





دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی

تحلیل فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی سیستم تولید هم‌زمان برق، حرارت و
سرما با محرک اولیه نیروگاه زباله‌سوز

نگارنده:

ناصر دهمرده

اساتید راهنما:

دکتر سید مجید هاشمیان

دکتر محمود چهارطاقی

شهریور ۹۸

شماره: ۲۰۱۲۸/۱۲۲
تاریخ: ۹۸/۷/۱

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورت جلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای ناصر دهمرده با شماره دانشجویی ۹۶۰۶۸۱۴ رشته مهندسی مکانیک گرایش سیستم‌های انرژی تحت عنوان تحلیل فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی سیستم تولید هم‌زمان برق، حرارت و سرما با محرک اولیه نیروگاه زباله‌سوز که در تاریخ ۱۳۹۸/۰۶/۱۲ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

<input type="checkbox"/> مردود	<input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه: ...)
<input type="checkbox"/> عملی	<input checked="" type="checkbox"/> نظری

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	دکتر سید مجید هاشمیان	۱- استاد راهنمای اول
	دانشیار	دکتر محمود چهارطاقی	۲- استاد راهنمای دوم
—	—	—	۳- استاد مشاور
	دانشیار	دکتر پوریا اکبرزاده	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	استاد یار	دکتر احمد نظری	۵- استاد ممتحن اول
	استادیار	دکتر علی عباس نژاد	۶- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمد محسن شاه مردان

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می‌تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

خداوندا...

هزاران شکر که در کنارمان هستی و قرار و آرام دلهای بیقرارمان. جز تو چه

جوییم و جز تو که را خوانیم که همه تویی و جز تو همه هیچ. لحظاتمان را قرین

رحمت و مهربانیات بفرما و ما را در ادامه راهمان تنها مگذار که یک لحظه بی تو

ویرانی دنیا نیست.

این پایان نامه را تقدیم می‌کنم به پدر و مادرم که از نگاهشان صلابت، از رفتارشان

محبت و از صبرشان ایستادگی را آموختم.

تقدیر و تشکر

اکنون که به یاری پروردگار و راهنمایی اساتید محترم موفق به پایان این رساله شده‌ام وظیفه خود دانسته که نهایت سپاسگزاری را از تمامی عزیزانی که در این راه به من کمک کرده‌اند به عمل آورم:

در آغاز از اساتید عزیز و بزرگوایم جناب آقای سید مجید هاشمیان و دکتر محمود چهارطاقی که راهنمایی این پایان‌نامه را به عهده داشته‌اند کمال تشکر را دارم.

تقدیر و تشکر از پدر و مادر و همسر گرامی که در تمامی مراحل انجام پایان‌نامه باعث دلگرمی بنده بودند، تشکر می‌نمایم.

و در پایان از تمامی دوستانم که در انجام این پایان‌نامه مرا همراهی نموده و باعث پشت سر گذاشتن موانع بودند، تشکر می‌نمایم.

تعهد نامه

اینجانب ناصر دهمرده دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی سیستم‌های انرژی دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه " تحلیل فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی سیستم تولید هم‌زمان برق، حرارت و سرما با محرک اولیه نیروگاه زباله‌سوز " تحت راهنمایی دکتر مجید هاشمیان و دکتر محمود چهارطاقی متعهد می‌شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

در طی سال‌های اخیر، رشد جمعیت و توسعه جوامع سبب افزایش حجم زباله‌ها در بسیاری از مناطق دنیا از جمله در کشور ایران گردیده است. اگر اقدامات لازم جهت مدیریت، کاهش حجم زباله‌ها در سطح زمین به عمل نیاید، معضل افزایش زباله به تهدیدی بزرگ و جدی برای زندگی بشر تبدیل می‌شود از این رو نیروگاه‌های زباله‌سوز احداث گردید تا علاوه بر کاهش حجم زباله‌ها یک فرایند مثبت تولید توان را به همراه داشته باشد. براین اساس در پژوهش حاضر، هدف براین مبنا است پس از اندازه‌گیری، بررسی و مطالعه بر روی گازهای خروجی از نیروگاه زباله‌سوز در سیستم تولید هم‌زمان برق، حرارت و سرما مورد استفاده قرار گیرد، همچنین تحلیل زیست‌محیطی از نیروگاه نیز صورت گرفته است.

با استفاده از نرم افزار Aspen یک مدل اولیه از نیروگاه سیکل ترکیبی سه‌گانه طراحی می‌شود و چیدمان و آرایش سیکل، انجام می‌گیرد. مقدار مصرف زباله در نیروگاه $\frac{kg}{h}$ ۸۳۳۳/۳ و توان حاصل شده $3 MW$ می‌باشد. تلفات حرارتی از گازهای خروجی بویلر، جهت تامین نیاز گرمایشی وارد یک مبدل حرارتی که توسط نرم‌افزار^۱ EES مدل‌سازی شده می‌گردد. راندمان مبدل حرارتی ۷۰٪ و دمای آب خروجی از مبدل حرارتی $70^{\circ}C$ محاسبه گردیده است.

گازهای خروجی از مبدل حرارتی جهت تامین نیاز سرمایشی وارد چیلر جذبی آب-آمونیاک شده، و مقدار سرمایش ایجاد شده در اواپراتور اول ۱۱۱۱ کیلووات و اواپراتور دوم نیز ۵۲۹ کیلووات محاسبه گردید راندمان انرژی نیروگاه ۳۵٪ که با تبدیل شدن نیروگاه به یک سیستم تولید هم‌زمان راندمان انرژی ۷۰٪ افزایش می‌یابد. توجیه اقتصادی طرح با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شده و دوره بازگشت

^۱ Engineering Equation Solver

سرمایه نیز در حدود ۵/۲ سال برآورد شده است. با این اوصاف سیستم‌های تولید هم‌زمان با محرک نیروگاه زباله‌سوز نقش مهمی در تامین انرژی دارند.

واژه‌های کلیدی: نیروگاه زباله‌سوز، تولید هم‌زمان، مبدل حرارتی، چیلر جذبی، راندمان انرژی و انرژی، دوره بازگشت سرمایه

فهرست

صفحه	عنوان
۱	فصل اول
۱-۱-۱	مقدمه
۲-۱	سیستم های تولید همزمان گرما و حرارت
۳-۱	کاربرد تولید مشترک الکتریسیته و حرارت
۴-۱	سیستم های تولید همزمان برق و حرارت و سرما
۴-۱-۱	مفهوم اصلی سیستم های تولید همزمان برق و حرارت و سرما
۵-۱	بخش های اصلی تشکیل دهنده سیستم های تولید همزمان
۵-۱-۱	واحد تولید توان
۵-۱-۲	واحد تولید گرمایش
۵-۱-۳	واحد تولید سرمایش
۶-۱	نیروگاهها
۶-۱-۱	انواع نیروگاهها
۷-۱	انرژی از زیالهها
۷-۱-۱	نیروگاههای زیالهسوز
۷-۱-۱-۱	فرآیند و تکنولوژی زیالهسوز
۷-۱-۲	ترکیب انرژی حرارتی زیاله
۷-۱-۳	نوع کوره زیالهسوز
۷-۱-۴	کنترل آلودگی و حذف ذرات
۷-۱-۵	بازیابی حرارت به صورت بخار
۱۹	فصل دوم
۱-۲	مقدمه
۲-۲	پیشینه تحقیق
۲-۲-۱	پژوهش ها و مقالات منتشرشده
۳-۲	معرفی پژوهش حاضر و نوآوری
۲۹	فصل سوم

