰۱۶ چندین روش بازیابی حرارت اتلافی از کارخانه سیمان را مورد بررسی قرار دادند که دو منبع با دماهای بالا و پایین برای این روش‌ها پیشنهاد

انرژی پاک و مقرون به صرفه برای ارتقا کیفیت زندگی و سلامت جامعه و پشتیبانی اقتصاد، که برای رسیدن به این هدف یک برنامه ریزی در مورد استفاده انرژی ضروری به نظر می‌رسد.

برای تولید سیمان اکثراً از کوره‌های دوار در کارخانه‌های سیمان استفاده می‌شود که برای تولید حدود  $4 GJ$  انرژی در هر تن مصرف می‌کنند در صورتی که از لحاظ نظری تولید یک تن کلینکر نیازمند حداقل  $1.6 GJ$  گرما می‌باشد [۴].

در حقیقت متوسط مصرف انرژی ویژه برای تولید هر تن سیمان در حدود  $2.95 GJ$  انرژی نیاز دارد. این در حالی است که در برخی کشورها مصرف انرژی از  $5 GJ$  در هر تن سیمان تولیدی نیز بیشتر است. حتی در برخی از کارخانه‌های کلیدی در چین با متوسط مصرف انرژی  $5.4 GJ$  در تن سیمان تولید می‌کنند [۵].

کاهش هزینه‌های انرژی مصرفی به طور مستقیم و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی همگی از مزایای غیر مستقیم بازیافت حرارت از جریان‌های خروجی و سطح کوره می‌باشد. بازیافت حرارت در کارخانه‌های سیمان یکی از روش‌های مرسوم جهت افزایش بازده انرژی مصرفی است. بازیافت حرارت از سطح بدنه کوره منبع اصلی تامین حرارت سیستم بازیافت انرژی در کارخانه‌ی سیمان می‌باشد [۶].

هدف از مقاله حاضر، بازیافت انرژی حرارتی از سیستم پخت کارخانه سیمان سفید نی ریز می‌باشد. که در ابتدا اتلاف انرژی در حجم کنترل مورد نظر را بررسی و محاسبه کرده سپس راهکاری جهت استفاده بهتر و بازیافت انرژی حرارتی صورت گرفته شده است.

بازیافت انرژی حرارتی مورد نظر از بدنه کوره و گازهای خروجی پیش گرمکن و کولر محاسبه می‌گردد.

راهکارهای استفاده از این انرژی اتلافی توسط نرم افزار شبیه ساز اسپن پلاس به تولید انرژی الکتریکی توسط سیکل رانکین آلی پرداخته شده است.

## ۲- پیشینه تحقیق در مورد بازیافت حرارت در صنعت سیمان

مدل سازی انرژی اولین بار توسط ریستاد در سال ۱۹۷۵ در آمریکا صورت گرفت و به دنبال آن در کشورهایی مانند سوئد، ژاپن، ایتالیا این روند دنبال شد [۷].

اولین بار ایده استفاده از انرژی اتلافی و تولید جریان

انرژی حرارتی در کوره و برای تامین آب گرم در محیط کارخانه به کار گرفته می‌شود که این انرژی از طریق سوخت های فسیلی یا زغال سنگ حاصل می‌شود. هزینه تامین حامل های انرژی برای تامین حرارت و نیروی محرکه بخش قابل توجهی از هزینه تولید را شامل می‌شود که در حدود ۴۵ درصد از هزینه تولید سیمان صرف خرید انرژی می‌شود بنابراین هر طرحی که در مصرف انرژی صرفه جویی کند بر کارایی صنعت سیمان تأثیر زیادی می‌گذارد.

### ۳-۱- معیارهای مصرف انرژی و راهکارهای آن

محاسبات و پیش بینی های مصرف انرژی در هر صنعتی بر اساس اصول و معیارهایی که سازمان ملی استاندارد تعریف می‌کند صورت می‌گیرد. صنعت سیمان به عنوان یکی از صنایع پر مصرف و آینده شناخته می‌شود بنابراین این صنعت به عنوان مبنایی برای محاسبه مصرف و بهینه سازی انرژی مورد بررسی قرار گرفته است که در حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد از قیمت محصول را شامل می‌شود. آخرین آمار وزارت صنعت، معدن و تجارت کشور نشان می‌دهد که تولید سیمان سه درصد از کل مصرف انرژی کشور و ۱۴ درصد مصرف انرژی بخش صنعت را شامل می‌شود. مصرف ویژه انرژی این صنعت در طول سال های اخیر روند کاهشی داشته است و برنامه ریزی های صورت گرفته در این حوزه در صدد کاهش مصرف و رسیدن به معیار مصرف انرژی الکتریکی به ۹۰ کیلو وات بر ساعت به ازای تولید یک تن سیمان و ۱۲۰ کیلو کالری برای تولید یک کیلو گرم کلینکر صورت گرفته است [۱۹].

راهکارهای بهینه سازی و کنترل انرژی در صنعت سیمان منوط به بکارگیری تجهیزات پیشرفته و فناوری ها توسط کارخانه های سیمان می‌باشد که عبارتند از:

- تولید برق از طریق بازیافت انرژی حرارتی
- بروز رسانی ابزارهای کنترل فرایند و نظارت دقیق تر آن
- استفاده از تجهیزات پیشرفته در جهت کاهش مصرف انرژی مانند آسیا غلتکی، پری کلساینر بهینه، سیکلون پیش گرمکن با فشار پایین، خنک کن مدرن، پرس غلتکی، موتور کارا،
- استفاده از فناوری های دوستدار محیط زیست مانند نانو فناوری
- کنترل و بهینه سازی فرآیند تولید

شد که در دماهای پایین سیکل رانکین الی عملکرد بهتری را از خود نشان داد [۱۵].

عمار سینگ و دستیاران در سال ۲۰۱۸ با نوشتن موازنه جرم و انرژی در واحد خوراک کوره کارخانه سیمان به بازیابی انرژی اتلافی در بخش مواد خام کارخانه سیمان پرداختند [۱۶].

محمدی و امیری راد در سال ۲۰۱۸ به بازیابی حرارت اتلافی از کارخانه سیمان با استفاده از سیکل رانکین پرداختند که طی این پژوهش مشخص شد که استفاده از حرارت اتلافی دودکش های کارخانه سیمان به شدت تحت تاثیر فشار بویلر بازیاب سیکل می‌باشد [۱۷].

احمد و همکاران در سال ۲۰۱۸ به بهینه سازی سیکل رانکین آلی مورد استفاده جهت بازیابی حرارت اتلافی کارخانه سیمان پرداختند که مشخص گردید سیال R134a زمانی که دمای ورودی توربین بین ۱۲۰ تا ۲۲۰ می‌باشد بیشترین کارایی را دارد [۱۸].

### ۳- انرژی و تاثیر آن بر هزینه تولید سیمان

در علم فیزیک انرژی به دو بخش تقسیم می‌شود:

❖ انرژی

❖ انرژی

**انرژی:** بخش مفید انرژی می‌باشد.

تجزیه و تحلیل انرژی به ما کمک می‌کند تا بهترین استفاده را از منابع انرژی ببریم که در نتیجه منجر به کاهش آلودگی محیط زیست شود که پیامد آن تاثیر بر روی زندگی و سلامت جامعه می‌باشد. در واقع تحلیل انرژی ارزیابی عددی فرایند را برای ما انجام می‌دهد که در آن نواقص ترمودینامیکی فرایند را برای ما شفاف می‌کند. صنعت سیمان انرژی زیادی مصرف می‌کند که نیازمند به بررسی مصرف انرژی می‌باشد.

**انرژی:** در واقع به نوعی از انرژی تبدیل می‌شود که ممکن است برای ما مفید یا غیر مفید باشد.

فرایند تولید سیمان شامل مجموعه تجهیزاتی است که راه اندازی آن ها نیازمند صرف مقدار زیاد انرژی حرارتی و نیروی محرکه است. از انرژی الکتریکی جهت تولید نیروی محرکه برای به حرکت درآوردن آسیاب های مواد خام و سیمان، سنگ شکن وغیره استفاده می‌شود.

سطح خنک تر می‌باشد) و دمای بیرونی سطح کوره در این قسمت به طور میانگین ۳۸۰ درجه سانتی گراد در صورتی که دمای سطح زیاد شود از فن برای خنک کردن آن ناحیه استفاده می‌شود که این فن‌ها انرژی الکتریکی کمی مصرف می‌کنند یا می‌توان لوله‌هایی روی سطح بدنه کوره قرار داد (به گونه‌ای که در تعمیرات مشکل ایجاد نکند) و آب درون آن جریان داشته باشد که آب گرم شده را در محل‌های مورد نیاز استفاده کنیم و یا توسط ژنراتور انرژی الکتریکی از آن برق تولید کنیم و همچنین به عنوان هوای پیش گرم به مشعل وارد شود. اما فن‌ها را از مدار خارج نمی‌کنیم برای اطمینان و امنیت بیشتر هم فن و هم لوله‌ها می‌توانند در کنار هم باشند که در صورت ضرورت (سرخ شدن پوسته کوره) از هر دو روش استفاده کرد و در قسمت‌های پایانی کوره به دلیل کم بودن حرارت داخل کوره (ناحیه تثبیت فاز) گرمای کمتری به سطح کوره می‌رسد که دمای بیرونی سطح کوره در این قسمت به طور میانگین ۲۸۰ درجه سانتی گراد می‌باشد.

البته میزان دمای سطح کوره در تابستان و زمستان مقداری متفاوت است ولی در هر صورت با توجه به حالت‌های ممکن، استفاده از این طرح‌ها مناسب و کارآمد می‌باشد.

#### ب- بازیافت حرارت اتلافی گازهای خروجی پیش گرمکن و کولر

یکی از محدودیت‌های اساسی سیستم بازیافت حرارت اتلافی در استفاده از غبار گرم هوای خروجی وجود مقدار زیاد این غبار می‌باشد که دارای مشکلات زیست محیطی و همچنین مشکلاتی را برای پرسنل کارخانه و محیط اطراف و روستاهای نزدیک کارخانه به وجود می‌آورد لذا از فیلترهایی برای جذب غباربایستی استفاده شود .

(جنس الکتروفیلترها اکثرا از فولاد نرم بوده و به لحاظ مقاومتی محدودیت دمایی دارد و بنابراین بایستی دمای گازهای خروجی پیش گرمکن و کولر کاهش یابد که معمولا توسط یک کندانسور پاششی مقداری دما را کاهش می‌دهند و سپس وارد فیلتر می‌شود که همین امر سبب کاهش انرژی مخصوص گازهای ورودی به مبدل یا بویلر منظور بازیابی حرارتی می‌گردد.

#### ۴-۲- عوامل موثر بر امکان پذیری بازیافت حرارت اتلافی

ارزیابی امکان پذیری بازیافت حرارت اتلافی نیاز به دانستن

- دستگاه گرمایشی بهینه
- آزمایشگاه‌های پیشرفته

تولید همزمان برق از طریق بازیافت انرژی حرارتی از سطح بدنه کوره در بسیاری از کارخانه‌ها با طرح‌های انگیزشی دولتی مانند معافیت مالیاتی این فناوری به اجرا در آمده تا با استفاده از حرارت‌های پرت، تولید برق صورت گیرد که پیامد آن صرفه جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش دی اکسید کربن تولید شده و در نتیجه حفظ محیط‌زیست و سلامت جامعه می‌باشد.

#### ۴- تعریف بازیافت حرارت

تلفات حرارت بر اثر ناکارآمدی تجهیزات و محدودیت‌های ترمودینامیکی فرآیندها و تجهیزات ناشی می‌شود. بازیابی اتلاف حرارت از روش‌های مختلفی می‌تواند صورت گیرد که این گرما هم می‌تواند در فرایند مجددا استفاده گردد یا به واحد دیگری انتقال یابد. راه‌های استفاده مجدد از گرما شامل استفاده از گازهای خروجی احتراق برای پیش گرم کردن هوای احتراق یا گرم کردن یا پیش گرمایش آب مورد استفاده در سیستم‌های گرمایش و شستشو که با پیش گرم شدن مقدار انرژی مورد نیاز برای گرم کردن آب کاهش می‌یابد که این انرژی جایگزین انرژی فسیلی و یا کاهش مصرف آن در فرایند می‌شود. گرما را می‌توان به عنوان سیال داغ وارد یک مبدل حرارتی کرد و در خشک کن‌ها مورد استفاده قرار داد که منجر به کاهش هزینه‌های عملیاتی و انتشار آلاینده‌های محیط‌زیست می‌شود و دیگر تاثیر بازیافت حرارت این است که ظرفیتی گرمای مورد نیاز را کاهش دهد که منجر به کاهش هزینه‌های تجهیزات و در نهایت کاهش سرمایه گذاری اولیه گردد.

