

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir



## شبیه سازی فرآیند تولید همزمان برق و حرارت برای بهینه سازی مصرف انرژی در کارخانه سیمان

مهران علیپور علمداری: کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، تبدیل انرژی، دانشگاه تفرش، دانشکده فنی و مهندسی مکانیک  
زهرا بنی عامریان: استادیار، دانشگاه تفرش، دانشکده فنی و مهندسی مکانیک

Mehranengtj2@gmail.com

### چکیده

در این پژوهش به تحلیل دو سیکل مختلف برای تولید توان، که متداول ترین سیکل های تولید توان می باشند، با نرم افزار EES (engineer equation solver) پرداخته می شود. ارزیابی این سیکلها با بررسی میزان بازده این سیکلها به ازای دریافت حرارت در دماهای مختلف از کوره دوار با نوع شعله Gorgo جهت پخت سیمان انجام می شود. براساس نتایج این تحقیق می توان گفت استفاده از سیستم های CHP در صنعت سیمان کاملاً موجه بوده و علاوه بر مزیت اقتصادی که برای دولت و کارخانه در بردارد در کاهش آلاینده های زیست محیطی نقش مهمی ایفا می نماید. در ضمن بین دو سیکل بررسی شده، سیکل بخار بازدهی بیشتری داشته و باعث صرفه جویی بیشتر در انرژی شده است.

واژگان کلیدی: CHP، نرم افزار EES، کوره دوار، سیکل گازی برایتون

## مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir

DEMO



## ۱- مقدمه

معمولاً برق مورد نیاز واحدهای صنعتی، ساختمان‌های تجاری و ساختمان‌های مسکونی از نیروگاه‌های عمده کشور تأمین می‌شود. در حالی که نیاز حرارتی تمام آنها در همان محل تولید می‌گردد. اما روش دیگری که از دیرباز وجود داشته و امروزه توجه بیشتری را معطوف خود کرده، تولید مشترک برق و حرارت است، که عبارتست از تولید همزمان برق، یا توان محوری و حرارت مفید توسط یک سیستم.

تولید سیمان یک فرآیند به شدت انرژی بر می‌باشد؛ بطوریکه برای تولید هر تن سیمان، در حدود ۴ گیگا ژول انرژی مصرف می‌شود [۱]. بازیابی گرمای اتلافی از گازهای داغ و سطح داغ کوره در یک سامانه ی کوره به عنوان راه‌هایی برای به سازی بازده ی کلی کوره شناخته می‌شوند. روش‌هایی از قبیل استفاده از تکنولوژی CHP در سال‌های اخیر روش مناسب و بهینه برای صرفه جویی در مصرف انرژی و افزایش بازده می‌باشد. تأمین انرژی سیکل CHP می‌تواند با استفاده از گازهای خروجی از کوره نیز صورت گیرد.

## ۲- سیستم‌های CHP

در تکنولوژی CHP از آنجایی که انرژی تولیدی (برق و گرما) از طریق یک سیستم واحد با ورودی سوخت معین تأمین می‌گردد، لذا هزینه‌های تأمین انرژی به طور قابل ملاحظه‌ای از سیستم‌های امروزی کمتر است. در سیستم‌های متداول که برق و گرما به صورت جداگانه تأمین می‌شوند، مصرف کننده ناچار است برق مورد نیاز خود را از طریق شبکه‌های محلی خریداری کند و از سوی دیگر برای مصارف گرمایشی خود نیز باید گاز طبیعی یا سوخت‌های فسیلی دیگر را به طور جداگانه خریداری نماید. ولی در سیستم‌های CHP مصرف کننده از شبکه برق مستقل شده و از سوی دیگر چون از محتوای انرژی سوخت ورودی در حد بالایی استفاده می‌شود، لذا هزینه‌های مربوطه بسیار کاهش می‌یابد.

## ۱-۲- روش‌های تولید همزمان برق و حرارت

سیستم CHP با پیل سوختی

سیستم CHP با توربین بخار

سیستم CHP با موتور رفت و برگشتی

سیستم CHP با توربین گاز

سیستم CHP سیکل ترکیبی (combined cycle)

سیستم CHP موتورهای رفت و برگشتی (Reciprocating Engines)

جدول ۱- مقایسه مزایا و معایب انواع مختلف سیستم‌های CHP [۲]

نوع سیستم	توان تولیدی	مزایا	معایب
-----------	-------------	-------	-------

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir

DEMO



DEMO



<p>- نیاز به گاز با فشار بالا دارد. - بازده ضعیف در بارهای کم - کاهش راندمان در اثر افزایش دمای محیط</p>	<p>- قابلیت اعتماد بالا - انتشار گاز های آلاینده کم - حرارت بازیافتی با کیفیت بالا - نیاز به سیستم خنک کاری ندارد.</p>	<p>۵۰۰ کیلووات تا ۲۵۰ مگاوات</p>	<p>توربین گاز</p>
<p>- راه اندازی کند. - نسبت F/H (حریران/هد) پایین</p>	<p>- بازده کلی نسبتاً بالا - هرگونه سوختی قابل استفاده است - قابلیت پاسخگویی بیش از یک واحد - عمر نسبتاً طولانی و قابلیت اعتماد بالا - نسبت F/H می تواند تغییر کند</p>	<p>۵۰ کیلووات تا ۲۵۰ مگاوات</p>	<p>توربین بخار</p>
<p>- هزینه بالا - عمر نسبتاً کم و چگالی کم انرژی قابل ارائه - نیاز به فرآوری سوخت ها مگر آنکه هیدروژن خالص بکار رود</p>	<p>- انتشار گاز و سر و صدای کم - بازده بالا در بارهای متفاوت - طراحی استاندارد شده</p>	<p>۵ کیلووات تا ۲ مگاوات</p>	<p>پیل سوختی</p>

افشار باقری و همکاران طی مقاله خود در سال ۲۰۰۷ در بررسی تولید همزمان در کارخانه سیمان به این نتایج رسیدند که با استفاده از تلفات حرارت خروجی از پیش گرمکن و خنک کن گریته 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. با استفاده از تکنولوژی ژنراتورهای جانبی در ۲ کوره (۲۱۰۰ تنی و ۴۰۰۰ تنی) سیمان تهران حدوداً ۹ مگاوات انرژی الکتریکی تولید خواهد شد [۳]. اکبر زاده در سال ۲۰۱۳ به بررسی و تشریح عملکرد میکرو توربین های تولید همزمان پرداخت. در شبیه سازی ایشان، مدل میکروتوربین در شبیه ساز نرم افزار متلب جهت تولید برق برای اتصال به شبکه و نیز ارائه ی برق و حرارت برای مصرف کارخانه سیمان ارائه شده است. بر مبنای مشاهدات ایشان، استفاده از این تکنولوژی باعث افزایش بازده شده است [۴]. در مطالعه ای Karako و همکاران به بررسی بازیافت گرما از کوره دوار یک کارخانه سیمان در ترکیه، پرداخته اند. بر مبنای مشاهدات ایشان، ۵۱٪ از کل گرمای فرآیند، گرمای اتلافی می باشد. ایشان یک مدل ریاضی برای مبدل جدید بازیافت گرما در کارخانه ارائه نمودند. بر مبنای مدل ارائه شده، ۵٪ گرمای اتلافی می تواند با مبدل بازیافت گرما مورد بهره برداری قرار گیرد [۵]. Mohanty و همکاران مدلی ساده برای ارزیابی عملکرد گرمایی یک کارخانه ی سیمان، جهت بهبود بهره وری کارخانه ارائه داده اند. مدل بر اساس موازنه ی جرم، انرژی و انرژی توسعه یافته و برای صنعت سیمان پرتلند در اندونزی به کار رفته است. ایشان دریافته اند که از طریق جایگزین کردن نفت دیزل با گرمای اتلافی بازیابی شده از خروجی کوره و خروجی خنک کن برای خشک کردن مواد خام و سوخت، و پیش گرم کردن هوای احتراق، کارخانه ی سیمان اندونزی می

## مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir

DEMO



تواند در حدود ۱۲۶۴۰۰ دلار در هر سال صرفه جویی کند [۶]. Banerjee و Khurana به بررسی بالانس انرژی و تکنولوژی تولید همزمان در کارخانه سیمان پرداختند. بر مبنای بررسی های ایشان حدود ۳۵ درصد انرژی در کارخانه سیمان به صورت حرارت تلف می شود و با بکارگیری تولید همزمان برق و حرارت حدود ۱۰ درصد به بازده کل سیستم اضافه می شود [۷]. واثقی و امیری به بررسی بازیابی هدر رفت حرارت با استفاده از سیستم های بازیابی (WHRG) پرداختند و امکان سنجی برای فرآیند تولید سیمان با بررسی چهار چرخه تولید برق مشترک، سیکل رانکین بخار، سیکل رانکین آلی و سیکل CO2 بحرانی را انجام دادند. بر مبنای مطالعات ایشان بازده سیکل رانکین آلی ۴۳.۴۹٪، سیکل عادی رانکین ۲۹٪، گازی ۴۲.۲۲٪ و برای تون پایه ۴۳.۳۱٪ می باشد [۸].

## ۳- تحلیل انرژی پخت سیمان

## ۳-۱- بررسی ترمودینامیکی

تولید سیمان یک فرآیند به شدت انرژی بر می باشد و شامل گرمادهی، کلسینه کردن و زینترینگ ترکیبات شیمیایی مخلوط کربنات کلسیم (سنگ آهک)، سیلیکا، آلومینا، سنگ آهن و مقادیر کمی از مواد دیگر می باشد که به لحاظ شیمیایی در گرمای بسیار زیاد تغییر می یابند تا یک ترکیب با خواص چسبندگی را تشکیل دهند. محدوده ای از طراحی های متفاوت کوره وجود دارد، اما همه ی آنها دارای فرآیندهای پایه ای یکسانی هستند، خوراک خامی که از کوره عبور می کند، تا دمای خیلی بالایی حرارت داده می شود و از لحاظ شیمیایی و فیزیکی به یک ماده ی دانه دانه که کلینکر نامیده می شود، تغییر می یابد. سپس کلینکر به منظور تولید سیمان خرد می شود. این مراحل عمدتاً شامل آماده سازی مواد خام، تولید کلینکر و آسیاب می باشد. به علت اینکه تخمین دقیق درصد واکنش شیمیایی کامل شده قبل از ورود مواد خام به کوره، مشکل است، پیش گرمکن و خنک کن برای موازنه ی انرژی با هم در نظر گرفته شده اند. معادله ی موازنه ی انرژی می تواند به صورت معادله ۱ نوشته شود [۶].

$$Q_{ik} = Q_{ok} + LK \quad (1)$$

که  $Q_{ik}$  گرمای ورودی به سامانه ی کوره به ازای هر کیلوگرم کلینکر،  $Q_{ok}$  گرمای خروجی از سامانه کوره به ازای هر کیلوگرم کلینکر و  $LK$  اتلاف از سامانه ی کوره به ازای هر کیلوگرم کلینکر می باشد. گرماهای ورودی به سامانه کوره (KJ/Kg) عبارت است از گرمای ناشی از احتراق سوخت، گرمای محسوس سوخت، گرمای محسوس مواد خام خشک، گرمای محسوس رطوبت در مواد خام خشک، گرمای محسوس رطوبت در مواد خام، گرمای محسوس هوای اولیه و گرمای محسوس هوای خنک کننده. رابطه ی ریاضی هر یک از گرماهای نام برده به شرح زیر است [۶].

$$Q_1 = W_f LCV \quad (2)$$

## مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir

DEMO



گرمای محسوس سوخت که در کوره های دوار به طور معمول زغال سنگ و گازوییل می باشد:

$$Q_2 = W_f \cdot C_f \cdot (T_f - T_a) \quad (3)$$

گرمای محسوس مواد خام خشک که در پیش گرم کن خشک شده اند:

$$Q_3 = W_m \cdot C_f \cdot (T_m - T_a) \quad (4)$$

گرمای محسوس رطوبت در مواد خام:

$$Q_4 = W_r \cdot (T_m - T_a) \quad (5)$$

گرمای محسوس هوای اولیه که جهت احتراق با سوخت وارد محفظه می شود:

$$Q_5 = A_1 \cdot C_a \cdot (T_{a1} - T_a) \quad (6)$$

گرمای محسوس هوای خنک کننده که جهت کاهش دمای خروجی محصولات وارد قسمت انتهایی کوره میشود:

$$Q_6 = A_c \cdot C_a \cdot (T_{ac} - T_a) \quad (7)$$

گرمای ورودی بصورت مجموع گرماهای تشریح شده به صورت معادله ۸ محاسبه میشود [۶]:

$$Q_{ik} = \sum_{i=1}^6 Q_i \quad (8)$$

گرمای خروجی از کوره، مجموع چند بخش از انتقال حرارت است که هر جزء در ادامه تشریح می شود.

$$Q_{ik} = \sum_{i=7}^{13} Q_i \quad (9)$$

گرمای محسوس مواد خام برای گرمادهی دارای شش بخش میباشد که در ادامه آورده شده اند:

$$Q_7 = Q_a + Q_b + Q_c - Q_d - Q_e - Q_f \quad (10)$$

گرمای محسوس کلینکر در خروجی خنک کن، میزان گرمایی است که از گزینه های اتلاف حرارتی حاصل از پخت میباشد:

$$Q_8 = C_{cl} \cdot (T_{cl1} - T_a) \quad (11)$$

گرمای محسوس گاز خروجی خنک کن، حرارتی که میتوان جهت تکنولوژی تولید همزمان بکار برد:

$$Q_9 = A_s \cdot C_a (T_s - T_a) \quad (12)$$

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir



گرمای نهان رطوبت در مواد خام که وارد سیکل پخت میشوند:

$$Q_{10} = W_r \cdot r \quad (13)$$

گرمای محسوس گاز خروجی از پیش گرم کن سیکلونی که دو عامل اصلی آن بخار و گاز دی اکسید کربن میباشد:

$$Q_{11} = 1 / 24 (W_r + W_{steam}) C_{steam} (T_g - T_a) W C_{O_2} (T_g - T_a) \quad (14)$$