۳۰	۱-۳- مقدمه
۳۰	۲-۳- ترکیب زباله تهران
۳۱	۳-۳- دبی جرمی سوخت و هوای مصرفی نیروگاه
۳۲	۴-۳- بخش زیست‌محیطی نیروگاه
۳۳	۱-۴-۳- معادله موازنه احتراق
۳۳	۲-۴-۳- معادله ارزش حرارتی زباله‌ها
۳۴	۳-۴-۳- معادلات گرمای حاصل از واکنش احتراق واگرزژی سوخت
۳۶	۵-۳- روابط حاکم بر سیستم تولید هم‌زمان
۳۹	۱-۵-۳- مبدل حرارتی مورد نیاز در نیروگاه
۴۰	۲-۵-۳- تامین سرمایه‌مورد نیاز در نیروگاه
۴۳	۶-۳- معادلات اقتصادی استفاده از پتانسیل گرمایی دودکش
۴۵	۷-۳- طراحی نقشه عملیاتی از پژوهش حاضر
۴۹	فصل چهارم
۵۰	۱-۴- مقدمه
۵۳	۲-۴- نتایج
۵۴	۱-۲-۴- جرم سوخت و هوای مصرفی نیروگاه
۵۷	۲-۲-۴- آلاینده‌های خروجی از نیروگاه
۶۱	۳-۲-۴- ارزش حرارتی زباله‌ها
۶۷	۴-۲-۴- مبدل حرارتی متناسب با نیاز نیروگاه
۷۰	۵-۲-۴- چیلر جذبی دو اثره آمونیاک-آب
۷۳	۳-۴- راندمان سیستم تولید هم‌زمان
۷۹	۴-۴- نتایج اقتصادی
۸۰	۱-۴-۴- هزینه‌های سرمایه‌گذاری
۸۲	۲-۴-۴- سود خالص
۸۳	۳-۴-۴- نرخ بهره
۸۴	۴-۴-۴- دوره بازگشت سرمایه
۸۷	فصل پنجم
۸۸	۱-۵- نتیجه‌گیری
۹۱	۲-۵- پیشنهادات
۹۲	مراجع

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۴.....	شکل (۱-۱) چگونگی تولید گرما و برق و بکارگیری حرارت اتلافی آن در گرمایش ساختمان [۳].....
۶.....	شکل (۲-۱) استفاده از سیستم (CCHP) جهت تولید سرمایش و گرمایش [۴].....
۷.....	شکل (۳-۱) مبدل حرارتی برای استفاده از اتلافات حرارتی در نیروگاه‌ها [۵].....
۱۰.....	شکل (۴-۱) تصویری از تفکیک و سپس انتقال زباله‌ها به کوره‌های زباله [۷].....
۱۱.....	شکل (۵-۱) فرآیند تولید برق در نیروگاه زباله‌سوز [۷].....
۱۲.....	شکل (۶-۱) تصویری از مراحل تبدیل شدن زباله‌ها به انرژی الکتریسیته [۸].....
۱۴.....	شکل (۷-۱) تصویری از مراحل پیرو لیز و احتراق زباله‌ها در کوره‌ی زباله‌سوز [۱۱].....
۳۷.....	شکل (۱-۳): تصویری از سیستم CCHP با استفاده از سوخت زباله.....
۴۱.....	شکل (۲-۳): تصویری از سیکل چیلر جذبی آمونیاک-آب دو اثره.....
۴۶.....	شکل (۳-۳) نقشه عملیاتی از نیروگاه زباله‌سوز کهریزک.....
۴۸.....	شکل (۴-۳) تصویری از فرآیند تولید همزمان.....
۵۵.....	شکل (۱-۴) مقدار زباله ی ورودی و میزان برق تولیدی.....
۵۶.....	شکل (۲-۴) زباله ی ورودی و جرم خروجی از دودکش نیروگاه.....
۵۷.....	شکل (۳-۲) مقدار زباله ورودی ساعتی و دبی خروجی.....
۶۰.....	شکل (۴-۴) تغییرات میزان آلاینده‌های خروجی با تغییر در مقدار سوخت ورودی به نیروگاه.....
۶۲.....	شکل (۵-۴) تغییرات میزان گرمای حاصل از احتراق و همچنین گرمای آلاینده‌های خروجی متناسب با تغییر در مقدار سوخت ورودی به نیروگاه.....
۶۵.....	شکل (۶-۴) میزان توان تولیدی نیروگاه با توجه به تغییر در مقدار سوخت مصرفی و رطوبت.....

- شکل (۷-۴) گرمای قابل بازیابی برای استفاده در سیستم تولید هم‌زمان از گازهای داغ حاصل با توجه به تغییر در مقدار سوخت..... ۶۶
- شکل (۸-۴) گرمای بازیابی شده در مبدل حرارتی از محصولات احتراق با دبی ۱۸ کیلوگرم بر ثانیه..... ۶۷
- شکل (۹-۴) مقدار سوخت مصرفی و تغییرات دمای آب گرم خروجی از مبدل حرارتی..... ۶۸
- شکل (۱۰-۴) میزان سوخت مصرفی و تغییرات راندمان مبدل حرارتی به ازای دبی ۱۸ کیلوگرم بر ثانیه..... ۶۹
- شکل (۱۱-۴) تغییرات دمای اواپراتور و تغییر در ضریب عملکرد چیلر..... ۷۰
- شکل (۱۲-۴) نمودار تغییرات ضریب عملکرد چیلر متناسب با تغییرات کیفیت آمونیاک..... ۷۲
- شکل (۱۳-۴) مقایسه اختلاف بین راندمان انرژی و انرژی سیکل تولید توان..... ۷۴
- شکل (۱۴-۴) گرمای دریافتی حاصل از احتراق زباله‌ها در سه بخش تولید توان، سرمایش و گرمایش..... ۷۵
- شکل (۱۵-۴) راندمان تولید هم‌زمان با دبی دود خروجی ۱۸ کیلوگرم بر ثانیه با تغییر در ω و Ω_{fg} ۷۶
- شکل (۱۶-۴) راندمان انرژی سیکل تولید هم‌زمان با دبی دود خروجی ۱۸ کیلوگرم بر ثانیه با تغییر در ω و Ω_{fg} ۷۸
- شکل (۱۷-۴) سود خالص سالانه..... ۸۲
- شکل (۱۸-۴) نرخ بازگشت داخلی و جریان نقدینگی..... ۸۳
- شکل (۱۹-۴) نرخ بهره و هزینه سرمایه‌گذاری..... ۸۴
- شکل (۲۰-۴) جریان نقدینگی و هزینه‌ها و دوره بازگشت سرمایه..... ۸۵