#### ۴-۱- بازیافت انرژی حرارتی

##### الف- بازیافت انرژی حرارتی از بدنه کوره

در قسمت ابتدایی و انتهایی کوره به علت پایین بودن دمای داخلی کوره در این نقاط و همچنین نقاطی از کوره که کوتینگ روی اجزای نسوز قرار گرفته است، در این نقاط دمای دیواره خارجی کوره کمتر از نواحی دیگر است دمای بیرونی سطح کوره در این قسمت به طور میانگین ۳۲۰ درجه سانتی گراد است، در صورتی که در منطقه پخت دمای داخلی کوره به حدود ۱۴۰۰ تا ۱۵۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد که سطح بیرونی کوره داغ تر از بقیه نقاط می‌باشد(البته هر محلی که کوتینگ باشد دمای بیرونی

بیان مفید بودن حرارت می‌باشد در صورتی که مقدار حرارت بیانگر کمیت می‌باشد که تابعی از دبی جریان و دما می‌باشد به صورت رابطه زیر نشان داده می‌شود.

$$E = mht \quad (۱)$$

h: آنتالپی

m: دبی جریان

t: دمای جریان

E: انرژی اتلافی

آنتالپی (تابع حالت است) که مقدار ثابت ندارد و بایستی آن را نسبت به یک حالت مرجع اندازه گیری کرد که در صنعت با توجه به این که گاز نباید مایع شود (در صورت رسیدن به نقطه شبنم خوردگی درون مبدل ایجاد می‌کند) دمای مرجع برای هر گاز و سیالی متفاوت می‌باشد بنابراین مقدار آنتالپی آن متفاوت است.

#### ۴-۲-۳- کیفیت حرارت اتلافی و سطح معادل حرارتی

دمای حرارت یکی از مشخصه‌های کلیدی در تعیین امکان‌پذیری بازیافت حرارتی از حرارت‌های اتلافی می‌باشد که می‌تواند بسیار متغیر باشد به طور مثال آب خنک سازی با دمای کمتر از نقطه جوش حدود ۹۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد از سیکل برمی‌گردد در صورتی که در برخی کوره‌ها دمای سیال بیشتر از ۱۳۲۰ درجه سانتی‌گراد است برای فرایند انتقال حرارت طبق قانون ترمودینامیک باید دمای منبع گرم بیشتر از دمای منبع سرد باشد که اختلاف دمای این دو منبع عامل اصلی تحلیل و بررسی می‌باشد که هرچه این اختلاف بیشتر باشد بهتر است که باعث می‌شود نرخ انتقال حرارت سطح بدل و بازده آن بیشتر شود که روی جنس لوله‌ها و طراحی مبدل حرارتی بسیار تاثیرگذار است. اختلاف حرارت منبع سرد و گرم را می‌توان به سه دسته از لحاظ کیفیت دسته‌بندی کرد که عبارت اند از:

کیفیت پایین کمتر از ۲۳۲ درجه سانتی‌گراد ( $T < 505 K^\circ$ )

کیفیت متوسط ۲۳۲ تا ۶۴۹ درجه سانتی‌گراد ( $505 < T < 922 K^\circ$ )

کیفیت بالا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد و بالاتر ( $T > 922 K^\circ$ ) [۳۹]

پارامترها، محاسبه حرارت تلف شده و شناخت جریان‌های گرما دارد که پارامترهای مهم جریان عبارتند از: حداقل دمای مجاز، کمیت گرما، کیفیت حرارت اتلافی، ترکیب شیمیایی جریان و انتخاب مواد، در دسترس بودن و عوامل لجستیکی.

این پارامترها بررسی کمی و کیفی جریان‌ها را انجام می‌دهند که آیا این جریان پتانسیل بهره برداری را دارد و همچنین در مورد محدودیت‌های طراحی و ساخت دید مناسبی را به وجود می‌آورد به عنوان نمونه خوردگی مسیر انتقال حرارت یکی از معضلات اصلی در بازیافت حرارت اتلافی می‌باشد. وقتی که کمیت و کیفیت جریان مقبول باشد امکان‌پذیری بازیافت حرارت اتلافی مشخص می‌شود.

#### ۴-۲-۱- حداقل دمای مجاز

حداقل دمای مجاز جریان‌های اتلافی اکثراً مربوط بحث و معضل خوردگی مربوط می‌شود. البته خوردگی به نوع سوخت و مواد مصرفی نیز بستگی دارد به طوری که گاز خروجی از دودکش‌ها زمانی که سوخت مازوت می‌باشد با زمانی که سوخت گاز می‌باشد کمی متفاوت است به این دلیل که در مازوت مقدار بیشتری گوگرد وجود دارد که در نتیجه آنالیز گازهای خروجی از دودکش متفاوت می‌باشد که گازهای خروجی حاوی مقدار زیادی گاز کربن دی‌اکسید، بخار آب، NOx و SOx می‌باشد. مبدل‌های حرارتی طوری طراحی می‌شوند که دمای گاز گرم خروجی از دودکش به کمتر از نقطه شبنم نرسد چون وقتی گازهای خروجی از دودکش مایع شوند غلظت مواد خورنده آن‌ها بالا می‌رود که باعث می‌شود مبدل‌های بی کیفیت و مواد حساس را سریع تخریب و درون آن‌ها خوردگی ایجاد کنند. که همان گونه که سوخت در گازهای خروجی تاثیرگذار هست بنابراین این گازها نقطه شبنم متفاوتی دارند که بعنوان مثال زمانی که سوخت از نوع گاز شهری می‌باشد در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد مایع می‌شود اما مازوت و زغال سنگ که سولفور بیشتری دارند گاز خروجی حاصل از سوختن آن‌ها در دمای ۱۷۵ درجه به نقطه شبنم برسد در صورتی که در فرایند تولید شیشه که گازهای خروجی دودکش آن شامل سولفور است در دمای ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد به نقطه شبنم برسد.

#### ۴-۲-۲- کمیت گرما

گرما حاوی حرارت یا انرژی می‌باشد. کیفیت پارامتری برای

یابد. یکی از تاثیرات ترکیب شیمیایی قابلیت رسوب‌پذیری مواد است که باعث می‌شود برای رفع این مشکل فیلتر گذاری شود، سطح مبدل افزایش یابد و قابلیت تمیزکاری آسان مبدل فراهم شود که همه‌ی این پارامترها طراحی را خاص تر می‌کند.

#### ۴-۲-۵- مقیاس اقتصادی در دسترس بودن و عوامل

##### دیگر

عوامل دیگری نیز وجود دارد که برای تشخیص بازیابی حرارتی می‌تواند به ما کمک کند. عواملی مانند کمبود سرمایه که بیشتر در کارگاه‌ها و واحدهای صنعتی کوچک مشکل آفرین می‌شوند و همچنین مدت زمان بازگشت سرمایه تاثیر زیادی بر روی احداث سیستم‌های بازیابی حرارت دارند.

عامل دیگر زمان بندی انجام فرایند و دسترس بودن منبع آن به طور پیوسته می‌باشد که باعث شده در تصمیم‌گیری-های سیستم بازیابی حرارت مطرح شود که به عنوان نمونه صناعی که فرایندهای آن‌ها به صورت پیوسته نمی‌باشد باعث می‌شود که منبع سرد یا گرم دائم در دسترس نباشد که نوسان‌هایی دمایی زیادی را در مبدل به وجود می‌آورد که باعث آسیب، خورگی شود و بازده مبدل را کاهش می‌دهد بنابراین در ساعاتی که منبع گرم در دسترس نیست بایستی به دنبال منبع جایگزین باشیم که در صورت نیاز به این تجهیزات با توجه به هزینه‌های آن‌ها شاید مقرون به صرفه نباشد.

یکی دیگر از عوامل محدودیت فضا و همچنین دسترسی سخت به منبع سرد یا گرم می‌باشد که در برخی صنایع به علت قرارگیری فشرده تجهیزات در کنار هم به دشواری می‌توان به منبع گرم دسترسی داشت یا سیستم بازیابی حرارتی قرار داد در صورتی که نیاز به تجهیزات کمکی برای منبع باشد کار را دشوارتر می‌کند البته اغلب سیالات داغ یا سرد قابلیت انتقال راحت توسط لوله کشی‌ها را دارند اما اکثر جریان‌های گرم یا سرد جامد با داشتن انرژی بالا مانند کوره سیمان، شمش طلا و فولاد و غیره دسترسی سخت تری نسبت به سیالات دارند.

#### ۵- بازیافت انرژی اتلافی فرایند تولید کلینکر

فرایند تولید سیمان در کارخانه سیمان سفید نی ریز مطابق شکل (۱) صورت می‌گیرد، مواد اولیه از معدن به کارخانه حمل شده و در قسمت سنگ‌شکن به قطعات ریزتر تبدیل

دمای حرارت اتلافی به طور مستقیم بر نرخ انتقال حرارت، طراحی و سطح مبدل بین منبع سرد و گرم تاثیر می‌گذارد که قابلیت امکان‌پذیری بازیافت حرارت را طبق زیر می‌توان مشاهده کرد

$$Q=AU\Delta T \quad (2)$$

Q: نرخ انتقال حرارت

A: سطح مقطع انتقال حرارت

U: ضریب انتقال حرارت

$\Delta T$ : اختلاف دما دو منبع

طبق این رابطه متوجه شدیم که نرخ انتقال حرارت با ضریب انتقال حرارت رابطه مستقیم دارد، در صورتی که اختلاف دما کاهش یابد (رابطه بازده کارنو  $\varphi = 1 - \frac{T_L}{T_H}$ ) حداکثر بازدهی ممکن برای یک موتور می‌باشد که اگر آن را در نظر بگیریم متوجه می‌شویم هرچه اختلاف دمای منبع سرد و گرم بیشتر شود، بازدهی افزایش می‌یابد و برعکس) برای جبران آن بایستی سطح انتقال حرارت یا ضریب انتقال را افزایش داد که ضریب انتقال حرارت وابسته به جنس‌های خاص مواد می‌باشد. بنابر این سطح انتقال حرارت را افزایش می‌دهیم که البته این سطح نیز دارای یک مقدار بهینه در طراحی می‌باشد.

#### ۴-۲-۴- ترکیب شیمیایی جریان و انتخاب مواد

دمای منبع حرارتی تاثیر پیچیده‌ای بر انتخاب جنس مواد در مبدل‌های حرارتی می‌گذارد. به این علت که زمانی دما بالا می‌رود خوردگی و اکسید شدن به صورت چشم‌گیر افزایش می‌یابد که به عنوان مثال فولاد ضد زنگ در دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد شروع به اکسید شدن می‌کند که به سرعت مبدل را خراب می‌کند و بایستی برای ساخت مبدل از الیازها و مواد خاص با هزینه بالا استفاده کرد یا این که با تزریق گاز به غبار دما را کاهش دهیم تا از خرابی مبدل جلوگیری شود.

اگر چه ترکیب شیمیایی ماده مورد نظر به طور مستقیم بر کمیت و کیفیت حرارت تاثیر ندارد اما بر فرایند بازیافت و جنس مواد انتخابی برای مبدل تاثیر گذار می‌باشد. ترکیب شیمیایی روی ظرفیت گرمایی و انتقال حرارت تاثیر گذار است که در نهایت روی عملکرد و بازده مبدل حرارتی متمرکز می‌شود و باعث می‌شود طراحی و هزینه افزایش

۱. انرژی حرارتی مشعل کوره
۲. انرژی حرارتی مشعل کلساینر

### خروجی

۱. انرژی غبار خارج شده از پری هیتر
۲. اتلاف حرارت از بدنه پری هیتر
۳. اتلاف حرارت از بدنه کوره
۴. اتلاف حرارت از بدنه کولر
۵. انرژی گرفته شده توسط آب کولر
۶. انرژی گرفته شده توسط آب لوله های گریزلی
۷. انرژی خارج شده توسط کلینکر
۸. غبار خروجی از الکتروفیلتر

### ۳- موازنه انرژی خروجی سیستم پخت

#### ورودی

۱. غبار خارج شده از پری هیتر خروجی

#### خروجی

۱. خروجی از الکتروفیلتر پری هیتر
۲. غبار به سمت آسیاب مواد
۳. آب درون کاندیشن تاور
۴. مواد خروجی از کاندیشن، ایرهیتور و الکتروفیلتر
۵. اتلاف حرارت از بدنه الکتروفیلتر
۶. اتلاف حرارت از بدنه ایر هیتر
۷. اتلاف حرارت از بدنه کاندیشن تاور
۸. اتلاف حرارت در طول مسیر

در ادامه مبحث کلیه محاسبات و موازنه ها به شرح زیر ارائه شده است:

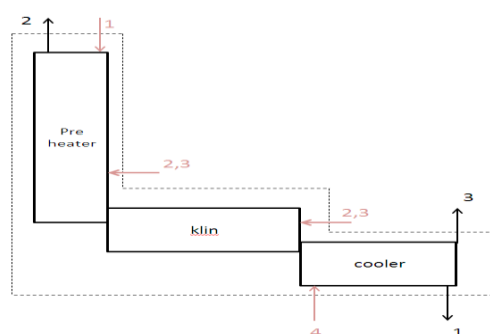
#### ۵-۱- موازنه جرم

##### ۵-۱-۱- موازنه جرم ورودی

##### ۵-۱-۱-۱- موازنه جرم مواد خام

مواد خام (خوراک کوره) ورودی به کوره برابر  $33/6$  تن بر ساعت می باشد.