گرمای محسوس غبار خروجی از کوره که بسته به میزان حجم و نوع کوره مقدارش متغیر خواهد بود:

$$Q_{12} = C_d (T_g - T_a) \cdot W_d \quad (15)$$

اتلافهای همرفتی و تشعشعی:

$$Q_{13} = q / \{m_d (T_{ks} - T_a)\} \quad (16)$$

بازدهی پخت در سامانه‌ی کوره می‌تواند به صورت معادله ۱۷ تعریف شود:

$$\eta_{burning} = \frac{(Q_7 - Q_4)}{(Q_1 + Q_2)} \quad (17)$$

گرمای محسوس مواد خام برای گرمادهی تا  $900^{\circ}\text{C}$ ، البته برای انواع سیستم پخت میتوان دما را بالا تر در نظر گرفت [۶]:

$$Q_a = W_m \times C_m \times 900 \quad (18)$$

گرما برای واکنش تخریب  $\text{MgO}_3, \text{CaCO}_3$  و کائولن:

$$Q_b = 714(\text{CaO}) + 588(\text{MgO}) + 564(\text{Al}_2\text{O}_2) \quad (19)$$

گرمای محسوس مواد خام برای گرمادهی از  $900$  تا  $1450^{\circ}\text{C}$  [۶]:

$$Q_c = (1.11 \times 1450) - (0.98 \times 900) \quad (20)$$

گرمای تشکیل کلینکر که در هند بوک های مختلف طراحی سیکل پخت ذکر شده است و گرمای به عمل آمدن کلینکر در

## مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی‌های شیمیایی

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir

DEMO



کوره پخت میباشد [۶]:

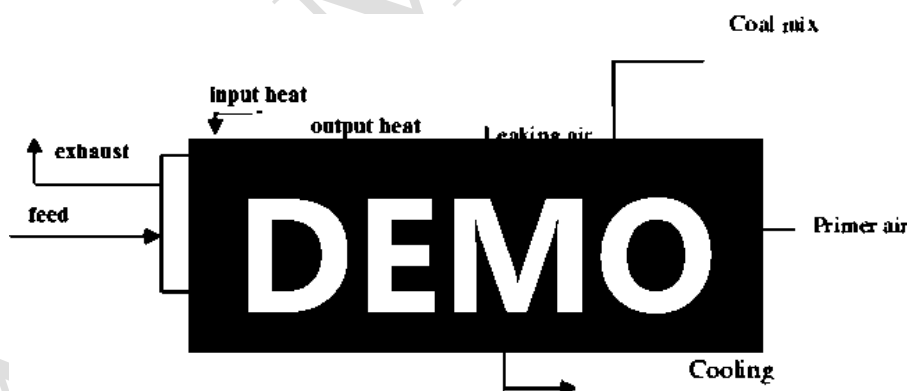
$$Q_d = 418.68 \quad (21)$$

از معادلات ذکر شده جهت تعیین میزان مصرف انرژی و تولید حرارت هر بخش و میزان اتلاف هر بخش استفاده شده و با قرار دادن دما و ویژگی‌های کوره و بخش‌های دیگر میتوان به میزان مصرف انرژی آن دست یافت و می‌توان گفت که این معادلات بگونه‌ای موازنه انرژی در بخش‌های مختلف کوره را بیان می‌کنند.

امروزه با بهینه‌سازی سیستم‌های احتراق و بکارگیری گرمای تلف شده در بخش‌های مختلف تولید از قبیل مصرف انرژی گرمایی گازهای خروجی پیش گرمکن در خشک کردن مواد آسیاب‌شده و یا استفاده از گازهای تلف شده از خروجی بخش کولر در خط تولید، می‌توان در کاهش میزان انتشار گاز CO<sub>2</sub> نیز تأثیرگذار باشد.

## ۴- مدل سازی

تولید الکتریسته می‌تواند بر مبنای چرخه تولید بخار و یا چرخه معمولی رانکین (تبدیل حرارت به کار) صورت گیرد. در این مقاله با در دست داشتن توزیع حرارت در کوره پخت سیمان، از نوع کوره دوار، که از منابع مورد مطالعه استخراج شده است، به بررسی و ارزیابی سیستم CHP با دو سیکل رانکین و برای تون پراخته می‌شود در حالی که خوراک این سیستم‌ها از ده نقطه از کوره در فواصل مختلف که شرایط دمایی متفاوتی دارند صورت می‌گیرد. توزیع دمای گازهای موجود در کوره دوار پخت سیمان در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شکل از مدل شعله Gorog استفاده شده است. این کوره شامل یک استوانه توخالی افقی با شیب استاندارد در جهت مشعل میباشد تا بتواند فاز جامد را به سمت مشعل حرکت دهد و دارای طول ۴۰۰ فوت و قطر ۱۰-۲۰ فوت میباشد.



شکل ۱- حجم کنترل در نظر گرفته شده کوره

در حجم کنترل در نظر گرفته شده شکل ۱ ورودی‌ها شامل خوراک، گرمای ورودی، هوای اولیه و هوای ثانویه می‌باشد که هوای اولیه برای ایجاد احتراق کامل و هوای ثانویه برای خنک کردن محصول خروجی و گرمای ورودی نیز جهت پخت و

## مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجربان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir

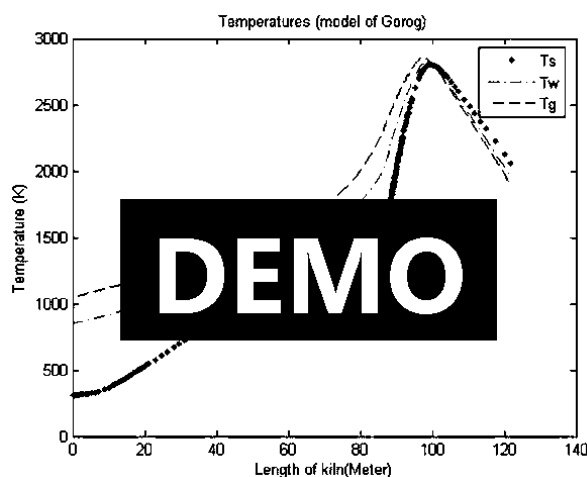
DEMO



DEMO



فرآوری محصول است و خروجی‌ها شامل کلینکر، گازهای خروجی از کوره، گرمای خروجی از سطح و نشستی‌های هوا که از نشستی‌های هوا صرف نظر میشود و توزیع حرارتی در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲- درجه حرارت شعله در کوره در نوع شعله Gorog [۹]

به منظور تحلیل سامانه ی کوره از لحاظ ترمودینامیکی، فرضیات شامل:

- (۱) شرایط کاری در حالت پایدار می باشد.
- (۲) از تغییر دمای محیط صرف نظر می شود.
- (۳) نشست هوای سرد به سامانه ناچیز است.
- (۴) سوخت کاری مازوت میباشد. ارزش حرارتی سوخت ۴۱۱۸۸ کیلو ژول بر کیلو گرم می باشد.
- (۵) قطر داخلی و خارجی کوره ثابت است.
- (۶) جامداتی که توسط گاز حمل می شود صریحاً در مدل قرار ندارند.
- (۷) گرماهای ویژه و تبخیر و واکنش مستقل از دما و موقعیت هستند.