فهرست جداول

صفحه

عنوان

- جدول (۱-۱) مقایسه مقادیر درصد جرمی اجزای زباله شهری تهران و آمریکا (بر اساس ۱۰۰ کیلوگرم زباله شهری)..... ۱۳
- جدول (۱-۳) مقادیر جرمی ترکیبات شیمیایی زباله شهری تهران (بر اساس ۱۰۰ کیلوگرم) [۸]..... ۳۱
- جدول (۱-۴) داده‌های بدست آمده از نیروگاه زباله‌سوز کهریزک واقع در مجتمع آرادکوه ۵۱
- جدول (۲-۴) نتایج مدلسازی انتشار الاینده‌ها از نیروگاه زباله‌سوز کهریزک ۵۸
- جدول (۳-۴) نتایج انتشار الاینده‌ها از مقالات ۵۹
- جدول (۴-۴) ارزش حرارتی بدست آمده از زباله‌های نیروگاه زباله‌سوز و مقایسه آن با نیروگاه کالیفرنیا ۶۲
- جدول (۵-۴) تغییر سوخت ورودی و گرمای حاصل ۶۴
- جدول (۶-۴) مشخصات بخش‌هایی از مبدل حرارتی ۶۷
- جدول (۷-۴) جزئیات مربوط به تغییرات کیفیت آمونیاک با ΔX مختلف در روش مدل‌سازی و مقالات ۷۱
- جدول (۸-۴) مقایسه راندمان سیستم تولید هم‌زمان طرح فعلی با نمونه مشابه ۷۷
- جدول (۹-۴) هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای چیلر جذبی ۸۱
- جدول (۱۰-۴) درصد هزینه‌های سرمایه‌گذاری شده برای مبدل حرارتی ۸۱

<i>Symbols</i>		واحد	علائم اختصاری
<i>M</i>	<i>Mass</i>	Kg	جرم
<i>C</i>	<i>Carbon</i>	mol	کربن
<i>H</i>	<i>Hydrogen</i>	mol	هیدروژن
<i>N</i>	<i>Nitrogen</i>	mol	نیتروژن
<i>S</i>	<i>Sulphor</i>	mol	گوگرد
<i>O</i>	<i>Oxygen</i>	mol	اکسیژن
<i>Ash</i>	<i>Ash</i>	kg	خاکستر
<i>CO₂</i>	<i>Carbon dioxide</i>	mol	دی اکسید کربن
<i>H₂O</i>	<i>Steam</i>	mol	بخار آب
<i>SO₂</i>	<i>Sulfur dioxide</i>	mol	دی اکسید گوگرد
<i>HHV</i>		$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	ارزش حرارتی بالا
<i>LHV</i>		$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	ارزش حرارتی پایین
<i>Q</i>	<i>heat</i>	kJ	گرما
<i>h_R</i>	<i>enthalpy reaction</i>	kJ	آنتالپی واکنش دهنده‌ها

h_p	<i>enthalpy product</i>	kJ	انتالپی محصولات
N_i	<i>mol number</i>	mol	تعداد مول
\bar{h}_f^0	<i>enthalpy fusion</i>	$\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$	آنتالپی تشکیل
$\Delta\bar{h}$	<i>difference enthalpy</i>	$\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$	اختلاف آنتالپی
N_F	<i>mol fuel</i>	mol	مول سوخت
α_{dry}	<i>Emittance of water</i>	–	نسبت انرژی شیمیایی به ارزش حرارتی سوخت
NCV	<i>net calorific value</i>	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	ارزش حرارتی خالص
$W(h)_{fg}$	<i>humidity ratio</i>	–	نسبت رطوبت
ex_{ch}	<i>exergy chemical fuel</i>	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	انرژی شیمیایی سوخت
ΔT	<i>difference temprature</i>	°C	اختلاف دما
T_h	<i>heatexchanger temprature</i>	°C	دمای مبدل حرارتی
\dot{m}	<i>mas ratio</i>	$\frac{\text{kg}}{\text{s}}$	نسبت جرم
Ω_g	<i>energy level value of biogas</i>	-	مقدار سطح انرژی از بیوگاز
T_{in}	<i>input temperature</i>	°C	دمای ورودی از گاز دودکش

T_{out}	<i>output temperature</i>	°C	دمای خروجی از گاز دودکش
T_c	<i>cold temperature</i>	°C	دمای سیال سرد
T_g	<i>combustion temperature</i>	°C	دمای محفظه احتراق
Ω_c	<i>energy level value of cooling</i>	-	مقدار سطح انرژی از سرمایش
Ω_h	<i>energy level value of heating</i>	-	مقدار سطح انرژی از گرمایش
Ω_{fg}	<i>energy level value of flue gas</i>	-	مقدار سطح انرژی از گاز دودکش
ω	<i>temperature ratio</i>	-	نسبت دما
EX_c	<i>exergy l of cooling</i>	$\frac{kJ}{kg}$	اگرژی سرمایش
EX_h	<i>energy of heating</i>	$\frac{kJ}{kg}$	اگرژی گرمایش
cp	<i>heat capacity</i>	$\frac{kJ}{kg \cdot K}$	ظرفیت گرمایی ویژه
Q_h	<i>heatexchanger heat</i>	kJ	گرمای مبدل حرارتی
Q_f	<i>heat recive</i>	kJ	گرمای گازهای خروجی
FP	<i>difference quality</i>	-	اختلاف کیفیت
H_x	<i>enthalpy special</i>	$\frac{kJ}{kg}$	انتالپی مخصوص
R	<i>difference quality rectifier and desorber</i>	-	کیفیت
Q_{des}	<i>desorber capacity</i>	kJ	گرمای ژنراتور
Q_{abs}	<i>absorber capacity</i>	kJ	گرمای جاذب
Q_{cond}	<i>condenser capacity</i>	kJ	گرمای کندانسور

Q_{evap}	evaporators capacity	kJ	گرمای اواپراتور
P_H	pressure height	kPa	فشار بالا
P_{low}	pressure low	kPa	فشار پایین
V	volume	m^3	حجم
COP	coefficient	—	ضریب عملکرد
ATC	annual total cost	$\frac{\$}{year}$	بیشترین هزینه سالانه
C_I	annual investment cost	\$	هزینه سرمایه‌گذاری
C_M	maintenance cost	\$	هزینه نگهداری
C_E	electricity cost	\$	هزینه برق
AS	total annual saving	$\frac{\$}{year}$	جریان نقدینگی
I	interest rate	—	نسبت کشش
L	service lifetime	Year	طول عمر سرویس
N_k و C_{ik}	nominal capacity and unit investment cost of the equipment, respectively	—	ظرفیت اسمی و هزینه سرمایه‌گذاری و فراهم سازی واحد تجهیزات
$C_{m,k}$ و $P_{k,i}$	hourly operating power and the unit maintenance cost of the equipment	\$	نیروی کار ساعتی و هزینه نگهداری تجهیزات واحد
$E_{grid,i}$	electricity grid	kW	برق شبکه
C_{grid} و C_{gas}	hourly charge of natural gas and the electricity purchased from the grid	$\frac{\$}{Nm^3}$	شارژ ساعتی از گاز طبیعی و برق خریداری شده
$F_{PGU,i}$	fuel consumption power generation unit	$\frac{kw}{Nm^3}$	توان تولیدی از سوخت مصرفی