می شود سپس با نسبت های مشخص سنگ های شکسته شده توسط استاکر درون سالن اختلاط ریخته شده و با دستگاه ریکلایمر برداشته و روی نوار قرار می گیرد تا به آسیاب مواد حمل شود، در آنجا به صورت پودر شده وارد سیلو می شود و به وسیله ای رلیفت به پری هیتر منتقل و فرایند پخت آغاز شده و سپس وارد کوره، در مرحله بعد جهت خنک سازی وارد کولر می شود. کلینکر تولید شده از کولر خارج و توسط نوار نقاله به سیلوی کلینکر انتقال می یابد که در آسیاب سیمان با نسبت های مشخص مواد مخلوط شده و به صورت پودر وارد سیلوی سیمان و سپس در بارگیرخانه مراحل بسته بندی و انتقال ان انجام می شود.



شکل ۱- نمایش جریان مواد ورودی به سیستم پخت

به طور کلی می توان محاسبه مربوط به موازنه جرم و انرژی را به صورت زیر تقسیم بندی نمود:

#### ۱- موازنه جرم

##### ورودی

۱. جریان مواد خام
۲. سوخت (مشعل کوره و کلساینر)
۳. هوا
۴. جریان آب ورودی به کولر

##### خروجی

۱. کلینکر
۲. غبار خروجی از پری هیتر
۳. بخار آب و غبار خروجی از کولر

#### ۲- موازنه انرژی سیستم پخت

##### ورودی



$$m_{water} = 8 \text{ K liter/hr} * 998.2 \text{ Kg/m}^3 \\ = 7985.6 \text{ Kg/hr}$$

۵-۱-۲- موازنه جرم خروجی

۵-۱-۲-۱- جریان کلینکر

مواد خام (خوراک کوره) ورودی به کوره برابر ۳۳/۶ تن بر ساعت می‌باشد، مقدار کلینکر تولیدی برابر ۲۰/۷۶۴۸ تن بر ساعت می‌باشد، بنابراین ضریب مواد خام برای تبدیل شدن به کلینکر نیز ۱/۶۲ برای کارخانه سیمان سفید نی ریز می‌توان در نظر گرفت.

۵-۱-۲-۲- غبار خروجی از پری هیتر

Sp فن با دبی ۳۰۶۰ مترمکعب بر دقیقه مکش هوا را انجام می‌دهد. که چگالی مواد خروجی برابر ۱/۴ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد [۲۱].

طبق رابطه (۳)

$$m = 3060 \text{ m}^3/\text{min} * 1.4 \text{ Kg/m}^3 \\ * 60 \text{ min/hr} \\ = 257040 \text{ Kg/hr}$$

۵-۱-۲-۳- بخار آب و غبار خروجی از کولر

چگالی بخار آب خروجی از کولر برابر ۰/۵۸۶۳ در نظر گرفته شده است [۲۰].

طبق رابطه (۳) خواهیم داشت:

$$m = 750 \text{ m}^3/\text{min} * 0.5863 \text{ Kg/m}^3 \\ * 60 \text{ min/hr} \\ = 26383.5 \text{ Kg/hr}$$

۵-۲- موازنه انرژی

شکل (۲)، جریان‌های انرژی ورودی به سیستم پخت را نشان می‌دهد.

۵-۱-۲-۱- جریان ورودی

۵-۱-۲-۱-۱- انرژی حرارتی مشعل کوره

میزان سوخت مصرفی برای مشعل کوره به طور متوسط برابر ۲۴۰۰ متر مکعب بر ساعت و برای مشعل کلساینر برابر ۸۰۰ مترمکعب بر ساعت می‌باشد. که حداقل ارزش حرارتی ۸۱۰۰ کیلوکالری بر متر مکعب است.

۵-۱-۱-۲- جریان سوخت (مشعل کوره و کلساینر)

دبی گاز مصرفی برای مشعل پیلارد کوره ۲۴۰۰ متر مکعب بر ساعت و برای مشعل کلساینر ۸۰۰ متر مکعب بر ساعت است که در مجموع سوخت مصرفی برابر ۳۲۰۰ متر مکعب بر ساعت می‌باشد.

چگالی سوخت طبق اطلاعات شرکت تولیدی برابر ۰/۶۵ کیلوگرم بر متر مکعب است.

$$m = q * \rho \quad (۳)$$

m: دبی جرمی (کیلوگرم بر ساعت)

q: دبی حجمی (متر مکعب بر ساعت)

p: چگالی (کیلو گرم بر متر مکعب)

$$m_{klin} = 2400 \text{ m}^3/\text{hr} * 0.65 \text{ Kg/m}^3 \\ = 1560 \text{ Kg/hr}$$

$$m_{pre} = 800 \text{ m}^3/\text{hr} * 0/6. \text{ Kg/m}^3 \\ = 520 \text{ Kg/hr}$$

میزان گاز فسیلی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم کلینکر برابر است با  $100/17 \text{ Kg/Tonclinker}$

۵-۱-۱-۳- جریان هوا

هوای مورد نیاز برای احتراق از طریق فن‌های اولیه و ثانویه مشعل کوره با دبی ۲۸۰۰ و ۲۹۰۰۰ متر مکعب بر ساعت که به طور میانگین با ظرفیت ۲۰ درصد کار می‌کند تامین می‌شود و همچنین فن‌های مشعل کلساینر با دبی ۴۰۰۰ متر مکعب بر دقیقه یا ۲۴۰۰۰۰ متر مکعب بر ساعت می‌باشد که با حدود ۹۰ درصد ظرفیت آن کار می‌کند. چگالی هوا ۱/۱۶ در نظر گرفته شده است [۲۰].

طبق رابطه (۳) مقدار دبی گاز محاسبه می‌گردد:

$$m = 224588.5 \text{ m}^3/\text{hr} * 1.16 \text{ Kg/m}^3 \\ = 260522.66 \text{ Kg/hr}$$

۵-۱-۱-۴- جریان آب ورودی به کولر

در هر ساعت ۸ کیلو لیتر آب به نازل‌های کولر وارد می‌شود. (هر ۱۰۰۰ لیتر یک متر مکعب است)، چگالی آب در دمای محیط ۹۹۸/۲ کیلوگرم بر ساعت در نظر گرفته شده است [۲۰].

$$Q_{total} = 1.08449280 * 10^8 \text{ KJ/hr}$$

$$= 30144960 \text{ KJ/sec}$$

۵-۲-۲-انرژی خروجی

۵-۲-۲-۱-جریان انرژی غبار خارج شده از پری هیتر:

جریان گرد و غبار داخل کوره و پری هیتر توسط فن SP کشیده می‌شود، دمای این جریان ۳۷۹/۳۱۶ درجه سانتیگراد است. دبی فن برابر است با ۳۰۶۰ مترمکعب بر دقیقه، ظرفیت گرمایی برابر ۰/۸۳ و چگالی ۱/۴ کیلوگرم بر مترمکعب در نظر گرفته شده است [۴۵].

بنابراین مقدار گرمای خروجی از سیستم برابر است:

$$MC\Delta T = Q \quad (۵)$$

$$Q = M \cdot C\Delta T = 76657649.6 \text{ KJ/hr}$$

در رابطه (۵):

Q: مقدار انرژی (کیلو ژول بر ساعت)

M: دبی حجمی (متر مکعب بر ساعت)

C: ظرفیت گرمایی ویژه (کیلو ژول بر کیلو گرم کلونین)

ΔT: اختلاف دما (کلونین)

۵-۲-۲-۲-جریان اتلاف حرارت از بدنه پری هیتر:

محاسبه انتقال حرارت پری هیتر مربوط به سیکلون‌ها، داکت‌ها و میل شوت می‌باشد که هر یک به صورت جداگانه اندازه‌گیری شده است.

سیکلون شماره یک:

$$A_{C_{total}} = 126.784$$

$$Ra_D = \frac{[g\beta(T_S - T_\infty)L^3]}{\nu\alpha} \quad (۶)$$

$$Ra_D = 3.15589 * 10^{12}$$

جدول ۱- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت سیکلون یک قسمت پری هیتر

A(m <sup>2</sup> )	D (m)	$\beta * 10^3 (\frac{1}{K})$	T <sub>∞</sub> (K°)	T <sub>f</sub> (K°)	T <sub>S</sub> (K°)	L(m)
126.784	3.212	2.83	293.15	353.15	413.15	8.496

$$q = m \cdot (LHV) \quad (۴)$$

$$q_{klin} = m \cdot (LHV)$$

$$= 2400 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$* 8100 \text{ Kcal/m}^3$$

$$* 4.184 \text{ KJ/K cal}$$

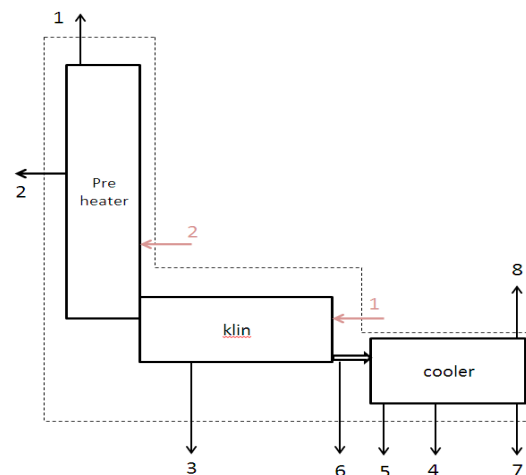
$$= 81336960 \text{ KJ/hr}$$

در رابطه (۴):

q: دبی انرژی (کیلو ژول بر ساعت)

m: دبی حجمی (مترمکعب بر ساعت)

LHV: حداقل ارزش حرارتی (کیلو کالری بر ساعت)



شکل ۲- نمایش جریان‌های انرژی ورودی به سیستم پخت

۵-۲-۱-۲-انرژی حرارتی مشعل کلساینر

طبق رابطه (۴):

$$q_{pre} = m \cdot (LHV)$$

$$= 800 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$* 8100 \text{ Kcal/m}^3$$

$$* 4.184 \text{ KJ/K cal}$$

$$= 27112320 \text{ KJ/hr}$$

جدول ۲- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت سیکلون یک قسمت پری هیتر [۲۰]

$T(K^\circ)$	$\rho(Kg/m^3)$	$C_p(KJ/Kg\ k^\circ)$	$\mu * 10^7 (N/S/m^2)$	$\nu * 10^6 (m^2/s)$	$k * 10^3 (W/m/k)$	$\alpha * 10^6 (m^2/s)$	$Pr$
353.15	0.995	1.009	209.58	21.275	30.239	30.429	0.7

در رابطه (۱۰):

$Nu$ : عدد ناسلت

$R_{aD}$ : عدد رایلی

$Pr$ : عدد پرانتل

$$h = (Nu\ k)/L \quad (11)$$

$$h = \frac{NU * K}{L} = 5.716\ W/m^2K^\circ$$

در رابطه (۱۱):

$h$ : ضریب انتقال حرارت جا به جایی ( $W/m^2k$ )

$Nu$ : عدد ناسلت

$k$ : ضریب انتقال حرارت هدایتی ( $W/m^2k$ )

$L$ : طول (متر)

$$Q_{conve} = hA(T_s - T_\infty) \quad (12)$$

$$\begin{aligned} q_{conve} &= hA(T_s - T_\infty) \\ &= 5.716 * 126.784 \\ &\quad * (413.15 - 293.15) \\ &= 86.9709\ KW \end{aligned}$$