به منظور تحلیل سامانه CHP از لحاظ ترمودینامیکی، فرضیات شامل:

- سیستم در حالت پایدار
- گاز ایده ال
- تمام مراحل آدیاباتیک بجز محفظه احتراق

## ۴-۱- معادلات حاکم

در این بخش به بررسی پتانسیلهای موجود در کوره سیمان جهت استحصال گاز از آن و ورود به سیکل CHP پرداخته می شود. که در این تحلیل ۱۰ نقطه از کوره مورد بررسی قرار میگیرد و از این ده نقطه گاز با شرایط دمایی متفاوت و فشار



مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

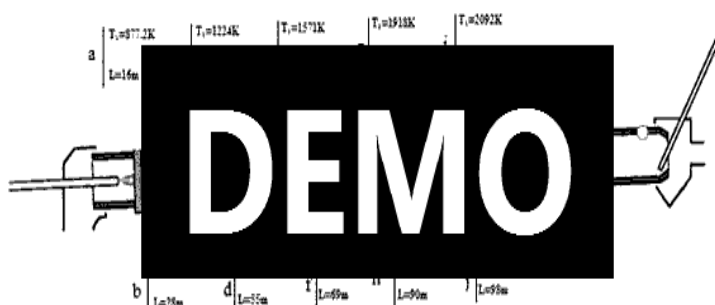
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir

DEMO



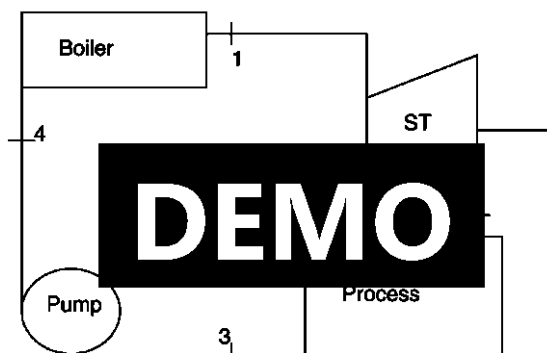
های مختلف (منظور ورود سیکل گازی میباشد که باید گازهای خروجی با تقویت فشار وارد محرک شوند) و میزان بازده سیکل و انرژی‌های نقاط مختلف دو سیستم مورد نظر، تحلیل میشوند. در این بخش با استحصال گاز از چند نقطه مختلف کوره و اعمال آن بعنوان ورودی به سیکل CHP به بررسی بازدهی تولید توان و نیز بازدهی پخت پرداخته می‌شود.



شکل ۳- شماتیک کوره جهت نقاط برداشت حرارت و کسب دمای لازم برای بکارگیری در سیستم تولید همزمان

۴-۱-۱ معادلات سیکل با توربین بخار

در این قسمت از معادلات پایه برای یک سیکل پایه توربین بخار برای تولید توان استفاده شده است که شکل ۴ شماتیک بخشهای مختلف یک سیکل بخار نشان داده شده است که شامل بویلر، توربین بخار، کندانسور و پمپ بوده که در نرم افزار مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۴- طرحواره سیکل تولید همزمان با محرک بخار

برداشت گاز از نقطه ۱:

نقطه ورودی توربین یا خروجی بویلر، نقطه ۱ اول سیکل مورد بررسی می‌باشد که با توجه بررسی کار انجام شده [۱۰] که از سیکل بخار برای تولید توان استفاده شده است، که ویژگی‌های این نقطه بدین شرح است:

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی‌های شیمیایی

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir

DEMO



$$T_1 = 877K$$

$$P_1 = 300Kpa$$

با داشتن دو خاصیت ترمودینامیکی از یک سیال سایر خاصیت‌های آن از جداول ترمودینامیکی قابل استخراج است. این امر توسط بانک اطلاعاتی نرم افزار EES انجام می‌شود. به همین ترتیب ویژگی‌های نقاط مختلف سیکل را بدست می‌آوریم. سپس با استفاده از فرمول‌های ۲۲-۲۷ به محاسبه‌ی میزان حرارت دفع شده و بازده سیکل پرداخته شده و در ازای ورودی‌های مختلف بازده سیکل مورد بررسی قرار می‌گیرد [۱۱].

$$Q_H = H_1 - H_4 \quad (22)$$

$$W_T = H_1 - H_2 \quad (23)$$

$$Q_L = H_2 - H_3 \quad (24)$$

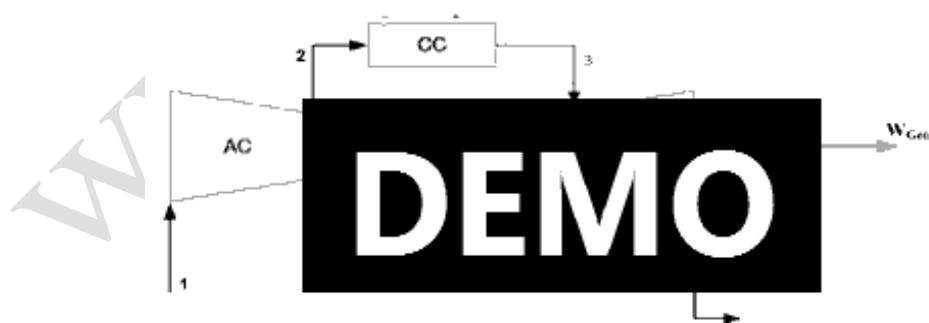
$$W_P = H_4 - H_3 \quad (25)$$

$$\eta = (W_T - W_P) / Q_H \quad (26)$$

$$Q_{Fuel} = \sum_j Q_{Fuel,j} \quad (27)$$

۴-۱-۲- معادلات سیکل با توربین گازی

شکل ۵ طرحواره سیکل تولید همزمان با محرک گاز را نشان می‌دهد، همانطور که می‌بینیم شکل از اجزای کمپرسور، مبدل حرارتی، توربین گازی، کندانسور و ژنراتور تشکیل شده است که در نرم افزار، مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۵- طرحواره سیکل تولید همزمان با محرک گاز

برداشت گاز از نقطه ۱:

## مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir



نقطه ورودی کمپرسور، نقطه ی اول سیکل مورد بررسی می باشد که این نقطه هم به این دلیل انتخاب اول ما بوده است که در کار تحقیقاتی انجام شده پیشین [۱۲] نقطه ورودی را با این ویژگی ها در نظر گرفته و وارد سیکل گازی کرده است که ویژگی های این نقطه بدین شرح است:

$$P_1 = 100 \text{ KPa}$$

$$T_1 = 1000 \text{ K}$$

با استفاده از فرمول های ۲۸-۴۰ به محاسبه ی میزان حرارت دفع شده و بازده سیکل پرداخته شده و در ازای ورودی های مختلف بازده سیکل مورد بررسی قرار می گیرد. فشار اعمالی از طرف کمپرسور به سیال در ران اولیه شش برابر اتمسفر در نظر گرفته شده است و نسبت فشار متناسب با مراجع معتبر تغییر کرده تا تاثیرات آن روی بازده نشان داده شود.

$$P_2 = 600 \text{ KPa}$$

$$R_p = P_2 / P_1 \quad (28)$$

دمای خروجی از کمپرسور با استفاده از فرمول ۲۹ توسط نرم افزار محاسبه می شود [۱۱].

$$T_2 = T_1 * R_p^{0.2857} \quad (29)$$

دمای خروجی از محفظه احتراق یا مبدل حرارتی ۱۰۰۰ کلوین در نظر گرفته می شود که متناسب است با کارهایی که پیش از این در ارتباط با سیستم تولید همزمان با نوع محرک گاز انجام شده است [۱۱].