$F_{gb,i}$	<i>fuel consumption gas boiler</i>	$\frac{kw}{Nm^3}$	مصرف سوخت و گاز بویلر
NGP	<i>natural gas price</i>	$\frac{\$}{Nm^3}$	قیمت گاز طبیعی
$NGBC$	<i>annual natural gas burning capacity</i>	$\frac{Nm^3}{y}$	ظرفیت سوزاندن گاز طبیعی سالانه
RC	<i>running cost</i>	$\$$	هزینه‌های جاری
HP	<i>heat price</i>	$\frac{\$}{mwh}$	قیمت گرمایش
Q_H	<i>heating capacity</i>	kW	ظرفیت گرمایشی
CP	<i>cold price</i>	$\$$	قیمت سرمایش
Q_{hw}	<i>domestic hot water heating capacity</i>	kW	ظرفیت گرمایی آب گرم
Q_c	<i>refrigerating output</i>	$\frac{\$}{mwh}$	سرمایش خروجی
HWP	<i>domestic hotwater price coefficient</i>	$\frac{\$}{ton}$	قیمت آب گرم خانگی
NPV	<i>net present value</i>	$\frac{w}{mK}$	ارزش حال خالص
PP	<i>payback period</i>	year	دوره بازگشت سرمایه

فصل اول

معرفی سیستم‌های تولید هم‌زمان برق، حرارت و
سرما و نیروگاه زباله‌سوز

۱-۱- مقدمه

در جوامع امروزی منابع انرژی سنتی، سوخت‌های فسیلی و نیروگاه هسته‌ای عملاً بر سیستم عرضه‌ی انرژی در جهان تسلط دارند، افزایش وابستگی جامعه صنعتی به منابع انرژی فسیلی، به‌کارگیری و مصرف بیش از حد آن‌ها، دیر یا زود منابع عظیمی که طی زمان طولانی در لایه‌های زیرین زمین ایجاد شده است را به پایان می‌رساند. موارد دیگر مانند تنوع‌بخشی به منابع انرژی، توسعه‌ی پایدار و ایجاد امنیت انرژی، مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی‌های فسیلی و ریزش باران‌های اسیدی از یک‌طرف، پاک و در دسترس بودن منابع انرژی‌های جدید نظیر امواج، زیست‌توده خورشید، باد و... از طرف دیگر، باعث توجه جهانیان به توسعه و افزایش استفاده انرژی‌های تجدیدپذیر و زیاد شدن سهم این منابع در سبد انرژی جهانی شده است [۱].

با توجه به مسائل و مشکلات آینده نسل فعلی وظیفه دارد آن دسته از منابع انرژی که دارای عمر و پتانسیل زیادی بوده و اساساً تجدیدپذیر هستند، روی آورده و علم و دانش خود را برای بهره‌برداری از آن گسترش دهد، از این‌رو امروزه شاهد افزایش چشمگیر فعالیت دولت‌ها و شرکت‌ها در امر تحقیق، توسعه و عرضه‌ی تکنولوژی‌هایی با انرژی تجدیدپذیر بوده و این فعالیت‌ها صرف بودجه‌های مذکور می‌شود، درنهایت باعث کاهش قیمت تمام شده‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر و رقابت‌پذیری با سیستم‌های قدیمی موجود می‌گردد. از جمله معضلات اجتماعی که اکثر کشورها با آن مواجه می‌شوند، افزایش روزافزون زباله‌های شهری جامد و همچنین مشکلات دفع آن و تولید پساب و لجن از زباله‌ها و مسائل زیست‌محیطی می‌باشد، که با استفاده از روش زباله‌سوزی اقدامات لازم جهت کاهش زباله‌ها به عمل می‌آید. روش‌هایی مانند احداث نیروگاه‌های زباله‌سوز علاوه بر کاهش حجم زباله‌ها، فرایند مثبت تولید برق را به‌همراه دارد. نخستین بار در سال ۱۸۷۰ کشور انگلستان مبادرت به ساختن اولین کارخانه زباله‌سوز نمود، پس از آن کشورهای دیگر از انرژی حاصل از سوزاندن زباله در موارد مختلف استفاده نموده‌اند [۲].

نیروگاه‌های زباله‌سوز در کنار سیستم‌های تولید هم‌زمان می‌توانند بازده مصرف انرژی را تا حد زیادی افزایش دهند. سیستم‌های تولید پراکنده هم‌زمان که به تولید انرژی الکتریکی در مقیاس‌های کوچک و در نزدیک محل مصرف می‌پردازند علاوه بر اینکه موجب کاهش اتلافات ناشی از توزیع و انتقال برق در شبکه می‌شوند، موجب کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌گردند. مهم‌ترین راهکارهای بهینه‌سازی انرژی انجام‌شده در کشورهای توسعه‌یافته با هدف افزایش بازده تولید ۷۵ تا ۹۰ درصد انرژی می‌باشند، استفاده بهینه از منابع سوخت توسط سیستم‌هایی از جمله تولید هم‌زمان برق، حرارت و سرما، صورت گرفته است. بنابراین با صرفه‌جویی‌های حاصل از به‌کارگیری این سیستم‌ها با توجه به مصرف بالای انرژی‌های فسیلی در کشور منجر به بازگشت سرمایه‌ی کوتاه مدت می‌گردد.

۱-۲- سیستم‌های تولید هم‌زمان گرما و حرارت

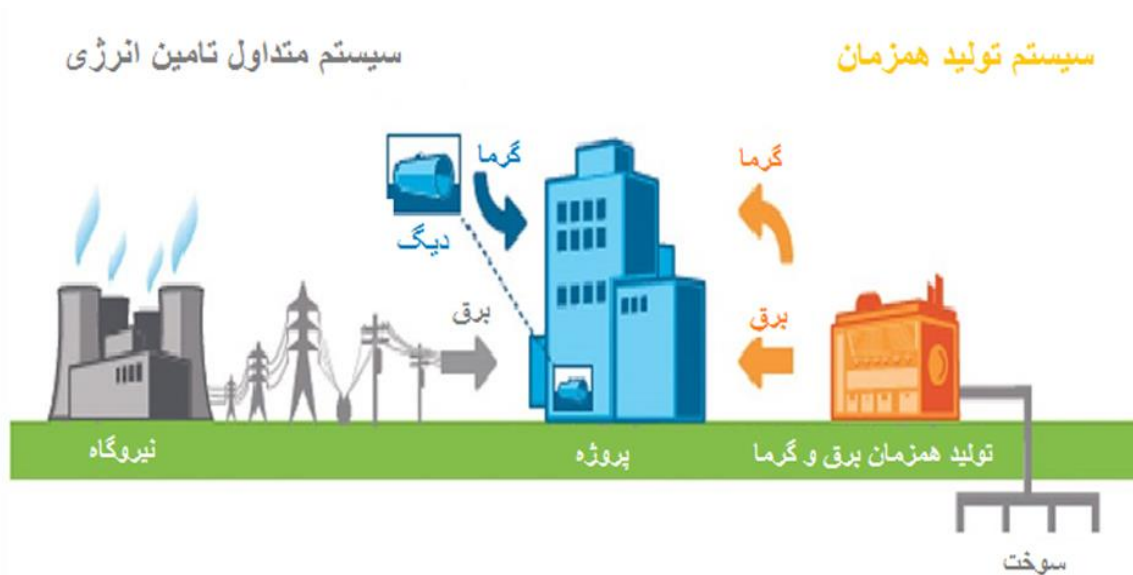
سیستم‌های تولید هم‌زمان گرما و برق یا به عبارتی دیگر CHP^۲ یکی از مهم‌ترین کاربردهای تولید پراکنده است، که عبارت است از تولید هم‌زمان و توأم ترمودینامیکی چندین شکل انرژی از یک منبع ساده اولیه که می‌تواند در غالب یک نیروگاه و یا یک تاسیس ظاهر شود [۳].