$Q_{conve}$ : انتقال حرارت جا به جایی (وات)

$h$ : ضریب انتقال حرارت جا به جایی (وات بر متر مربع کلون)

$A$ : مساحت (متر مربع)

$T_s$ : دمای سطح (کلون)

$T_\infty$ : دمای محیط (کلون)

اتلاف حرارت ناشی از تشعشع

$$Q_{RAD} = \sigma \epsilon_{rad} A (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (13)$$

$$\begin{aligned} Q_{Rad} &= 5.67 * 10^{-8} * 0.78 * 126.784 \\ &\quad * (413.15^4 - 293.15^4) \\ &= 121.9606\ KW \end{aligned}$$

طبق رابطه (۶):

$g$ : شتاب گرانش (متر بر مجذور ثانیه)

$\beta$ : ضریب انبساط حجمی گرمایی (یک بر کلون)

$T_s$ : دمای سطح (کلون)

$T_\infty$ : دمای محیط (کلون)

$L$ : طول (متر)

$\nu$ : ویسکوزیته سینماتیکی (مترمربع بر ثانیه)

$\alpha$ : ضریب نفوذ (متر مربع بر ثانیه)

$$Gr = R_{aD} / Pr \quad (7)$$

$$4.5084 * 10^{12} = Gr$$

در رابطه (۷):

$Gr$ : عدد گرافش

$R_{aD}$ : عدد رایلی

$Pr$ : عدد پرانتل

$$(D/L) \geq (35/Gr^{0.25}) \quad (9)$$

$$\frac{D}{L} \geq \frac{35}{Gr^{0.25}}$$

$$\frac{3.212}{8.496} \geq \frac{35}{1457}$$

در رابطه (۹):

$D$ : قطر (متر)

$L$ : طول (متر)

$Gr$ : عدد گرافش

$Nu =$

$$[0.825 + (0.387 R_{aD}^{1/6}) / \{1 + (0.492 / Pr)^{9.16}\}]^{0.827} \quad (10)$$

$$NU = 1606.111$$

سیکلون ۲ تا سیکلون ۵ :

در رابطه (۱۳) :

مساحت سیکلون:

Q<sub>RAD</sub>: انتقال حرارت تشعشعی (وات)

$$A_C = 45.554 + 47.326 = 92.88 \text{ m}^2$$

σ: ثابت استفن-بولتزمن (وات بر متر مربع کلوین به توان

۴ عدد سیکلون هست

(چهار)

$$A_{C_{total}} = 4 * 92.88 = 371.52$$

ε<sub>rad</sub>: ضریب صدور

$$T_{SAVE} = \Sigma T/n \quad (14)$$

A: مساحت (متر مربع)

در رابطه (۱۴):

T<sub>s</sub>: دمای سطح (کلوین)T<sub>SAVE</sub>: دمای میانگین سطح (کلوین)T<sub>∞</sub>: دمای محیط (کلوین)

T: دما (کلوین)

ضریب صدور ۰/۷۸ در نظر گرفته شده است.

n: تعداد دماها

$$Q_{TOTAL} = q_{conve} + q_{Rad} \\ = 752127.4 \text{ KJ/hr}$$

جدول ۳- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت سیکلون ۲-۵ قسمت پری هیتر

L(m)	T <sub>s</sub> (K°)	T <sub>f</sub> (K°)	T <sub>∞</sub> (K°)	β * 10 <sup>3</sup> (1/k°)	D (m)	A(m <sup>2</sup> )
32.08	402	347.57	293.15	2.87	3.598	371.52

جدول ۴- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت سیکلون ۲-۵ قسمت پری هیتر [۲۰]

Pr	α * 10 <sup>6</sup> (m <sup>2</sup> /s)	k * 10 <sup>3</sup> (W/m/k)	ν * 10 <sup>6</sup> (m <sup>2</sup> /s)	μ * 10 <sup>7</sup> (N/s/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub> (KJ/Kg k°)	ρ(Kg/m <sup>3</sup> )	T(K°)
0.7	29.9	30	20.93	208.2	1.009	0.995	347.57

$$h = 5.468$$

طبق رابطه (۶)

طبق رابطه (۱۲)

$$Ra_D = 161.67 * 10^{12}$$

$$q_{conve} = 221.141 \text{ KW}$$

طبق رابطه (۷)

اتلاف حرارت ناشی از تشعشع طبق رابطه (۱۳) محاسبه گردید:

$$Gr = \frac{Ra}{Pr} = 230.96 * 10^{12}$$

$$Q_{Rad} = 307.761 \text{ KW}$$

طبق رابطه (۹)

$$Q_{TOTAL} = q_{conve} + q_{Rad} = 528.902 \text{ KW} \\ = 1904047.19 \text{ KJ/hr}$$

$$\frac{3.598}{32.08} \geq \frac{35}{3898.37}$$

$$NU = 5847.44$$

گلدونی شماره ۲ تا ۵ :

جدول ۵- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت گلدونی شماره ۲ تا ۵ قسمت پری هیتر

L(m)	T <sub>s</sub> (K°)	T <sub>f</sub> (K°)	T <sub>∞</sub> (K°)	β * 10 <sup>3</sup> (1/k°)	D (m)	A(m <sup>2</sup> )
4.56	402	347.57	293.15	87.2	472.1	06.28

جدول ۶- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت گلدونی شماره ۲ تا ۵ قسمت پری هیتر [۲۰]

$T(K^\circ)$	$\rho(Kg/m^3)$	$C_p(KJ/Kg k^\circ)$	$\mu * 10^7$ ( $N/S/m^2$ )	$\nu * 10^6$ ( $m^2/s$ )	$k * 10^3$ ( $W/m/k$ )	$\alpha * 10^6$ ( $m^2/s$ )	$Pr$
347.57	0.995	1.009	208.2	20.93	30	29.9	0.7

طبق رابطه (۱۲)

$$q_{conve} = 17.305 KW$$

اتلاف حرارت ناشی از تشعشع

طبق رابطه (۱۳)

ضریب صدور ۰/۷۸ در نظر گرفته شده است [۴۵].

$$Q_{Rad} = 23.2444KW$$

$$Q_{TOTAL} = 145977.84 KJ/hr$$

پری کلساینر(DDF)

مساحت DDF:

طبق رابطه (۶)

$$R_{ad} = 4.6433 * 10^{11}$$

طبق رابطه (۸)

$$Gr = 6.6333 * 10^{11}$$

طبق رابطه (۹)

$$\frac{1.472}{4.56} \geq \frac{35}{902.47}$$

طبق رابطه (۱۰)

$$NU = 861.093$$

$$h = 5.66 W/m^2K^\circ$$

جدول ۷- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت پری کلساینر قسمت پری هیتر

A(m <sup>2</sup> )	D (m)	$\beta * 10^3$ ( $\frac{1}{K^\circ}$ )	$T_\infty (K^\circ)$	$T_f (K^\circ)$	$T_s(K^\circ)$	L(m)
217.018	3.754	2.77	293.15	359.81	426.48	22.646

جدول ۸- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت پری کلساینر قسمت پری هیتر [۲۰]

$T(K^\circ)$	$\rho(Kg/m^3)$	$C_p(KJ/Kg k^\circ)$	$\mu * 10^7$ ( $N/S/m^2$ )	$\nu * 10^6$ ( $m^2/s$ )	$k * 10^3$ ( $W/m/k$ )	$\alpha * 10^6$ ( $m^2/s$ )	$Pr$
359.81	0.97022	1.01	212.58	22.026	30.76	31.58	0.698

طبق رابطه (۱۲)

$$q_{conve} = 166.148KW$$

طبق رابطه (۱۳)

$$Q_{Rad} = 246.636KW$$

$$Q_{TOTAL} = 1485799.2 KJ/hr$$

رایزرداکت ۲ تا ۵:

رایزرداکت به دو حالت افقی و عمودی قرار گرفته:

طبق رابطه (۶)

$$R_{ad} = 60.479 * 10^{12}$$

طبق رابطه (۸) و رابطه (۹)

$$\frac{3.754}{22.646} \geq \frac{35}{3050}$$

طبق رابطه (۱۰)

$$NU = 4227.43$$

طبق رابطه (۱۶)

$$h = 5.74 W/m^2K^\circ$$

## روش عمودی

جدول ۹- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت رایزر داکت ۵ تا ۲ حالت عمودی قسمت پری هیتر

$A(m^2)$	$D(m)$	$\beta * 10^3 (\frac{1}{k^\circ})$	$T_\infty (K^\circ)$	$T_f (K^\circ)$	$T_s(K^\circ)$	$L(m)$
202.6	1.942	2.97	293.15	335.96	378.77	33.228

جدول ۱۰- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت رایزر داکت ۵ تا ۲ حالت عمودی قسمت پری هیتر [۲۰]

$T(K^\circ)$	$\rho(Kg/m^3)$	$C_p(KJ/Kg k^\circ)$	$\mu * 10^7 (N/S/m^2)$	$\nu * 10^6 (m^2/s)$	$k * 10^3 (W/m/k)$	$\alpha * 10^6 (m^2/s)$	$Pr$
336	1.041	1.0088	201.592	19.518	28.964	27.828	0.702

اتلاف حرارت ناشی از تشعشع

طبق رابطه (۶)

طبق رابطه (۱۳)

$$R_{AD} = 168.49 * 10^{12}$$

ضریب صدور برابر ۰/۷۸ می باشد [۲۱]

طبق رابطه (۸)

$$Q_{Rad} = 118.252 KW$$

$$Gr = 2.3995 * 10^{14}$$

$$q_{total_{ver}} = q_{conve_{ver}} + q_{rad_{ver}} \\ = 207.88 KW$$

طبق رابطه (۹)

حالت افقی :

$$\frac{1.942}{33.228} \geq \frac{35}{3936.08}$$

طبق رابطه (۱۰)

طبق رابطه مقابقی

$$NU = 5929.60$$

طبق رابطه (۱۶)

$$A_{cylindrical} = 2\pi rh$$

$$A = 11.23 m^2$$

چون ۴ عدد رایزر داکت داریم

$$h = 5.168 W/m^2 K^\circ$$

طبق رابطه (۱۲)

$$A_{total} = 4 * 11.23 = 44.92 m^2$$

$$q_{conve} = 89.65 KW$$

جدول ۱۱- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت رایزر داکت ۵ تا ۲ حالت افقی قسمت پری هیتر

$A(m^2)$	$D(m)$	$\beta * 10^3 (\frac{1}{k^\circ})$	$T_\infty (K^\circ)$	$T_f (K^\circ)$	$T_s(K^\circ)$	$L(m)$
92.44	2.338	2.97	293.15	335.96	378.77	6.12

جدول ۱۲- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت رایزر داکت ۵ تا ۲ حالت افقی قسمت پری هیتر [۲۰]

$T(K^\circ)$	$\rho(Kg/m^3)$	$C_p(KJ/Kg k^\circ)$	$\mu * 10^7 (N/S/m^2)$	$\nu * 10^6 (m^2/s)$	$k * 10^3 (W/m/k)$	$\alpha * 10^6 (m^2/s)$	$Pr$
336	1.041	1.0088	201.592	19.518	28.964	27.828	0.702

g: شتاب گرانش (متر بر مجذور ثانیه)

$$Ra_D = [g\beta(T_s - T_\infty)D^3] / \nu\alpha \quad \text{طبق رابطه (۱۸)}$$

 $\beta$ : ضریب انبساط حجمی گرمایی (یک بر کلوین) $T_s$ : دمای سطح (کلوین)

$$Ra_D = 5.869 * 10^{10}$$

 $T_\infty$ : دمای محیط (کلوین)

در رابطه (۱۸) :

D: قطر (متر)

$\nu$ : ویسکوزیته سینماتیکی (مترمربع بر ثانیه)

$\alpha$ : ضریب نفوذ (مترمربع بر ثانیه)

$Nu =$

$$[0.6 + (0.378 Ra_D^{1.6}) / \{1 + (0.599 / Pr)^{9.16}\}^{8.27}]^2$$

شرط  $Ra_D < 10^{12}$

(۱۹)

طبق رابطه (۱۶)

$$h = \frac{Nu * K}{D} = 5.03 \text{ W/m}^2\text{K}^\circ$$

طبق رابطه (۱۲)

$$q_{conve} = 19.350 \text{ KW}$$

اتلاف حرارت ناشی از تشعشع طبق رابطه (۱۳)

$$Q_{Rad} = 26.218 \text{ KW}$$

$$q_{total_{hor}} = q_{conve_{hor}} + q_{rad_{hor}} = 45.568 \text{ KW}$$

$$Q_{total} = 912412.8 \text{ KJ/hr}$$

میل شوت ۱:

طبق رابطه مقابل داریم:

$$A_{cylindrical} = 2\pi r h$$

$$Nu = 405.70$$

در رابطه (۱۹):

$Nu$ : عدد ناسلت

$Ra_D$ : عدد رایلی

$Pr$ : عدد پراتل

جدول ۱۳- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت میل شوت ۱ قسمت پری هیتر

$A(m^2)$	$D(m)$	$\beta * 10^3 (\frac{1}{K^\circ})$	$T_{\infty} (K^\circ)$	$T_f (K^\circ)$	$T_s (K^\circ)$	$L(m)$
13.325	0.55	3.04	293.15	328.15	363.15	7.716

جدول ۱۴- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت میل شوت ۱ قسمت پری هیتر [۲۰]

$T(K^\circ)$	$\rho(Kg/m^3)$	$C_p(KJ/Kg k^\circ)$	$\mu * 10^7 (N/S/m^2)$	$\nu * 10^6 (m^2/s)$	$k * 10^3 (W/m/k)$	$\alpha * 10^6 (m^2/s)$	$Pr$
328.15	1.06771	1.0081	197.88	18.73	28.38	26.66	0.703

طبق رابطه (۱۲)

$$q_{conve} = 4.688 \text{ KW}$$

اتلاف حرارت ناشی از تشعشع

طبق رابطه (۱۳)

$$Q_{Rad} = 5.897 \text{ KW}$$

$$q_{total} = q_{conve} + q_{rad} = 10.58 \text{ KW} = 38088 \text{ KJ/hr}$$

میل شوت ۲ تا ۵:

طبق رابطه (۲۰)

$$\beta = 1/T_f$$

(۲۰)

در رابطه (۲۰):

طبق رابطه (۶)

$$Ra_D = 1.92 * 10^{12}$$

طبق رابطه (۸)

$$Gr = 2.731 * 10^{12}$$

طبق رابطه (۹)

$$\frac{0.55}{7.716} \geq \frac{35}{1285}$$

طبق رابطه (۱۰)

$$Nu = 1366.639$$

طبق رابطه (۱۶)

$$h = 5.026 \text{ W/m}^2\text{K}^\circ$$

$\beta$ : ضریب انبساط حجمی گرمایی (یک بر کلین)  $T_f$ : دمای فیلمی (کلین)

جدول ۱۵- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت میل شوت ۲ تا ۵ قسمت پری هیتر

$A(m^2)$	$D(m)$	$\beta * 10^3 (\frac{1}{k^\circ})$	$T_\infty (K^\circ)$	$T_f (K^\circ)$	$T_s(K^\circ)$	$L(m)$
93.223	0.862	2.83	293.15	353.27	413.4	34.445

جدول ۱۶- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت میل شوت ۱ قسمت پری هیتر [۲۰]

$T(K^\circ)$	$\rho(Kg/m^3)$	$C_p(KJ/Kg k^\circ)$	$\mu * 10^7 (N/S/m^2)$	$\nu * 10^6 (m^2/s)$	$k * 10^3 (W/m/k)$	$\alpha * 10^6 (m^2/s)$	$Pr$
353.27	0.9868	1.0098	209.63	21.2883	30.25	30.45	0.7

طبق رابطه (۱۲)

$$q_{conve} = 62.8 KW$$

اتلاف حرارت ناشی از تشعشع

طبق رابطه (۱۳)

$$Q_{Rad} = 89.967 KW$$

$$q_{total} = q_{CONVE} + q_{RAD} = 152.767 KW$$

$$= 549961.2 KJ/hr$$

مجموع انتقال حرارت از سطح پری هیتر برابر است با

$$Q_{TOTAL} = 5788413.63 KJ/hr$$

درصد اتلاف: ۷/۳۳

۵-۳- جریان انتقال حرارت از بدنه کوره

طبق رابطه (۶)

$$R_{ad} = 210.47 * 10^{12}$$

طبق رابطه (۸)

$$Gr = 3.0067 * 10^{14}$$

طبق رابطه (۹)

$$\frac{0.862}{34.445} \geq \frac{35}{4164.12}$$

طبق رابطه (۱۰)

$$NU = 6378.998$$

طبق رابطه (۱۱)

$$h = 5.60 W/m^2 K^\circ$$

جدول ۱۷- دماهای اندازه گیری شده در نقاط مختلف کوره

متوسط دما	۴	۲۴	۲۰	۱۶	۱۲	۸	ساعت / طول
۳۳۲/۵	۳۰۱	۳۱۰	۳۲۵	۳۲۹	۳۳۰	۳۴۰	ورودی
۳۳۱/۳۳	۳۰۹	۳۲۱	۳۳۴	۳۴۰	۳۴۲	۳۴۲	۵ متری
۳۲۵/۶۶	۳۱۱	۳۱۹	۳۲۵	۳۲۷	۳۳۲	۳۴۰	۱۰ متری
۳۷۱/۶۶	۳۶۳	۳۷۱	۳۷۹	۳۸۴	۳۸۸	۳۵۰	۱۵ متری
۳۸۸/۱۶	۳۸۷	۳۹۵	۴۰۲	۴۰۴	۳۷۱	۳۷۰	۲۰ متری
۳۸۶/۳۳	۳۶۸	۳۷۵	۳۸۲	۳۸۶	۴۰۲	۴۰۵	۲۵ متری
۳۶۶/۸۳	۳۵۳	۳۶۰	۳۶۶	۳۷۰	۳۷۲	۳۸۰	۳۰ متری
۳۰۰/۳۳	۲۸۸	۲۹۸	۳۰۲	۳۰۴	۳۰۲	۳۰۸	۳۵ متری
۲۶۷/۵	۲۶۰	۲۶۹	۲۷۴	۲۶۲	۲۷۰	۲۷۰	۴۰ متری
۲۶۵/۵	۲۷۰	۲۷۸	۲۸۴	۲۷۱	۲۵۰	۲۴۰	خروجی



جدول ۱۸- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت بدنه کوره [۲۰]

$T(K^\circ)$	$\rho(Kg/m^3)$	$C_p(KJ/Kg\ k^\circ)$	$\mu * 10^7 (N/S/m^2)$	$\nu * 10^6 (m^2/s)$	$k * 10^3 (W/m/k)$	$\alpha * 10^6 (m^2/s)$	$Pr$
449.44	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686

$\beta = 0/0017075$

طبق رابطه (۲۰)

جدول ۱۹- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت بدنه کوره

$A_{KLIN}(m^2)$	$D (m)$	$\beta (\frac{1}{K^\circ})$	$T_\infty (K^\circ)$	$T_f (K^\circ)$	$T_s(K^\circ)$
518.2	3.334	0.0017075	293	449.44	605.73

$q = 942.968KW$

طبق رابطه (۱۵)

اتلاف حرارت ناشی از تشعشع

$R_{ad} = 1.26921368 * 10^{11}$

طبق رابطه (۱۳)

طبق رابطه (۱۸)

$Q_{Rad} = 2916KW$

$NU = 521.31$

$Q_{TOTAL} = q_{conve} + q_{Rad}$

$= 13892291.99 KJ/hr$

طبق رابطه (۱۶)

درصد اتلاف: ۱۷/۵۹

$h = 5.83 W/m^2K^\circ$

۴-۵- جریان انتقال حرارت از بدنه کولر:

طبق رابطه (۱۲)

جدول ۲۰- دماهای اندازگیری شده در نقاط مختلف کولر

متوسط دما	۴	۲۴	۲۰	۱۶	۱۲	۸	ساعت / طول
۸۹/۳	۸۶/۲	۸۸/۴	۸۷/۶	۹۰	۹۲	۹۰	ورودی کولر
۹۰/۲	۸۸/۲	۸۸	۸۹	۹۲	۹۳	۹۱	۳ متری
۱۱۳/۸۵	۱۱۳/۶	۱۱۰	۱۱۷/۳	۱۱۱/۲	۱۱۶	۱۱۵	۶ متری
۲۳۹/۶۵	۲۳۹/۲	۲۴۰	۲۴۱	۲۳۸/۱	۲۴۰/۲	۲۳۹/۴	۹ متری
۲۱۶/۰۶	۲۱۴/۲	۲۱۸/۸	۲۲۰/۵	۲۱۰	۲۱۵/۶	۲۱۷/۳	۱۲ متری
۱۹۱/۸۶	۱۸۹/۵	۱۹۹/۱	۱۹۸/۳	۱۸۹	۱۸۷/۱	۱۸۸/۲	۱۵ متری
۱۸۲/۵۱	۱۸۰/۱	۱۷۸/۹	۱۸۰/۶	۱۸۳/۱	۱۸۵	۱۸۷/۴	۱۸ متری
۱۵۴/۹۱	۱۵۱/۲	۱۵۴/۹	۱۵۷/۱	۱۵۱	۱۵۶	۱۵۹/۳	۲۱ متری
۱۶۰/۲	۱۵۸/۶	۱۶۰	۱۶۲	۱۵۸	۱۶۳/۲	۱۵۹/۴	۲۳ متری
۱۶۲/۸	۱۵۹/۸	۱۶۱/۱	۱۶۰	۱۶۵	۱۶۳/۳	۱۶۷/۶	خروجی

میزان انتقال حرارت جا به جایی از سطح کولر طبق جداول ۲۱ و ۲۲ محاسبه می گردد.

جدول ۲۱- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت بدنه کولر [۲۰]

$T(K^\circ)$	$\rho(Kg/m^3)$	$C_p(KJ/Kg\ k^\circ)$	$\mu * 10^7$ ( $N/S/m^2$ )	$\nu * 10^6$ ( $m^2/s$ )	$k * 10^3$ ( $W/m/k$ )	$\alpha * 10^6$ ( $m^2/s$ )	$Pr$
363.15	0.950	1.0108	216.15	22.9128	31.3794	32.4452	0.696

جدول ۲۲- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت بدنه کولر

$A_{KLIN}(m^2)$	D (m)	$\beta (\frac{1}{K^\circ})$	$T_\infty (K^\circ)$	$T_f (K^\circ)$	$T_s(K^\circ)$
255.41	2.74	$2.71 * 10^{-3}$	293.15	363.15	443.25

طبق رابطه (۴):

$$Q = 2438474.83 \text{ KJ/hr}$$

۵-۶- جریان انرژی گرفته شده از آب درون لوله‌های گریزلی:

این جریان آب درون لوله‌های گریزلی وجود دارد که هدف آن خنک کردن صفحه فلزی بین کوره و کولر می‌باشد که باعث می‌شود لوله‌ها و صفحه خراب نشود. دمای میانگین ۴۵ درجه سانتیگراد و میزان گرمایی انتقالی برابر است با:

ظرفیت گرمایی آب برابر  $\frac{J}{Kg^\circ C}$  ۴۱۸۳ در نظر گرفته شده است [۲۰].

$$Q = 5 \text{ Kg/sec} * 4.183 \text{ KJ/KgC}^\circ * 3600 \text{ sec/hr} * (45 - 20) = 1882350 \text{ KJ/hr}$$

درصد اتلاف: ۲/۳۸

۵-۷- جریان انرژی کلینکروچی:

میزان گرمایی که توسط کلینکر از کوره خارج می‌شود برابر با مقدار زیر می‌باشد. ظرفیت گرمایی ویژه کلینکر خروجی ۰/۷۴۴۰۴ کیلو ژول بر کیلوگرم کلین است [۲۱].

طبق رابطه (۴)

$$Q = M \cdot C \Delta T = 20764.8 \text{ Kg/hr} * 0.74404 \text{ KJ/KgK}^\circ * (140 - 45) = 1467734.97 \text{ KJ/hr}$$

۳-۲-۸- جریان انرژی غبار خروجی از الکتروفیلترکولر:

طبق رابطه (۸)

$$R_{AD} = 1.03062222 * 10^{11}$$

اگر  $R_{AD} < 10^{12}$  باشد نگاه از رابطه زیر می‌توان استفاده کرد

طبق رابطه (۱۸)

$$NU = 486.301$$

طبق رابطه (۱۶)

$$h = 5.569 \text{ W/m}^2\text{K}^\circ$$

طبق رابطه (۱۲)

$$q = 199.312 \text{ KW}$$

اتلاف حرارت ناشی از تشعشع از سطح کولر

طبق رابطه (۱۳)

ضریب صدور ۰/۷۸ در نظر گرفته شده است [۴۵].

$$Q_{Rad} = 314.566 \text{ KW}$$

$$Q_{TOTAL} = q_{conve} + q_{Rad} = 513.878 \text{ KW} = 1849960.79 \text{ KJ/hr}$$

درصد اتلاف: ۲/۳۴

۵-۵- جریان انرژی آب درون کولر:

آب در دمای محیط ۲۰ درجه سانتیگراد وارد کولر می‌شود بنابراین ظرفیت گرمایی ویژه آب درون در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد برابر با  $4.183 \frac{KJ}{Kg K^\circ}$  می‌باشد [۲۰].