$$T_3 = 1000$$

دمای خروجی از توربین با استفاده از رابطه ۳۰ توسط نرم افزار محاسبه می شود.

$$T_4 = T_3 / R_p^{0.2857} \quad (30)$$

$$P_4 = P_3 / R_p \quad (31)$$

سیال در نقطه خارج شدن از توربین در فشار ۴ اتمسفر در مرحله اول قرار داده میشود که متناسب با کارهای صورت گرفته پیشین است که در بخش های گذشته نمونه آن مشاهده شد.

$$T_5 = 400$$

## مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir

DEMO



$$W_{com} = H_2 - H_1 \quad (32)$$

$$W_{tur} = H_3 - H_4 \quad (33)$$

$$Q_H = H_3 - H_2 \quad (34)$$

$$Q_L = H_4 - H_5 \quad (35)$$

$$\eta = (W_{tur} - W_{com}) / Q_H \quad (36)$$

$$\eta_{E-Elec} = \frac{W_{Elec}}{Q_{Fuel}} \quad (37)$$

$$\eta_{generator} = \frac{W_{Elec}}{Q_{Fuel}} \quad (38)$$

$$W_{GT} = m_G \int_{T_4}^{T_5} C_{PG}(T) dT \quad (39)$$

$$W_{AC} = m_{air} \int_{T_1}^{T_2} C_{p_{air}}(T) dT \quad (40)$$

## ۵- اعتبار سنجی

نتایج بدست آمده از تحلیل های دو سیکل تولید توان و حرارت در این پروژه، توسط نرم افزار مربوطه را میتوان با کار های صورت گرفته که در ادامه تشریح میشود اعتبار سنجی کرد. در مقاله علی شکوری و همکاران [۱۰] در سال ۲۰۱۳ که تحت عنوان بهینه سازی حرارتی سیکل های تولید همزمان با توربین های بخار برای اقتصادی شدن انرژی میباشد میتوان تأثیر دمای ورودی توربین را در بازده توربین و کل سیکل مشاهده کرد که شکل ۶ بازگو کننده این نتیجه میباشد و تقارب زیادی با نتایج بدست آمده دارد.

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

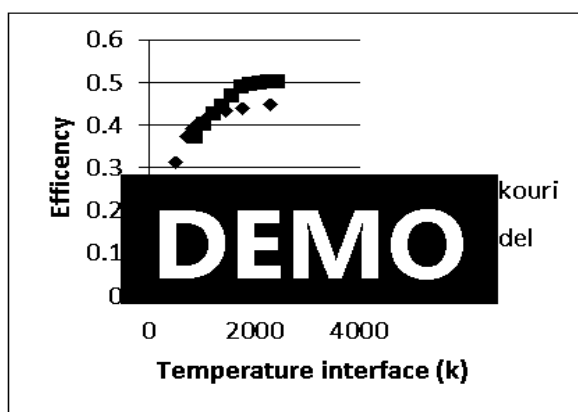
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجربان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir



شکل ۶- تمایش تقارب بازده ها در دماهای مورد نظر با سیکل بخار شکوری [۱۲]

در شکل ۶ مشاهده میشود که مدل مورد تحقیق که بازده دمایی آن بر اساس کمترین و بیشترین دمای گاز های داخل کوره میباشد، تطابق نسبی با مدل شکوری دارد و در جدول ۲ میزان خطا محاسبه شده است.

جدول ۲- محاسبه بیشینه خطا در فشار یکسان کاری سیستم ها

فشار ورودی	مقدار بازده مدل	مقدار بازده مدل شکوری	میزان خطا
۳۰۰ کیلوپاسکال	۰/۵	۰/۴۶	٪۸/۶

همچنین طبق تحقیقات صورت گرفته توسط رنگان بانرجی و همکاران [۷] در سال ۲۰۰۲، استفاده از سیکل توربین بخار برای بازیافت حرارت در یک کارخانه سیمان در هند دارای صرفه انرژی بوده و حدود ۳۰ درصد از برق مورد نیاز کارخانه تامین و بازده کارخانه به ۱۰ درصد افزایش می یابد.

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

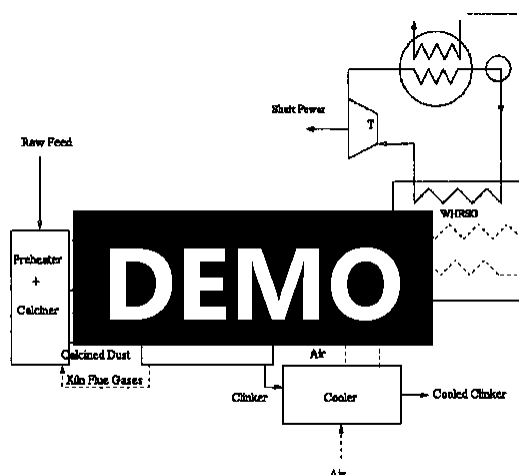
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجربان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

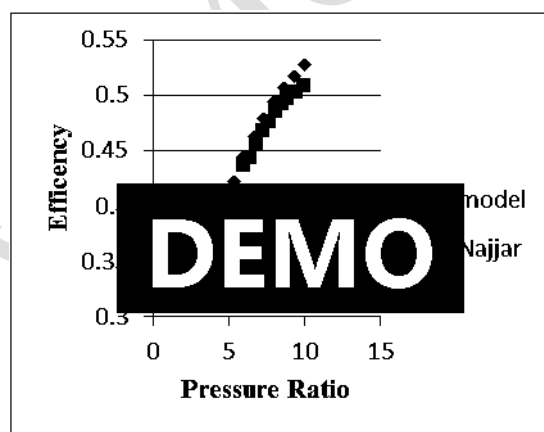
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir



شکل ۷- بکارگیری توربین بخار [۷]

برای اعتبار سنجی تکنولوژی CHP با بکارگیری از توربین گاز نیز شکل ۸ نشان دهنده صحت بررسی‌های انجام گرفته می‌باشد که آقای نجار [۱۲] در مقاله خود در سال ۱۹۹۵ تحت عنوان افزایش عملکرد توربین گازی بوسیله هوای خنک کننده ورودی و سیستم تولید همزمان، نشان داده که با افزایش نسبت تراکم، بازده حرارتی چگونه تغییر می‌کند.



شکل ۸- نمایش تقارب بازده‌های مدل حاضر در نسبت‌های فشار مختلف با مدل نجار [۱۲]

در جدول ۳ میزان خطای میانگین مدل حاضر با نتایج مدل نجار [۱۲] محاسبه شده است.