در تولید کننده‌های قدرت امروزی، از سوزاندن سوخت‌های فسیلی و گرمای حاصله برای تولید قدرت محوری و دورانی و سپس تبدیل آن به انرژی الکتریسیته استفاده می‌شود. نیروگاه‌های حرارتی سهم عمده‌ای در تأمین نیاز الکتریسیته جوامع مختلف دارند، به‌طور متوسط تنها یک‌سوم از انرژی سوخت وارد شده، به انرژی مفید الکتریسیته تبدیل می‌شود، به عبارت دیگر بازده این نیروگاه‌ها حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد است. در این نوع نیروگاه، مقدار زیادی انرژی حرارتی از روش‌های مختلف نظیر کندانسور، دیگ بخار، برج خنک‌کن، پمپ‌ها و سیستم لوله‌کشی موجود در تأسیسات، تلف می‌شود. از این گذشته، در شبکه‌های انتقال برق نیز

² Combined Heat and Power

حدود ۱۵ درصد از انرژی الکتریسیته تولیدی، هدر می‌رود. اگر تولید برق در محل مصرف صورت گیرد، این مقدار اتلاف عملاً وجود نخواهد داشت.

شکل (۱-۱) متداول‌ترین نوع سیستم‌ها، نیروگاه‌های تولید برق هستند، استفاده هرچه بیشتر از گرمای آزاد شده در حین فرایند سوختن سوخت، باعث افزایش بازده انرژی و کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش هزینه‌های مربوط به تأمین انرژی اولیه می‌شود، از گرمای اتلافی بازیافتی از این سیستم‌ها، می‌توان برای مصارف گرمایشی، سرمایشی و بسیاری از فرایندهای صنعتی استفاده کرد.



شکل ۱-۱: چگونگی تولید گرما و برق و بکارگیری حرارت اتلافی آن در گرمایش ساختمان [۳].

۱-۳- کاربرد تولید مشترک الکتریسیته و حرارت

واحدهایی که بطور هم‌زمان به حرارت و توان الکتریسیته نیاز دارند، توانایی ایجاد تولید مشترک وجود دارد، البته در صورتی که سیستم مصرف انرژی خصوصیات و ویژگی‌های زیر را دارا باشد، همچنین صرفه جوئی قابل توجهی در هزینه انرژی بدست آمده و سیستم تولید مشترک جذاب تر و مقرون به صرفه‌تر خواهد بود.

- نیاز حتمی به توان الکتریکی.
- فراوانی موارد استفاده انرژی حرارتی نسبت به انرژی الکتریکی.
- نمونه‌های بار پایدار و ثابت انرژی حرارتی و الکتریکی.
- افزایش در ساعات بهره برداری فرآیند.
- هزینه و قیمت بالای برق شبکه یا عدم دسترسی به شبکه.

انرژی حرارتی مورد نیاز به منظور خشک کردن، پیشگرم نمودن، تولید فرآیند بخار، محرکه تجهیزات بازیافت حرارت و تولید آب سرد، آب گرم، سیال داغ و... مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱-۴- سیستم‌های تولید هم‌زمان برق، حرارت و سرما

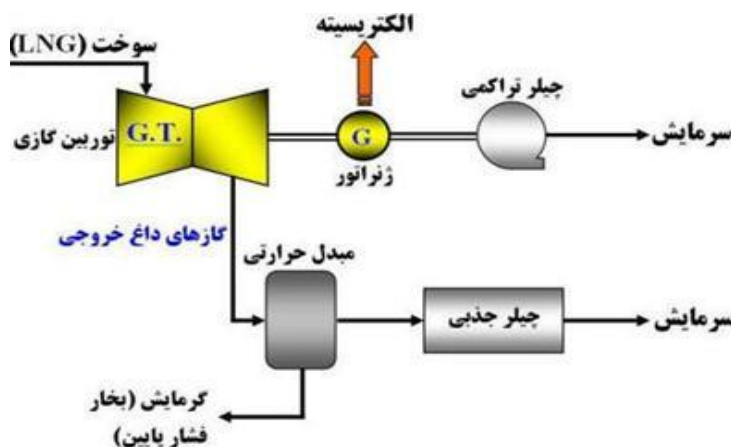
واحدهای تولید هم‌زمان برق، حرارت و سرما^۳ برای اولین بار در سال ۱۸۸۲ میلادی در اروپا و در اوایل قرن بیستم در آمریکا به عنوان ایده‌ای نو در صنعت انرژی مورد استفاده قرار گرفتند. پس از آن سیستم‌های تولید هم‌زمان توان، گرما و سرما به عنوان یک ایده جدید مطرح گردیدند. این فناوری برای نخستین بار در نیروگاه‌های سیکل بخار استفاده شد، به طوری که از بخار تولید شده از سیکل برای مصارف گرمایشی کارخانه و واحدهای اطراف آن بهره گرفته می‌شد [۴].

۱-۴-۱- مفهوم اصلی سیستم‌های تولید هم‌زمان برق، حرارت و سرما

طبق مفهوم تولید هم‌زمان برق، گرما و سرما، توان مورد نیاز در محل مصرف تولید می‌شود و قسمت عمده حرارت دفعی نیز برای تأمین نیازهای گرمایش و سرمایش مصرف‌کننده بازیافت می‌شود. بنابراین راندمان کلی تبدیل نیز به میزان قابل توجهی بهبود می‌یابد. در نیروگاه‌های سنتی، گرمایی که به عنوان

³ Combined Cooling, Heat and Power

محصول جانبی الکتریسیته تولید می‌شود، به محیط دفع می‌شود در سیستم تولید هم‌زمان ، این حرارت جذب شده و برای مصارف گرمایش و یا با استفاده از چیلرهای جذبی برای مصارف سرمایشی مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۱-۲). محل مصرف این انرژی‌ها باید در نزدیکی مکان تولید توان باشد ، زیرا در غیر این صورت برای انتقال انرژی حرارتی به مناطق دورتر نیاز به هزینه‌های بالای عایق‌بندی و نیز تحمل اتلاف بالا و راندمان پایین می‌باشد. سیستم‌های تولید پراکنده با هدف بهینه‌سازی در مصرف انرژی به صورت کاهش اتلافات ناشی از انتقال و توزیع انرژی الکتریکی در شبکه و نیز کاهش آلودگی‌های ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی به کار گرفته می‌شوند.



شکل ۱-۲: استفاده از سیستم (CCHP) جهت تولید سرمایش و گرمایش [۴].

۱-۵- بخش‌های اصلی تشکیل‌دهنده سیستم‌های تولید هم‌زمان

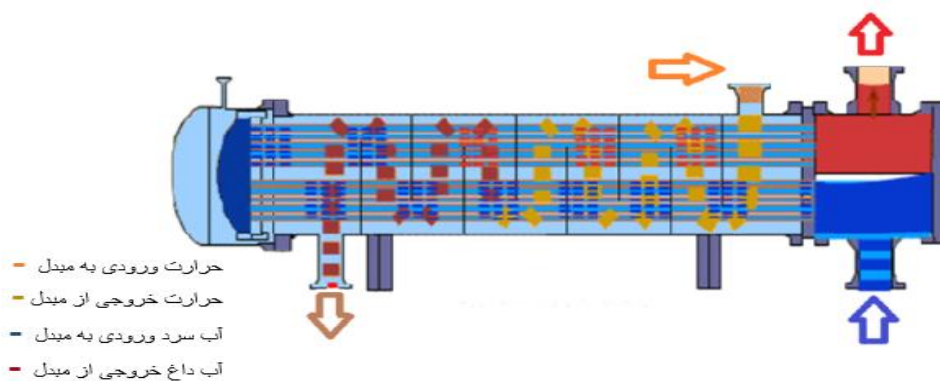
سیستم‌های تولید هم‌زمان دارای بخش‌های مختلفی می‌باشند که این بخش‌ها به ترتیب شامل واحد تولید توان نیروگاه، واحد تولید گرمایش و واحد تولید سرمایش می‌باشد که هر واحد به صورت مجزا توضیح داده می‌شود.