دبی جرمی آب ۸ کیلو لیتر بر ساعت و چگالی آب ۹۹۸/۲ کیلوگرم بر متر مکعب است [۲۰].

۵-۸-۲-انرژی خروجی:

۵-۸-۲-۱- جریان انرژی خروجی از الکتروفیلتر پری هیتر:

مقداری از گرما از طریق الکتروفیلتر پری هیتر خارج می شود که به همراه این گازها مقداری کلینکر نیز خارج می شود. ظرفیت گرمایی ۱/۰۳۲ در نظر گرفته شده است [۲۱] طبق رابطه (۴)

$$Q = MC\Delta T = 4063.196 \frac{m^3}{min} \frac{KJ}{Kg K^\circ} * 1.0032 \frac{Kg}{m^3} * (160 - 20) * 1.4 \frac{min}{hr} = 47936091.2 \frac{KJ}{hr}$$

درصد اتلاف ۶۰/۷۰

۵-۸-۲-۲- جریان به سمت آسیاب مواد:

گرمایی که از این مسیر خارج می شود به سپراتور ورود کرده و سپس باعث خشک شدن و افزایش دمای مواد می شود. میزان باز بودن دمپر به طور میانگین ۳۰ درصد است. روزانه آسیاب مواد بین ۱۲ تا ۱۴ ساعت کار می کند که ما میانگین آن را ۱۳ ساعت در نظر می گیریم/ ظرفیت گرمایی ۰/۸۳ است [۲۱].

طبق رابطه (۴)

$$Q = 22882460.2 \frac{KJ}{hr}$$

دمای میانگین گاز کشیده شده توسط sp فن ۳۷۹/۳۱۶ درجه سانتی گراد می باشد که برای ۱۳ ساعت می شود

$$Q = 22882460.2 \frac{KJ}{hr} * 13hr = 297471983 \frac{KJ}{day}$$

۵-۸-۲-۳- جریان اب درون کاندیشن تاور :

مقداری آب به غباری که از طرف SP فن می آید پاشیده شده تا کلینکر موجود در غبار گرفته شود و دمای غبار هم پایین تر بیاید تا باعث خرابی الکتروفیلتر پری هیتر نشود ۱۰/۵ تا ۱۱ کیلولیتر بر ساعت آب به سمت کاندیشن تاور می آید که حدود ۸/۵ آن اسپری به کاندیشن تاور می شود، ظرفیت گرمایی ۴/۱۸۳ در نظر گرفته شده است [۲۱].

بخار با دمای ۹۶ درجه سانتی گراد خارج می شود و ظرفیت گرمایی ویژه گاز خروجی کوره ۲/۰۶۰ در نظر گرفته شده است [۲۰].

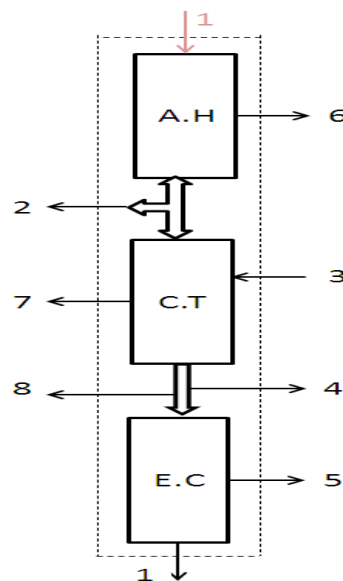
طبق رابطه (۴) چگالی ۰/۹۴۶ در نظر گرفته شده است.

$$Q = M \cdot C \Delta T = 750 \frac{m^3}{min} * 60 \frac{min}{hr} * 0.946 \frac{Kg}{m^3} * 2.060 \frac{KJ}{Kg K^\circ} * (96 - 45) = 4472404.2 \frac{KJ}{hr}$$

درصد اتلاف: ۵/۶۷

۵-۸-۱- موازنه انرژی خروجی از سیستم پخت:

گرما توسط SP فن خارج می شود، بخش بسیار اندک گرما در ایرهیتر هدر می رود، قسمتی وارد آسیاب مواد می شود، بخشی درون کاندیشن تاور و از سطح آن و داکت های مسیر هدر می رود، و سپس توسط فن EP گرفته و به الکتروفیلتر می رود که بخشی از سطح الکتروفیلتر پری هیتر و بخشی نیز از دودکش خارج و وارد محیط می شود.



شکل ۳- نمایش جریان های خروجی از سیستم پخت (پری هیتر)

۵-۸-۱-۱- انرژی ورودی :

۵-۸-۱-۱-۱- انرژی ورودی به ایرهیتر:

طبق رابطه (۴)

ظرفیت گرمایی ۰/۸۳ در نظر گرفته شده است [۲۱]

$$Q = 76657649.6 \frac{KJ}{hr}$$

شده است [۴۵].

با توجه به تناژ و شرایط کوره مقدار مواد کمی متغییر می‌باشد که ۱/۲۵ تن بر ساعت در نظر گرفتیم:

طبق رابطه (۴)

$$Q = MC\Delta T = 1250 \frac{Kg}{hr} * 0.83 \frac{KJ}{Kg K^\circ} * (140 - 45) = 98562.5 \frac{KJ}{hr}$$

۵-۲-۸-۵- اتلاف حرارت از بدنه الکتروفیلتر پری هیتر:

طبق رابطه (۴)

$$Q = MC\Delta T = 8.5 * 10^3 \frac{Lit}{hr} * 0.998 \frac{Kg}{lit} * 4.183 \frac{KJ}{Kg K^\circ} * (93 - 20) = 2590360.4 \frac{KJ}{hr}$$

۵-۲-۸-۴- جریان مواد خروجی از کاندیشن تاور و الکتروفیلتر وایر هیتر:

دمای مواد خروجی از کاندیشن تاور حدودا ۱۴۰ درجه سانتیگراد است که ظرفیت گرمایی ۰/۸۳ در نظر گرفته

جدول ۲۳- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت بدنه الکتروفیلتر پری هیتر

A(m <sup>2</sup> )	$\beta * 10^3 (\frac{1}{K^\circ})$	T <sub>∞</sub> (K <sup>°</sup> )	T <sub>f</sub> (K <sup>°</sup> )	T <sub>s</sub> (K <sup>°</sup> )	L(m)
635.82	3.2	293.15	306.79	320.35	15.2

جدول ۲۴- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت بدنه الکتروفیلتر پری هیتر [۲۰]

T(K <sup>°</sup> )	$\rho(Kg/m^3)$	C <sub>p</sub> (KJ/Kg k <sup>°</sup> )	$\mu * 10^7 (N/S/m^2)$	$\nu * 10^6 (m^2/s)$	$k * 10^3 (W/m/k)$	$\alpha * 10^6 (m^2/s)$	Pr
306.79	1.1388	1.0072	187.80	16.574	26.802	23.50	0.706

$$q_{conve} = 65.608689KW$$

طبق رابطه (۶)

اتلاف حرارت ناشی از تشعشع

$$R_{ad} = 7.698 * 10^{12}$$

طبق رابطه (۱۳)

طبق رابطه (۱۰)

$$Q_{Rad} = 88.480KW$$

$$NU = 2151.4668$$

$$q_{total} = q_{conve} + q_{rad} = 154.08 KW$$

طبق رابطه (۱۶)

$$= 554688 \frac{KJ}{hr}$$

$$h = 3.79 \frac{W}{m^2 K^\circ}$$

درصد اتلاف: ۰/۷۰

طبق رابطه (۱۱)

۵-۲-۶- جریان اتلاف حرارت از بدنه ایر هیتر:

جدول ۲۵- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت بدنه ایر هیتر

A(m <sup>2</sup> )	L(m)	$\beta * 10^3 (\frac{1}{K^\circ})$	T <sub>∞</sub> (K <sup>°</sup> )	T <sub>f</sub> (K <sup>°</sup> )	T <sub>s</sub> (K <sup>°</sup> )
547.50	22.66	3.16	293.15	315.65	338.15

جدول ۲۶- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت بدنه ایر هیتر [۲۰]

T(K <sup>°</sup> )	$\rho(Kg/m^3)$	C <sub>p</sub> (KJ/Kg k <sup>°</sup> )	$\mu * 10^7 (N/S/m^2)$	$\nu * 10^6 (m^2/s)$	$k * 10^3 (W/m/k)$	$\alpha * 10^6 (m^2/s)$	Pr
315.65	1.1212	1.0067	191.98	17.46	27.458	24.81	0.704

طبق رابطه (۱۳)

طبق رابطه (۶)

ضریب صدور ۰/۷۸ در نظر گرفته شده است [۴۵].

$$R_{AD} = 37.469 * 10^{12}$$

$$Q_{Rad} = 137.7693KW$$

طبق رابطه (۱۰)

$$Q_{TOTAL} = q_{conve} + q_{Rad} = 245.459 KW$$

$$= 883652.4 \frac{KJ}{hr}$$

$$NU = 3616.27$$

طبق رابطه (۱۵)

درصد اتلاف: ۱/۱۲

$$h = 4.38 \frac{W}{m^2k^\circ}$$

۵-۸-۲-۷- اتلاف حرارت از بدنه کاندیشن تاور:

طبق رابطه (۱۲)

طبق رابطه (۳)

$$q_{conve} = 107.96 KW$$

جدول ۲۷- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت بدنه کاندیشن تاور

A(m <sup>2</sup> )	D (m)	$\beta * 10^3 (\frac{1}{k^\circ})$	T <sub>∞</sub> (K <sup>°</sup> )	T <sub>f</sub> (K <sup>°</sup> )	T <sub>s</sub> (K <sup>°</sup> )	L(m)
488.168	4.8	3.16	293.15	316.4	339.65	33.127

جدول ۲۸- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت بدنه کاندیشن تاور [۲۰]

T(K <sup>°</sup> )	$\rho(Kg/m^3)$	C <sub>p</sub> (KJ/Kg k <sup>°</sup> )	$\mu * 10^7 (\frac{N/S}{m^2})$	$\nu * 10^6 (m^2/s)$	$k * 10^3 (W/m/k)$	$\alpha * 10^6 (m^2/s)$	Pr
316.4	1.1068	1.0076	192.34	17.534	27.51	24.92	0.705

$$h = 4.404 \frac{W}{m^2K^\circ}$$

طبق رابطه (۶)

طبق رابطه (۱۲)

$$R_{AD} = 1.1986 * 10^{14}$$

$$q_{conve} = 99.9699 KW$$

طبق رابطه (۸)

اتلاف حرارت ناشی از تشعشع

$$Gr = \frac{R_a}{Pr} = 1.700 * 10^{14}$$

طبق رابطه (۱۳)

$$\frac{4.8}{33.127} \geq \frac{35}{3611.009}$$

$$Q_{Rad} = 127.881KW$$

$$q_{total} = q_{conve} + q_{rad}$$

شرط صدق می کند

$$= 820263.24 \frac{KJ}{hr}$$

طبق رابطه (۱۰)

درصد اتلاف: ۱/۰۴

$$NU = 5303.23$$

۵-۸-۲-۸- اتلاف حرارت در طول مسیرهای زیر:

طبق رابطه (۱۶)

جدول ۲۹- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت بدنه مسیرها

A <sub>KLIN</sub> (m <sup>2</sup> )	L(m)	D (m)	$\beta (\frac{1}{k^\circ})$	T <sub>∞</sub> (K <sup>°</sup> )	T <sub>f</sub> (K <sup>°</sup> )	T <sub>s</sub> (K <sup>°</sup> )
711.879	155.283	1.46	3.2*10 <sup>-3</sup>	293.15	310.65	328.15

جدول ۳۰- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت بدنه مسیرهها [۲۰]