جدول ۳- محاسبه پیشینه خطا در دمای یکسان کاری سیستم‌ها (بین مدل حاضر و مدل نجار [۱۲])

دمای	مقدار مدل	مقدار مدل نجار	میزان خطا
------	-----------	----------------	-----------

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجربان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

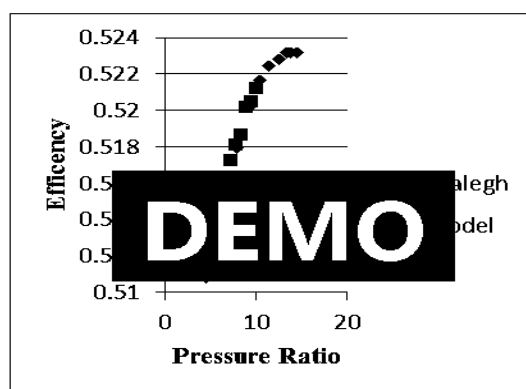
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir



۱۴۰۰ کلوین	۰/۵۳	۰/۵۱	٪۴
------------	------	------	----

در ادامه بررسی عبدالخالق و همکاران [۱۳] در سال ۲۰۱۱ تحت عنوان بررسی عملکرد انرژی یک واحد تولید همزمان توان و حرارت با خنک کننده ورودی ابرزشن و خنک کاری پس از اپراتور، برای یک سیکل با توربین گازی در دمای ۱۵۰۰ درجه کلوین بازده سیکل به صورت زیر بدست آمده که با نتایج بدست آمده مطابقت دارد.



شکل ۹- نمایش تقارب بازده های مدل حاضر در نسبت های فشار مختلف با مدل عبدالخالق و همکاران [۱۳]

در جدول ۴ میزان خطای میانگین مدل حاضر با نتایج مدل عبدالخالق و همکاران [۱۳] محاسبه شده است.

جدول ۴- محاسبه بیشینه خطا در دمای یکسان کاری سیستم ها (بین مدل حاضر و مدل عبدالخالق و همکاران [۱۳])

دمای	مقدار مدل	مقدار مدل خالق	میزان خطا
۱۵۰۰ کلوین	۰/۵۱۵	۰/۵۱۳	٪۳/۵

بررسی ها نشان می دهد عملکرد سیستم تا حد زیادی به دو پارامتر نسبت فشار کمپرسور و دمای ورودی توربین بستگی دارد. آنالیز انرژی نشان داد افزایش دمای ورودی توربین تا حد مجاز برای عملکرد سیکل مناسب است، بدین گونه که افزایش دمای ورودی توربین راندمان الکتریکی، انرژی و حرارتی سیکل را افزایش می دهد (برای هر دو سیکل) ولی برای نسبت فشار کمپرسور متفاوت است. بدین گونه که بسته به نوع نیاز ما از سیکل می توان آن را تغییر داد، بدین صورت که اگر نیاز سیکل به تولید برق بیشتری باشد می توان با کاهش نسبت فشار کمپرسور راندمان الکتریکی سیکل را افزایش داد ولی اگر نیاز ما از سیکل به تولید گرمای بیشتر و مصارف حرارتی باشد باید برای بالا بردن راندمان حرارتی، نسبت فشار کمپرسور را افزایش داد (توربین گازی).

## مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

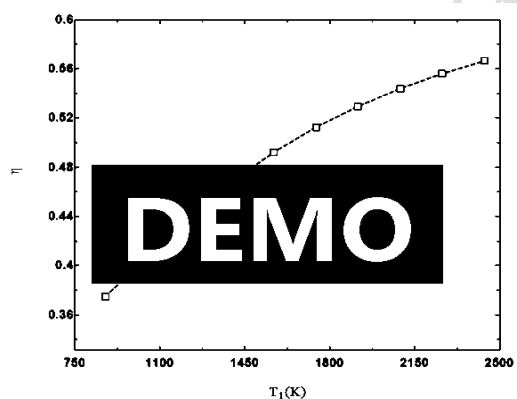
www.Mobadel.ir

DEMO

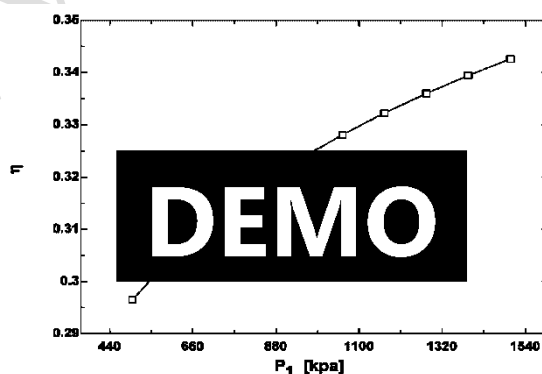


## ۶- بحث و بررسی نتایج

نتیجه تحقیقات حاضر نشان می‌دهد عملکرد سیستم CHP تا حد زیادی به دو پارامتر نسبت فشار کمپرسور و دمای ورودی توربین بستگی دارد. آنالیز انرژی نشان داد افزایش دمای ورودی توربین تا حد مجاز برای عملکرد سیکل مناسب است بدین گونه که با افزایش دمای ورودی توربین راندمان الکتریکی، انرژی و حرارتی سیکل را افزایش می‌دهد ولی برای نسبت فشار کمپرسور متفاوت است بدین گونه که بسته به نوع نیاز ما از سیکل می‌توان آن را تغییر داد. بدین صورت که اگر نیاز سیکل به تولید برق بیشتری باشد می‌توان با کاهش نسبت فشار کمپرسور راندمان الکتریکی سیکل را افزایش داد ولی اگر نیاز ما از سیکل به تولید گرمای بیشتر و مصارف حرارتی باشد باید برای بالابردن راندمان حرارتی می‌توان نسبت فشار کمپرسور را افزایش داد. همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود بازه دمایی تحلیل سیکل از ۱۰۰۰ درجه کلوین تا ۲۵۰۰ درجه کلوین میباشد که با افزایش دما مشاهده می‌شود که بازه سیکل افزایش پیدا می‌کند و این افزایش در ابتدا شیب زیادی داشته و بعد از دمای ۱۸۰۰ درجه کلوین کمی از این شیب کاسته میشود و دلیل این امر افزایش آنتالپی در اثر افزایش دما و در نتیجه افزایش کار، که این روند تا حدی معلومی ادامه دارد و از آن به بعد هر چقدر دما افزایش پیدا کند آنتالپی تغییر زیادی نخواهد کرد.



شکل ۱۰- نمودار تأثیرات دمای ورودی بر بازه سیکل در فشار ورودی ۳۰۰ کیلوپاسکال



شکل ۱۱- تغییرات بازه با تغییرات فشار در دمای ورودی ۷۲۳ کلوین



## مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی‌کیما

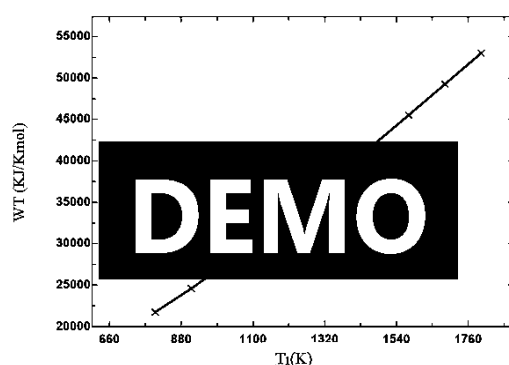
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir

DEMO

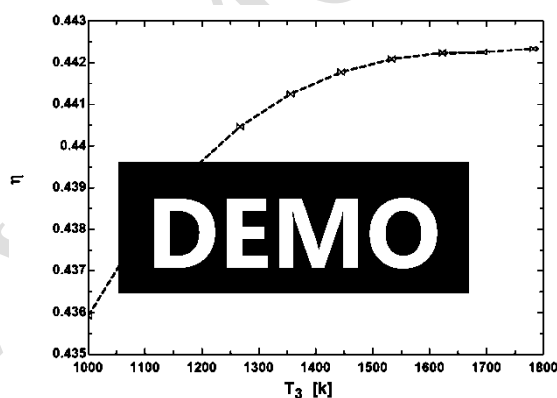


با توجه به شکل ۱۱ که بر حسب بازده و فشار ورودی به توربین میباید، مشاهده می‌شود که بازده فشاری مربوطه بین ۵۰۰ کیلو پاسکال و ۱۵۰۰ کیلو پاسکال میباید که با شیب بیشتری نسبت به انتهای نمودار شروع شده و بازده رابطه مستقیمی با فشار ورودی داشته است. به دلیل این که در این سیکل سیال مورد نظر بخار میباید، با افزایش فشار باعث تحرک بیشتر و در نتیجه افزایش کار و بازده میشود.