۱-۵-۱- واحد تولید توان

یکی از بخش‌های سیستم تولید هم‌زمان واحد تولید قدرت می‌باشد، بخار یا گازهای احتراق با برخورد به پره‌های توربین سبب گردش توربین و ژنراتور گردیده تا توان مورد نیاز در نیروگاه ایجاد گردد. واحد تولید توان دارای تجهیزاتی مانند توربین^۴، ژنراتور^۵ و ... می‌باشد.

۱-۵-۲- واحد تولید گرمایش

فرآیند تبادل گرما بین دو سیال با دماهای متفاوت که توسط دیواره جامدی از جنس فولاد، مس و ... از هم جدا شده‌اند، در بسیاری از کاربردهای مهندسی روی می‌دهد. وسیله‌ای که برای این تبادل حرارتی به کار می‌رود، مبدل گرمایی می‌گویند. شکل (۱-۳) موارد استفاده از این تجهیز در سیستم‌های گرمایش ساختمان‌ها، تهویه مطبوع، تولید قدرت، بازیابی گرمای هدررفته، و فرآوری شیمیایی است. در فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی نیاز به گرم کردن و یا سرد کردن سیالات مورد نیاز می‌باشد. برای تبادل گرمای دو سیال بدون آنکه باهم ترکیب شوند، نیاز به سطح انتقال حرارت می‌باشد [۵].



شکل ۱-۳: مبدل حرارتی برای استفاده از اتلافات حرارتی در نیروگاه‌ها [۵].

⁴ Turbine

⁵ Generator

۱-۵-۳- واحد تولید سرمایش

از جمله سیستم‌ها و تجهیزاتی هستند که براساس تبخیر سیال کار کرده و موجب سرد شدن فضایی که در آن تبخیر انجام گرفته می‌شود. رایج‌ترین سیستم‌های ایجاد سرمایش، استفاده از چیلرهای جذبی می‌باشد. این سیستم‌ها انرژی خود می‌توانند از شعله مستقیم و بخار آب و یا گازهای خروجی از دودکش تامین نمایند.

برای ایجاد سرمایش، در چیلرهای جذبی سیال درون چیلرها می‌بایست، توسط یک محرک اولیه مانند، شعله مستقیم یا گازهای خروجی تغییر کیفیت و فشار داده که موجب گردش سیال درون چیلر جذبی شده و ایجاد سرمایش می‌نماید. در چیلرهای تراکمی گاز ابتدا توسط کمپرسور متراکم می‌گردد، سپس وارد کندانسور شده و انرژی خود را به آب یا هوای محیط، تخلیه می‌کند و موجب خنک شدن می‌گردد. این مایع با عبور از شیر انبساط یا لوله موئین وارد خنک‌کننده (اوپراتور) می‌شود که در فشار کمتری قرار دارد این کاهش فشار باعث تبخیر مایع گردیده و در نتیجه مایع سردکننده با گرفتن حرارت نهان تبخیر خود از محیط خنک‌کننده، باعث ایجاد برودت در موادی که با قسمت خنک‌کننده در ارتباط هستند می‌گردد سپس گاز ناشی از تبخیر، به کمپرسور منتقل می‌شود.

در چیلرهای جذبی برخلاف چیلرهای تراکمی از جذب‌کننده (ابزوربر)^۶ و مولد حرارتی به‌جای کمپرسور استفاده می‌گردد. عمومی‌ترین جاذب در چیلرهای جذبی سیستم برمید لیتیم (لیتیوم برماید)^۷ است در این سیستم، در قسمت جذب‌کننده، بخار آب توسط لیتیوم برماید غلیظ جذب‌شده و در قسمت مولد حرارتی، آب بر اثر حرارت تبدیل به بخار می‌شود. بخار آب در کندانسور که دارای فشار ۰/۱ اتمسفر است به حالت مایع درمی‌آید، و سپس در خنک‌کننده که تحت فشار ۰/۰۱ اتمسفر دوباره به بخار تبدیل می‌گردد و آب

^۶ Absorber

^۷ Lithium bromide

برای اینکه تبخیر گردد گرمای نهان خود را از محیط خنک کننده می گیرد و باعث ایجاد برودت می گردد، سپس بخار آب به جذب کننده منتقل می گردد و دوباره این چرخه تکرار می شود [۶].

۱-۶- نیروگاهها

مجموعه‌ای از تأسیسات صنعتی که برای تولید انرژی الکتریکی استفاده می شود. وظیفه اصلی یک نیروگاه انرژی، تبدیل انرژی از دیگر شکل‌های آن مانند انرژی شیمیایی، انرژی هسته‌ای، انرژی پتانسیل گرانشی و... به انرژی الکتریکی است. وظیفه اصلی نیروگاهها بر عهده تولید کننده قدرت است که ماشینی دوار برای تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی می باشد. توان موردنیاز برای چرخاندن یک مولد برق از راه‌های مختلفی تأمین می شود و معمولاً به میزان دسترسی منابع مختلف انرژی در آن منطقه و دانش فنی گروه سازنده بستگی دارد.

۱-۶-۱- انواع نیروگاهها

یکی از مهم ترین بخش نیروگاه واحد تولید قدرت نیروگاه است که وظیفه تولید مناسب انرژی الکتریکی بر عهده دارد. نیروگاهها بر اساس محرک اولیه خود دسته بندی یا نام گذاری می شوند.

برخی از نیروگاهها به شرح زیر می باشد:

۱- نیروگاه حرارتی

۲- نیروگاه آبی

۳- نیروگاه بادی

۴- نیروگاه خورشیدی

نیروگاه حرارتی نیز خود به چند دسته تقسیم می شود:

۱-۱- نیروگاه بخار (مانند نیروگاه زباله سوز و...)

۲-۱- نیروگاه گازی

۳-۱- نیروگاه سیکل ترکیبی

۴-۱- نیروگاه هسته‌ای

نیروگاه (آبی _ بادی _ خورشیدی) منابع انرژی تجدیدپذیر می‌باشد.

۷-۱- انرژی از زباله‌ها

انرژی از زباله‌ها با روش‌های مختلفی از جمله پرولیز و گازی‌سازی و همچنین سوزاندن زباله‌ها در کوره‌های زباله‌سوز صورت می‌گیرد که به این روش‌ها زباله‌سوزی یا اینسنریشن^۸ گفته می‌شود. با سوزاندن زباله انرژی گرمایی آزاد می‌شود که معمولاً در نیروگاه‌های زباله‌سوز تبدیل به برق می‌شود و مورد استفاده قرار می‌گیرد [۷]. سوخت اصلی برای تولید انرژی به این روش، معمولاً زباله‌های جامد با رطوبت پایین است
شکل (۴-۱).