$T(K^\circ)$	$\rho(Kg/m^3)$	$C_P(KJ/Kg k^\circ)$	$\mu * 10^7 (N/S/m^2)$	$\nu * 10^6 (m^2/s)$	$k * 10^3 (W/m/k)$	$\alpha * 10^6 (m^2/s)$	$Pr$
310.65	1.1259	1.007	189.6268	16.963	27.08	24.07	0.705

$$q_{conve} = 100.322 KW \quad \text{طبق رابطه (۶)}$$

$$R_{AD} = 8.3746 * 10^9 \quad \text{اتلاف حرارت ناشی از تشعشع از سطح}$$

$$\text{طبق رابطه (۹)} \quad \text{طبق رابطه (۱۳)}$$

$$Q_{Rad} = 132.5568KW \quad NU = 217.083$$

$$q_{TOTAL} = q_{conve} + q_{Rad} = 232.8788KW \quad \text{طبق رابطه (۱۰)}$$

$$= 838363.68 \text{ KJ/hr} \quad h = 4.026$$

$$\text{طبق رابطه (۱۲)}$$

جدول ۳۱- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت بدنه مسیرهها

$A(m^2)$	$L(m)$	$D(m)$	$\beta (\frac{1}{k^\circ})$	$T_\infty (K^\circ)$	$T_f (K^\circ)$	$T_s(K^\circ)$
60.66	48.3	0.4	$3.2 * 10^{-3}$	293.15	306.52	319.9

جدول ۳۲- اطلاعات مورد نیاز محاسبه انتقال حرارت بدنه مسیرهها [۲۰]

$T(K^\circ)$	$\rho(Kg/m^3)$	$C_P(KJ/Kg k^\circ)$	$\mu * 10^7 (N/S/m^2)$	$\nu * 10^6 (m^2/s)$	$k * 10^3 (W/m/k)$	$\alpha * 10^6 (m^2/s)$	$Pr$
306.52	1.1388	1.0072	187.8	16.574	26.802	23.50	0.706

$$q_{rad} = 8.28KW \quad \text{طبق رابطه (۶)}$$

$$q_{TOTAL} = q_{conve} + q_{Rad} = 14.78KW \quad R_{AD} = 137983625$$

$$= 53207.99 \text{ KJ/hr} \quad \text{طبق رابطه (۱۰)}$$

$$\text{مجموع این دو قسمت } (Q_{TOTAL}) \quad NU = 59.76$$

$$891571.67 \text{ KJ/hr} \quad \text{طبق رابطه (۱۱)}$$

$$h = 4.004$$

$$\text{طبق رابطه (۱۲)}$$

#### ۶- خلاصه نتایج

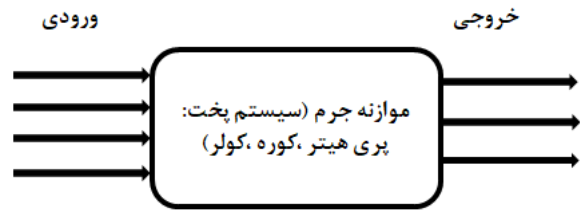
در این بخش از مقاله خلاصه نتایج موازنه جرم و انرژی روی سیستم پخت در فرایند تولید سیمان سفید نی ریز مورد بررسی قرار گرفته است که به شرح زیر می‌باشد.

$$q_{conve} = 6.498 KW$$

اتلاف حرارت ناشی از تشعشع از سطح

$$\text{طبق رابطه (۱۳)}$$

۱-۶- خلاصه موازنه جرم



شکل ۴- جریان مواد ورودی و خروجی سیستم پخت

ورودی

۵. جریان مواد خام

۶. سوخت (مشعل کوره و کلساینر)

۷. هوا

۸. جریان اب ورودی به کولر

خروجی

۴. کلینکر

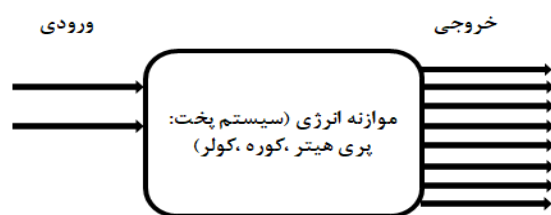
۵. غبارخروجی از پری هیتر

۶. بخار اب و غبارخروجی از کولر

جدول ۳۳- خلاصه موازنه جرم سیستم پخت

نوع جریان	شماره	جریان	$KJ/hr$	درصد	$KJ/hr$	درصد
ورودی	۱	مشعل کوره	۸۱۳۳۶۹۶۰	۷۵		
	۲	حرارتی مشعل کلساینر	۲۷۱۱۲۳۲۰	۲۵		
		مجموع	۱۰۸۴۴۹۲۸۰	۱۰۰		
خروجی	۱	غبار خارج شده از پری هیتر			۷۶۶۵۷۶۴۹/۶	۷۰/۶۸
	۲	اتلاف حرارت از بدنه پری هیتر			۵۷۸۸۴۱۳/۶۳	۵/۳۴
	۳	اتلاف حرارت از بدنه کوره			۱۳۸۹۲۲۹۱/۹۹	۱۲/۸۱
	۴	اتلاف حرارت از بدنه کولر			۱۸۴۹۹۶۰/۷۹	۱/۷۱
	۵	اب درون کولر			۲۴۳۸۴۷۴/۸۳	۲/۲۵
	۶	اب لوله های گریزلی			۱۸۸۲۳۵۰	۱/۷۳
	۷	انرژی خارج شده توسط کلینکر			۱۴۶۷۷۳۴/۹۷	۱/۳۶
	۸	غبار خروجی از لکتروفیلتر			۴۴۷۲۴۰۴/۲	۴/۱۲
		مجموع			۱۰۸۴۴۹۲۸۰	۱۰۰

۲-۶- خلاصه موازنه انرژی سیستم پخت



شکل ۵- جریان انرژی ورودی و خروجی سیستم پخت

ورودی

۳. انرژی حرارتی مشعل کوره

۴. انرژی حرارتی مشعل کلساینر

خروجی

۹. انرژی غبار خارج شده از پری هیتر

۱۰. اتلاف حرارت از بدنه پری هیتر

۱۱. اتلاف حرارت از بدنه کوره

۱۲. اتلاف حرارت از بدنه کولر  
 ۱۳. انرژی گرفته شده توسط آب کولر  
 ۱۴. انرژی گرفته شده توسط آب لوله های گریزلی  
 ۱۵. انرژی خارج شده توسط کلینکر  
 ۱۶. غبار خروجی از الکتروفیلتر

جدول ۳۴- خلاصه موازنه انرژی سیستم پخت

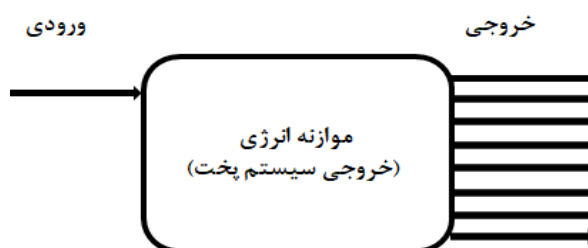
درصد	$KJ/hr$	درصد	$KJ/hr$	جریان	شماره	نوع جریان
		۱۰۰	۷۶۶۵۷۶۴۹/۶	غبار خارج شده از پری هیتر	۱	ورودی
		۱۰۰	۷۶۶۵۷۶۴۹/۶	مجموع		
۶۲/۵۳	۴۷۹۳۶۰۹۱/۲			خروجی از الکتروفیلتر پری هیتر	۱	خروجی
۲۹/۸۵	۲۲۸۸۲۴۶۰/۲			غبار به سمت آسیاب مواد	۲	
۳/۳۸	۲۵۹۰۳۶۰/۴			آب درون کاندیشن تاور	۳	
۰/۱۳	۹۸۵۶۲/۵			مواد خروجی از کاندیشن، ایرهیتر و الکتروفیلتر	۴	
۰/۷۲	۵۵۴۶۸۸			اتلاف حرارت از بدنه الکتروفیلتر	۵	
۱/۱۶	۴/۸۸۳۶۵۲			اتلاف حرارت از بدنه ایر هیتر	۶	
۱/۰۷	۲۴/۸۲۰۲۶۳			اتلاف حرارت از بدنه کاندیشن تاور	۷	
۱/۱۶	۸۹۱۵۷۱/۶۷			اتلاف حرارت در طول مسیر	۸	
۱۰۰	۷۶۶۵۷۶۴۹/۶			مجموع		

## ۳-۶- خلاصه موازنه انرژی خروجی سیستم پخت:

## خروجی

۲. خروجی از الکتروفیلتر پری هیتر
۳. غبار به سمت آسیاب مواد
۴. آب درون کاندیشن تاور
۵. مواد خروجی از کاندیشن، ایرهیتر و الکتروفیلتر
۶. اتلاف حرارت از بدنه الکتروفیلتر
۷. اتلاف حرارت از بدنه ایر هیتر
۸. اتلاف حرارت از بدنه کاندیشن تاور
۹. اتلاف حرارت در طول مسیر

موازنه انرژی جریان خروجی از پری هیتر:



شکل ۶- جریان انرژی ورودی و خروجی از خروجی سیستم پخت (پری هیتر)

## ورودی

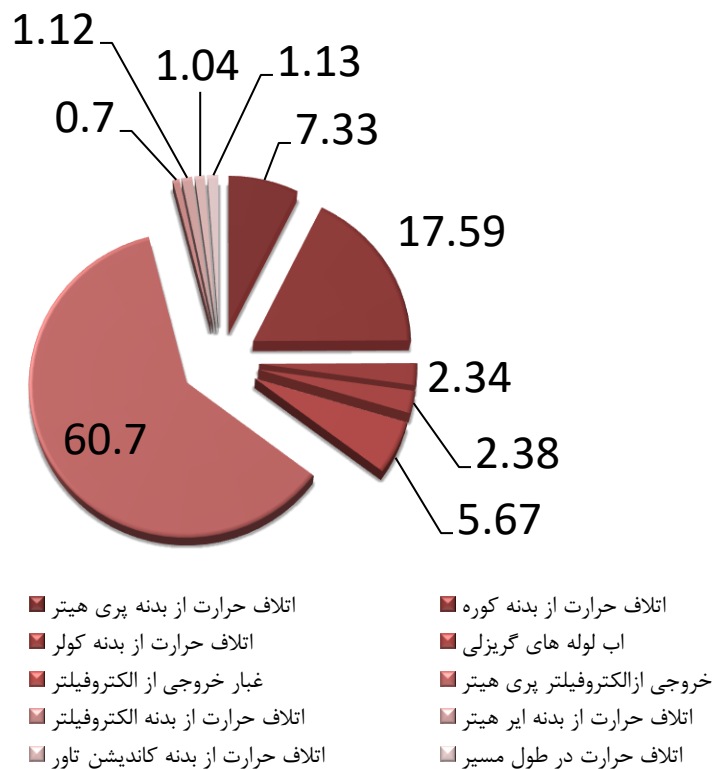
۱. غبار خارج شده از پری هیتر خروجی



جدول ۳۵- خلاصه موازنه انرژی خروجی از پری هیتر

درصد	$KJ/hr$	درصد	$KJ/hr$	جریان	شماره	نوع جریان
		۱۰۰	۶۷۲۴۷۷۳۷/۶۲	غبار خارج شده از پری هیتر	۱	ورودی
		۱۰۰	۶۷۲۴۷۷۳۷/۶۲	مجموع		
۷۱/۲۸	۴۷۹۳۶۰۹۱/۲			خروجی از الکتروفیلتر پری هیتر	۱	خروجی
۱۹/۹۹	۱۳۴۴۹۱۵۵/۳			غبار به سمت آسیاب مواد	۲	
۳/۸۵	۲۵۹۰۳۶۰/۳			اب درون کاندیشن تاور	۳	
۰/۱۵	۹۸۵۶۲/۵			مواد خروجی از کاندیشن، ایر هیتر و الکتروفیلتر	۴	
۰/۸۲	۵۵۴۶۸۸			اتلاف حرارت از بدنه الکتروفیلتر	۵	
۱/۳۲	۸۸۳۶۵۲/۴			اتلاف حرارت از بدنه ایر هیتر	۶	
۱/۲۳	۸۲۰۲۶۳/۲۴			اتلاف حرارت از بدنه کاندیشن تاور	۷	
۱/۳۶	۹۱۴۹۶۴/۴۸			اتلاف حرارت در طول مسیر	۸	
۱۰۰	۶۷۲۴۷۷۳۷/۴			مجموع		

۴-۶- انرژی بازیافتی سیستم:

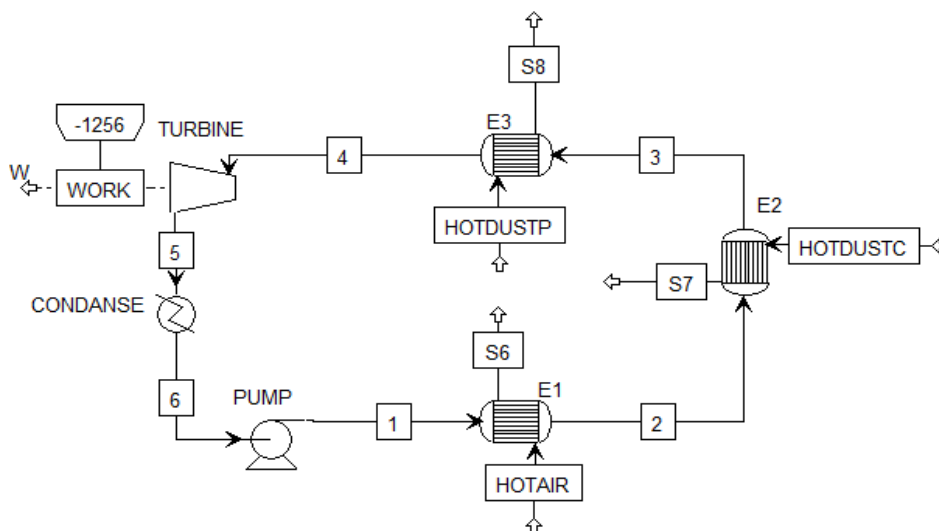


شکل ۷- نمودار اتلاف حرارت

۷- سیکل رانکین آلی

دلایل توصیه به استفاده از سیستم رانکین آلی در کارخانجات سیمان [۲۲]:  
 الف- سیالات آلی در حالت بخار مافوق گرم و بخار اشباع به صورت ایزنتروپیک در توربین منبسط می‌شود که از خرابی توربین نسبت به سیالات دیگر جلوگیری می‌کند.  
 ب- توانایی تولید توان در دماهای پایین و متوسط را دارد.  
 سیکل رانکین آلی جهت بازیابی حرارت اتلافی در نظر گرفته شده است، که در این سیکل انواع مختلفی از سیال

آلی می‌توان استفاده کرد که در مقاله حاضر سیال R245fa را با توجه به محدوده‌ی دمایی حرارت‌های تلف شده انتخاب کرده و به کار گرفته ایم. این سیال درون مبدل‌های حرارتی توسط جریان‌های پرت حرارتی با نام‌های Hotair و Hotdustc و Hotdustp به نقطه دمایی مورد نظر رسیده و سپس درون توربین انرژی حرارتی خود را تبدیل به انرژی الکتریکی کرده و سپس اندکی از انرژی خود را به کندانسور برده تا در آنجا خنک شود تا این چرخه ادامه یابد و سیال گرم به پمپ آسیب نزنند.



شکل ۸- شماتیک سیکل رانکین آلی در نرم افزار اسپن پلاس

جدول ۳۹- مشخصات جریان HOT DUST P ورودی به

مبدل E3

نوع مواد	بخار آب	CO	NO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
دبی حجمی m <sup>3</sup> /hr	1170	243	1609	7801	3900
	2.016	79.2	02.72	.344	6.72
دما °C	160				

جدول ۳۶- مشخصات جریان سیال درون سیکل

نوع مواد	R245FA
دبی جرمی Kg/hr	372388

جدول ۳۷- مشخصات جریان HOT AIR ورودی به مبدل E1

نوع مواد	بخار آب
دبی حجمی m <sup>3</sup> /hr	59662
دما °C	110

جدول ۴۰- هزینه سرمایه گذاری

Component Name	(USD) Equipment Cost
PUMP	۱۵۰۰۰
E1	۲۰۷۰۰
E2	۵۷۲۰۰
E3	۹۷۸۰۰
CONDANSE	۲۷۲۲۰۰
TURBINE	۴۱۷۶۰۰
TOTAL	۸۸۰۵۰۰

جدول ۳۸- مشخصات جریان HOT DUST C ورودی به

مبدل E2

نوع مواد	بخار آب
دبی حجمی m <sup>3</sup> /hr	45000
دما °C	96

## ۸- نتیجه گیری

چنانچه کارخانه‌های سیمان در مقابله با چالش‌ها و موانع خود موفق شوند، نیاز به اهمیت بیشتر مدیریت انرژی می‌باشد. مصرف انرژی موضوعی است که اساس این پژوهش بر آن شکل گرفت. مدیریت مصرف انرژی در صنعت یکی از ابزارهای اصلی بهینه‌سازی مصرف انرژی است. انتخاب الگوی مناسب و استفاده از روش‌های صحیح در زمینه تولید و مصرف انرژی علاوه بر رشد اقتصادی، کاهش هزینه تولید، جلوگیری از هدر رفتن منابع انرژی، کاهش آلاینده‌های محیط‌زیستی، بر سلامتی جامعه نیز تاثیر می‌گذارد.

با هدف دستیابی به اصلاح الگوی مصرف انرژی، بازنگری در فرایند تولید و اصلاح آن حائز اهمیت است.

تلفات انرژی حرارتی به اشکال مختلفی روی می‌دهد که بازیابی حرارت اتلافی مورد هدف می‌باشد و تولید انرژی الکتریکی به عنوان یکی از راهکارهای استفاده از این اتلاف انرژی مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است.

در این مقاله مقدار انرژی اتلافی در واحد پخت (پیش گرمکن، کوره، کولر) و ماقبل سیستم پخت کارخانه سیمان سفید نی ریز با ظرفیت ۵۰۰ تن کلینکر در روز مورد ارزیابی قرار گرفت که طبق موازنه جرم و انرژی که روی سیستم پخت انجام گرفت، ۷۵ درصد انرژی حرارتی درون کوره و ۲۵ درصد آن در واحد پری کلساینر تولید می‌شود.

درصد اتلاف حرارتی هر تجهیز محاسبه گردید که در مجموع حدود ۷۰ درصد از انرژی تولیدی به هدر می‌رود. که این امر نشان دهنده نیاز به عایق بندی سیستم پخت و

بازیابی انرژی اتلافی می‌باشد.

محل‌های اتلاف گرمایی سیستم پخت شامل دودکش الکترو فیلتر پری هیتر (۶۲/۸۶ درصد)، دودکش الکترو فیلتر کولر (۰/۸۱ درصد)، گرما اتلافی از اطراف کوره (۱۸/۲۵ درصد) که سهم عمده اتلاف حرارت مربوط به این سه محل می‌باشد.

این انرژی‌های اتلافی توسط سیکل رانکین آلی در نرم افزار اسپن پلاس بازیابی گردید و در نهایت ۶۳۵ کیلووات انرژی الکتریکی تولیدی محاسبه گردید. که در نتیجه ۳۱۷/۵ کیلوگرم بر ساعت یا سالیانه ۲۷۴۳/۲ تن الاینده را در محیط کاهش می‌دهد.

البته با توجه به کاهش منابع فسیلی در زمستان، این امر مستلزم اجرای شدن بازیابی انرژی حرارتی کارخانه‌های سیمان در سال‌های اخیر است.

سیکل اجرا شده در نرم افزار به صورتی است که ۳ عدد مبدل حرارتی وجود دارد که انرژی‌های اتلافی به عنوان سیال گرم وارد مبدل شده و سیال سیکل حرارتی را گرم می‌کند و سپس سیال وارد توربین شده و انرژی الکتریکی تولید می‌شود.

هزینه اقتصادی این راه اندازی ۳۵۲۲۰۰۰۰۰۰ تومان می‌باشد در صورتی که هزینه جهانی هر کیلووات انرژی الکتریکی در سال ۱۴۰۱، ۹۷۵ تومان باشد، بنابراین بازگشت سرمایه ۶/۵ سال می‌باشد که برای تولید این مقدار انرژی الکتریکی نیاز به ۱۵۸/۷۵ متر مکعب گاز می‌باشد. که سالانه ۱۳۷۱۶۰۰ متر مکعب گاز صرفه جویی می‌گردد.

## ۹- مراجع

[۱] ماهنامه علمی، فنی و اقتصادی سیمان cement magazine، دوره ۳۹، ۱۳۹۸، صفحه ۲۵۳.

[2] Y. Zhang, "aspen plus based simulation of a cement calciner and optimization analysis of air pollutants emission", clean technologies and Environmental policy, Vol. 13, 2011, PP. 459-468.

[3] A. Hasanbeigi, C. Menke and A. Therdyothin, "The use of conservation supply curves in energy policy and economic analysis: the case study of Thai cement industry", Energy policy, Vol. 38, 2010, PP. 38-45.

[4] F. Liu, "Energy efficiency of China's cement industry", Energy, Vol. 20, 1995, PP. 669-681.

[5] S. Khurana, R. Banerjee, R. Banerjee, U. Gaitonde, "Energy balance and cogeneration for cement plant", Applied Thermal Engineering, Vol. 22(5), 2002, PP. 485-494.

[۶] هانیه حیدری، علیرضا نورپور، "تحلیل انرژی- محیط‌زیستی فرایند پخت سیمان پرتلند با رویکرد مدیریت و ممیزی انرژی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۶، تهران.

[7] Z. Utlu, Z. Sogut, A. Hepbasli, Z. Oktay, "Energy and exergy analyses of a raw mill in a cement production", Applied Thermal Engineering, Vol. 26, 2006, PP. 2479-2489.

[۸] ق. عرب، ا. جلال، "امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی استفاده از تولید همزمان برق و حرارت (CHP) در صنعت سیمان" ماهنامه فناوری سیمان، شماره ۲۹، بهمن ۱۳۸۸، صفحه ۵۴-۵۵.

[9] M. A. Doheim, S. A. Sayed, and O. A. Hamed, "Analysis of waste heat and its recovery in a cement factory", Heat Recovery Systems and CHP, Vol. 7, 1987, PP. 441-444.

[10] Z. Sogut, Z. Oktay, and H. Karakoc, "Mathematical modeling of heat recovery from a rotary kiln", Applied Thermal Engineering, Vol. 30, 2010, PP. 817-825.

[11] A. C. Caputo, P. M. Pelagagge, and P. Salini, "Performance modeling of radiant heat recovery exchangers for rotary kilns", Applied Thermal Engineering, Vol. 31, 2011, PP. 2578-2589.

[12] F. Campana, "ORC waste heat recovery in European energy intensive industries", Energy Conversion and Management, Vol. 76, 2013, PP. 244-252.

[13] S. Karellas, "Energetic and exergetic analysis of waste heat recovery systems in the cement industry", Energy, Vol. 58, 2013, PP. 147-156.

[14] Z. Fergani, D. Touil, and T. Morosuk, "Multi-criteria exergy based optimization of an Organic Rankine Cycle for waste heat recovery in the cement industry", Energy Conversion and Management, Vol. 112, 2016, PP. 81-90.

[15] A. Mohammadi, M. A. Ashjari, and A. Sadreddini, "Exergy analysis and optimisation of waste heat recovery systems for cement plants", International Journal of Sustainable Energy, Vol. 37, 2016, PP. 115-133.

[16] W.S. Amarasinghe, I. Husum, and L.-A. Tokheim, "Waste heat availability in the raw meal department of a cement plant", Thermal Engineering, Vol. 11, 2018, PP. 1-14.

[17] E. A. Rad and S. Mohammadi, "Energetic and exergetic optimized Rankine cycle for waste heat recovery in a cement factory", Applied Thermal Engineering, Vol. 1, 2018, PP. 43-52.

[18] A. Ahmed, "Design methodology of organic Rankine cycle for waste heat recovery in cement plants", Applied Thermal Engineering, Vol. 129, 2018, PP. 421-430.

[۱۹] استاندارد ملی ایران شماره ۷۸۷۳، "سیمان - معیار مصرف انرژی در فرایندهای تولید"، تجدید نظر اول، آبان ۱۳۹۱.

[۲۰] ف. پ. اینکروپرا، د. پ. دویت، ع. ا. رستمی، م. شیرازی، "مقدمه‌ای بر انتقال گرما"، دانشگاه صنعتی اصفهان، شماره ۲، ۱۳۸۹.

[21] K.E. peray, "Cement Manufactures", Hand Book, New York, NY:Chemical Publishing CO., Inc., 1979.

[22] M. Bahrami, A. A. Hamidi and S. Porkhial, "Investigation of the effect of organic working fluids on thermodynamic performance of combined cycle stirling ORC", International Journal of Energy and Environmental Engineering, Vol. 4, 2013, PP. 1-9