شکل ۱۲- تأثیرات دما بر کار توربین

در شکل ۱۲ براساس سیکل مورد نظر میزان کار توربین با تغییرات دما را مشاهده میتوان کرد که تقریباً با شیب ثابتی با افزایش دما، افزایش می‌یابد و نشان دهنده ی رابطه مسقیم دمای ورودی و کار تولیدی میباید.



شکل ۱۳- تأثیرات دما بر روی بازده

همانطور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌کنید میزان دماهای ران گرفته شده با توجه به نوع سیکل بیشتر از سیکل بخار میباید و حتی بازده های بدست آمده نیز بالاتر میباشند که در عمل هم این نوع نتایج معقول میباید. حتی در ادامه در بخش اعتبار سنجی میتوان صحت این نتایج را مشاهده کرد.

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

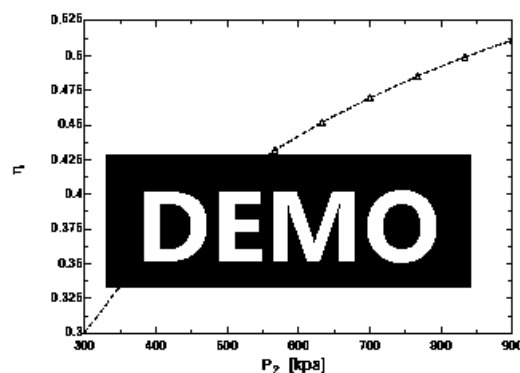
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی‌کیما

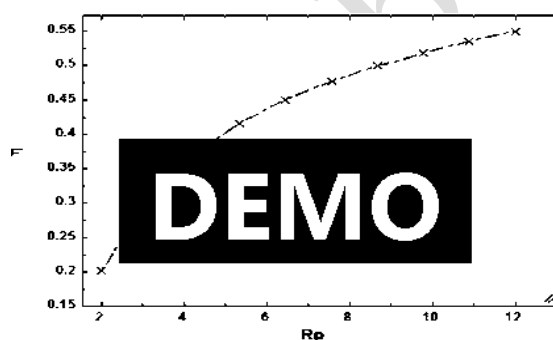
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir

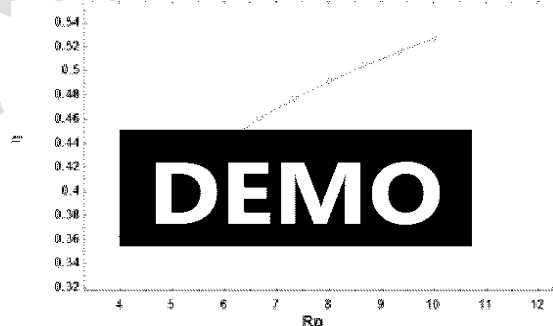


شکل ۱۴- تأثیرات فشار ورودی (کیلو پاسکال) بر روی بازده سیکل

همچنین شکل ۱۴ نشان دهنده ی افزایش بازده سیکل تحت تأثیر فشار ورودی به محفظه احتراق یا همان مبدل حرارتی که باعث افزایش دمای سیال سیکل که هوا می باشد، میشود و این تغییرات فشار را بی بعد کرده و دردماهای ثابتی که معمول این سیکل می باشد و مورد نیاز ما برای اعتبار سنجی بوده است، ارائه شده است.



شکل ۱۵- تأثیر تغییرات نسبت فشار بروی بازده در دمای ورودی توربین ۱۰۰۰ کلوین



شکل ۱۶- تأثیر تغییرات نسبت فشار بروی بازده در دمای ورودی توربین ۱۴۰۰ کلوین

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

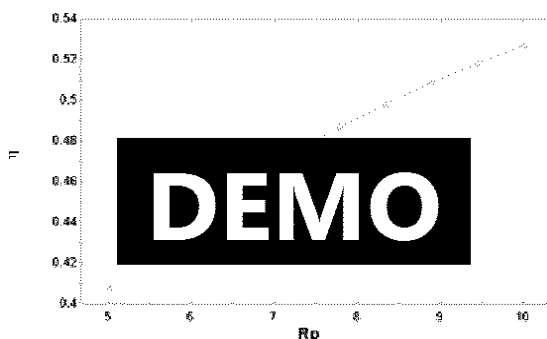
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی‌کیما

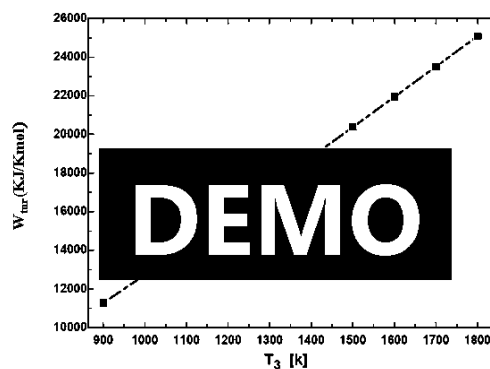
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir

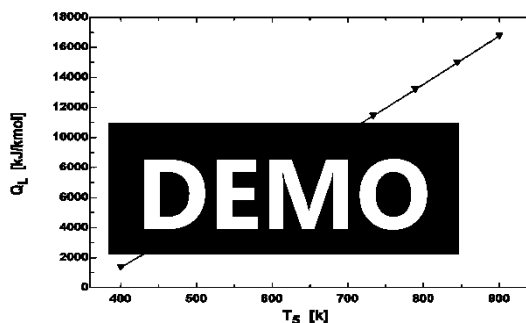


شکل ۱۷- تأثیر تغییرات نسبت فشار بروی بازده در دمای ورودی توربین ۱۴۰۰ کلوین

در اشکال ۱۶، ۱۷، ۱۵ تحلیل‌هایی براساس نسبت فشار صورت گرفته است. تحلیل سیکل گازی به این صورت بوده که به دلیل فشار کم خروجی از کوره یک کمپرسور در سیکل قرار گرفته است و همچنین در بیشتر مقالات‌های پژوهشی از این پارامتر برای سنجش عملکرد سیکل استفاده شده است، بنا به همین دلایل در سه دمای اصلی که در طول کوره موجود بوده این بررسی‌ها صورت گرفت.