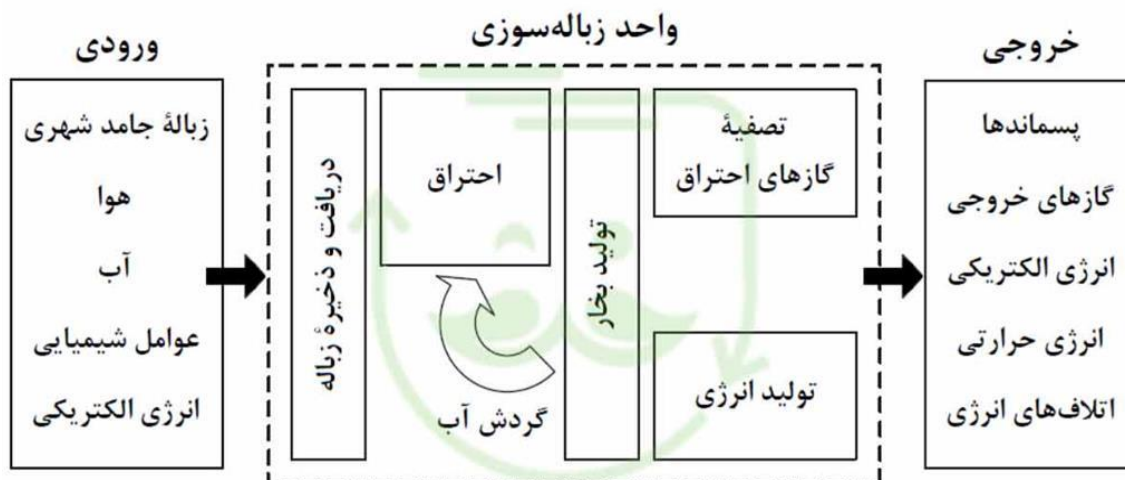
شکل ۴-۱: تصویری از تفکیک و سپس انتقال زباله‌ها به کوره‌های زباله [۷].

⁸ Incineration

فواید اصلی این روش، کاهش قابل ملاحظه حجم زباله‌ها، و تولید سریع‌تر و بیشتر انرژی است. از دیگر مزایای آن امکان حذف مواد سمی و گندزدایی و غیرفعال ساختن زباله‌های بیماری‌زا (بیمارستانی) است. مسئله آلودگی هوا از جمله مشکلات عمده در این روش به شمار می‌رود. در صورتی که از تجهیزات کنترل آلودگی هوا به صورت کامل استفاده شود، هزینه‌های طرح افزایش قابل توجهی خواهد داشت. همچنین راه‌اندازی نیروگاه‌های زباله‌سوز نیاز به سرمایه‌گذاری هنگفتی دارد.

۱-۷-۱- نیروگاه‌های زباله‌سوز

سوزاندن زباله‌ها در کوره‌های زباله‌سوز معمولاً با هدف تولید برق از زباله در نیروگاه‌های زباله‌سوز صورت می‌گیرد. در این نیروگاه‌ها زباله‌ها پس از جمع‌آوری و تفکیک در کوره‌های زباله‌سوز، سوزانده می‌شوند. در این فرایند، گرمای تولیدشده از سوزاندن زباله‌ها برای به جوش آوردن آب و تولید بخار استفاده می‌شود. شکل (۱-۵) بخار تولید شده برای به حرکت درآوردن توربین‌های بخار استفاده می‌شود که این توربین‌ها الکتریسیته تولید می‌کنند و پس از تولید وارد سیستم شهری می‌شود. در تصویر زیر نمایی از مراحل تولید انرژی از زباله به روش زباله‌سوزی قابل مشاهده است.

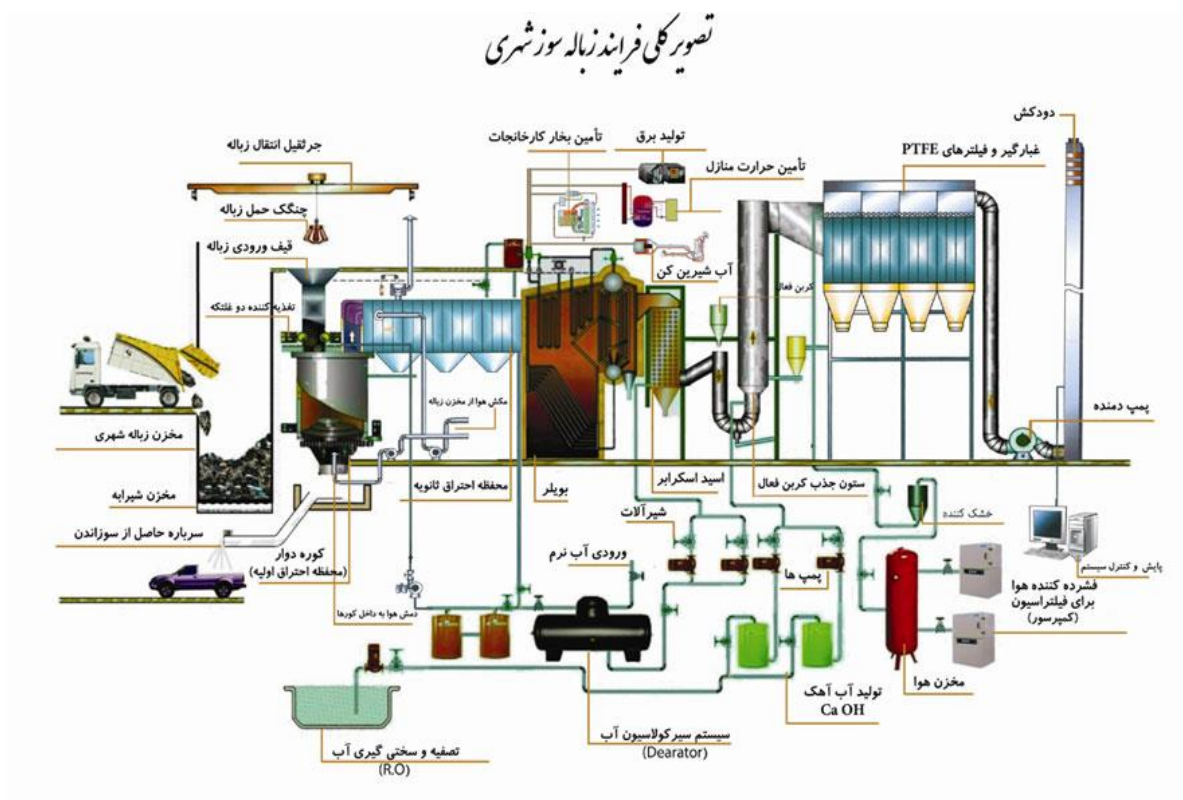


شکل ۱-۵: فرآیند تولید برق در نیروگاه زباله‌سوز [۷].

۱-۷-۱-۱ فرآیند و تکنولوژی زباله‌سوز

اکثر نیروگاه‌های زباله‌سوز دارای قسمت‌هایی از جمله مخزن جمع‌آوری زباله ، کوره‌های زباله‌سوز ، بویلر مخصوص ، سیستم تصفیه آلاینده‌ها ، توربین ، ژنراتور ، سیستم تولید آب نرم و بدون املاح و سیستم‌های دیگری هستند. نیروگاه‌هایی که از ضایعات و زباله‌های خانگی به‌جای سوخت فسیلی استفاده می‌کنند در نزد آحاد دولت و ملت از برتری خاصی برخوردار هستند و به همین منظور ، دولت‌ها برای شهرداری‌ها و سرمایه‌گذاران ، مشوق‌های خاصی را به‌منظور فعالیت در این حوزه نظر می‌گیرند [۸].