شکل ۱۸- دمای ورودی و تأثیر بر کار توربین



شکل ۱۹- تأثیرات دمای خروجی و گرمای خروجی از کندانسور

از اشکال ۱۸ و ۱۹ می‌توان میزان کار انجام شده به ازای تغییرات دما و میزان گرمای خارج شده از کندانسور سیکل گاز که

## مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجربان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir

DEMO



DEMO



میتوان جهت مصرف های تهویه مطبوع استفاده کرد را مشاهده نمود. شایان ذکر است که استفاده از حرارت موجود در بخش کندانسیگ برای مصارف تهویه مطبوع قابل استفاده و مقرون به صرفه بوده و طی تحقیقات صورت گرفته علمی و منطقی بوده است. با استفاده از نرم افزار دمای ده نقطه از کوره پخت سیمان استخراج شده است و با نسبت های فشار مختلف برای توربین گازی و توزیع فشار مختلف برای توربین بخار اعمال شده و این دماها برگرفته از خود کوره سیمان می باشد که در شکل ۲ مشاهده شده است.

## ۷- نتیجه گیری

براساس نتایج این تحقیق می توان گفت استفاده از سیستم های CHP در صنعت سیمان کاملاً موجه بوده و علاوه بر مزیت اقتصادی که برای دولت و کارخانه در بردارد در کاهش آلاینده های زیست محیطی نقش مهمی ایفا می نماید. با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده شد که بکار گیری سیکل بخار نسبت به سیکل گازی عملکرد بهتری در استفاده از حرارت اتلافی در طول کوره پخت سیمان داشته است، به دلیل آنکه بازده سیکل CHP با محرک توربین بخار بازده بیشتری از خود نشان داده است. دلیل دیگری که جهت برتری به کارگیری سیکل بخار می توان بیان کرد این است که طبق نتایج بدست آمده کار توربین بخار با توجه به دمای گازهای خروجی یکسان از کوره، بیشتر از توربین گازی می باشد و این امر باعث می شود که سیکل مورد نظر در دمای پایین تری کار کرده و بازده بیشتری از خود نشان دهد و احتمال ناقص شدن مرحله پخت کمتر می شود. در این بررسی محدودیتها عبارتند از دمای خروجی، دمای ورودی به توربین، نسبت فشار کمپرسور، بازده آیزنتروپیک کمپرسور و بازده آیزنتروپیک توربین که دمای خروجی باید به گونه ای باشد که مراحل پخت سیمان به طور کامل صورت گرفته باشد و دمای ورودی توربین نیز باید به گونه ای باشد که بازده معمول سیکل CHP را تأمین نماید و بازده کمپرسور نیز باید به نحوی باشد که بازده کل سیکل قابل قبول باشد. نتایج نشان می دهد که با توجه به صرف نظر از افتها و بازگشت ناپذیری ها در سیکل، مقدار بدست آمده از بازده نزدیک به انتظارات بوده است. همچنین باید به این مسئله دقت کرد که گرمای لازم برای سیکل تولید توان به گونه ای گرفته شود که به پخت مواد داخل کوره آسیب نرسد و مواد در انتهای کوره به صورت کامل پخته شده باشند تا محصول نهایی، کیفیت لازم را داشته باشند.

## ۸- نمادها

گرمای ویژه ی کلینکر (kJ/kg K)



دمای کلینکر در ورودی خنک کن (°C)

حجم گاز خروجی از خنک کن (m<sup>3</sup>)

تولید کلینکر در ساعت (t/h)



دمای سطح کوره (°C)



مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجربان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی‌کیما

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir



- مصرف سوخت به ازای یک کیلوگرم کلینکر (kg)
- جرم خوراک خام خشک به ازای یک کیلوگرم کلینکر (kg)
- محتوای رطوبت خوراک خام (kg)
- ارزش کالری پایین تر (kJ/kg)
- گرمای ویژه سوخت (kJ/kg K)
- دمای سوخت (°C)
- دمای محیط (°C)
- دمای مواد خام (°C)
- دمای هوای اولیه ی پیش گرم شده (°C)
- دمای هوای پیش گرم شده (°C)
- هوای اولیه ی ورودی به ازای یک کیلوگرم کلینکر (kg)
- جرم هوای خنک کننده به ازای یک کیلوگرم کلینکر (kg)

## ۹- مراجع

[1]Tashin Engin, Vedat Ari; "Energy auditing and recovery for dry type cement rotary kiln systems-A case study", Energy Conversion and Management 46 (2005) 551-562.

[۲] مقدمه ای بر سیستم های تولید مشترک برق و حرارت، مطلب میری، غلامرضا بیاتی، محمد حسن زربخش، وزارت نیرو سازمان بهر هوری انرژی ایران (سبا)، ۱۳۸۳

[۳] بازیافت حرارتی گازهای خروجی ، کوره های سیمان و تولید انرژی الکتریکی. حسین افشار باقری- طاهره رحیمی-آرمان کاظمی. هشتمین همایش ملی انرژی خرداد ۱۳۸۶.

[۴] بهینه سازی مصرف انرژی و بازیافت انرژی در صنعت سیمان با استفاده از میکروتوربین های CHP. سعید اکبرزاده عمران. کارشناس مکانیک جامدات. کارشناس برق الکترونیک. کارشناس ارشد برق قدرت. کارشناس ارشد پژوهش منطقه ۹ عملیات انتقال گاز ایران. دومین کنفرانس و نمایشگاه بین المللی صنعت سیمان، انرژی و محیط زیست. آبان سال ۱۳۹۲

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجربان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir



[5]Ziya Sögüt, Zuhal Oktay, Hikmet Karakoc; "Mathematical modeling of heat recovery from a rotary kiln", Applied Thermal Engineering, 30 (2010) 817-825.

[6]M.G. Rasul, W. Widiyanto, B. Mohanty; "Assessment of the thermal performance and energy conservation opportunities of a cement industry in Indonesia", Applied Thermal Engineering 25 (2005) 2950-2965.

[7] Energy balance and cogeneration for a cement plant Shaleen Khurana, Rangan Banerjee, Uday Gaitonde .Indian Institute of Technology, Energy Systems Engineering, IIT Bombay, Powai, Mumbai 400076, India .Received 25 May 2001; received in revised form 3 November 2001; accepted 19 November 2001

[8] waste heat recovery power generation systems for cement production process .by: ali amiri, mechanical engineering department, north dakota state university, fargo, mohammad rahim vaseghi, department of polymer engineering, shiraz branch, islamic azad university, shiraz, iran.

[9] A Dynamic Model of a Cement Kiln Un module dynamique d'un four h ciment Ein dynamisches Modell eines Zementofens H. A. SPANG, III. Automatica, Vol. 8, pp. 309-323. Pergamon Press, 1972. Printed in Great Britain

[10]Optimization of thermoelectric topping combined steam turbine cycles for energy economy .Kazuaki Yazawa, Yee Rui Koh, Ali Shakouri. Birck Nanotechnology Center, Purdue University, United States.

[11] laibriry of ees

[12] Enhancement of performance of gas turbine engines by inlet air cooling and cogeneration system. yousef s. h. najjar mechanical engineering department (thermali. king abdulaziz university, p.o. box 9027, jeddah 21413. saudi arabia.

[13]Energetic and exergetic performance analyses of a combined heat and power plant with absorption inlet cooling and evaporative aftercooling .Abdul Khaliq, Ibrahim Dincer .Faculty of Engineering and Applied Science, University of Ontario Institute of Technology, 2000 Simcoe St. N. Oshawa, Ontario L1H 7K4, Canada

WWW.MOBDEL.IR