در شکل (۱-۶) می‌توان فرآیند کامل تبدیل زباله به برق را مشاهده نمود.



شکل ۱-۶: تصویری از مراحل تبدیل شدن زباله‌ها به انرژی الکتریسیته [۸].

۲-۷-۱-۱ ترکیب انرژی حرارتی زباله

زباله‌ها را می‌توان به سه گروه زباله‌های شهری، صنعتی و خطرناک تقسیم نمود، زباله‌های شهری را پسماند مواد غذایی، کاغذ، شیشه، فلز و ضایعات ساختمانی تشکیل می‌دهند. از نقطه نظر ارزش حرارتی می‌توان در ترکیب زباله سه مشخصه درصد مواد قابل احتراق، رطوبت و مواد غیرقابل احتراق را در نظر گرفت. جدول (۱-۱) مقادیر جرمی زباله‌های شهری تهران را با آمریکا در سال (۲۰۱۲) مقایسه کرده است [۹،۱۰]. در این جدول مشخص شده که زباله‌های جامد شهری چه درصدی از ترکیبات مواد را در خود جای داده است. بیشترین مقدار ترکیبات شامل مواد آلی قابل تبدیل می‌باشد و کمترین مقدار شامل چوب و فلزات در زباله‌ها می‌باشد.

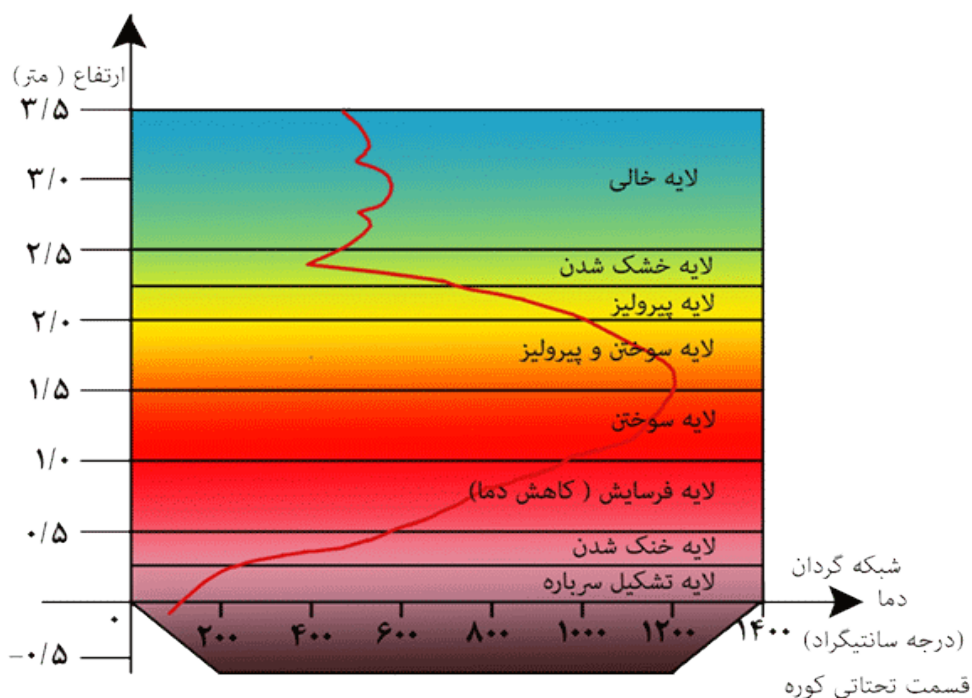
جدول (۱-۱) - مقایسه مقادیر درصد جرمی اجزای زباله شهری تهران و آمریکا (بر اساس ۱۰۰ کیلوگرم زباله شهری)

درصد جرمی		نوع مواد
آمریکا (۲۰۱۲)	تهران	
۱۴-۷۵	۶۰-۷۵	مواد قابل تبدیل آلی
۱۴-۲۷	۸-۱۴	کاغذ و مقوا
۷-۱۲	۴-۷	پلاستیک
۴-۶	۲-۴	شیشه
۷-۸	۲-۴	منسوجات
۳-۶	۱-۳	چوب
۸-۹	۱-۳	فلزات
۹-۱۸	۱-۴	سایر مواد

۳-۷-۱-۱ نوع کوره زباله سوز

از آنجائی که احتراق یک پدیده لحظه‌ای نیست فضای کافی در کوره بایستی اجازه اقامت لازم جهت احتراق کامل را به سوخت و گازهای قابل سوختن بدهد، (شکل ۱-۷) این فاکتور تابعی از دمای کوره و درجه

توربولانس می‌باشد. فاکتور توربولانس بیانگر رابطه فیزیکی سوخت و هوا در کوره می‌باشد. نوع کوره برای زباله‌سوز غالباً با توجه به نوع شبکه بارگذاری آن انتخاب می‌شود، به عبارت دیگر در صورت استفاده از شبکه بارگذاری متحرک آزادی بیشتری در آرایش کوره وجود دارد. کوره‌های زباله‌سوز چند محفظه‌ای غالباً به دو نوع عمده خطی و دیگری تقسیم می‌گردند [۱۱].



شکل ۱-۷: تصویری از مراحل پیرو لیز و احتراق زباله‌ها در کوره‌ی زباله‌سوز [۱۱].

کنترل دمای کوره توسط کنترل هوای اضافی و یا انتقال حرارت مستقیم به وسیله افزودن مواد جاذب حرارت درون کوره صورت می‌گیرد ۷۰٪ از هوای وارد شده به سیستم بایستی محفظه اولیه به‌عنوان هوای روی شعله ۱۰٪ به‌عنوان هوای زیر شعله و ۲۰٪ برای محفظه اختلاط یا ثانویه مصرف گردد.

۱-۷-۴ کنترل آلودگی و حذف ذرات

در طراحی یک نیروگاه زباله‌سوز شرایط مناسب جهت تخلیه محصولات احتراق به اتمسفر بایستی در نظر گرفته شود، گازهای حاصل از احتراق شامل مقادیری ذرات معلق می‌باشد که به منظور آلودگی بخش اعظم آن توسط فیلترها حذف می‌گردد. کنترل آلودگی در کوره زباله‌سوز تابعی از ترکیب زباله، نرخ و شیوه بارگذاری، همچنین نوع کوره و درصد هوای اضافی می‌باشد. در طراحی کوره زباله‌سوز باید به پارامترهای زیست‌محیطی مانند، انتشار CO_x و NO_x در تخلیه به محیط و همچنین ذرات، کلیریدها و سولفور اکسیدها جهت کنترل آلودگی مدنظر داشت [۱۱].

۱-۷-۵ بازیابی حرارت به صورت بخار

در مولدهای بخار بازیاب برای افزایش توان بازیابی انرژی، از دو یا چند سطح فشار و سیکل آب و بخار استفاده می‌گردد و معمولاً نیازی به مصرف سوخت اضافی و احتراق کمکی نمی‌باشد. هرچند در عمل می‌توان از سیستم احتراق کمکی استفاده کرد، بدین منظور مشعل‌هایی در کانال دود نصب نمود. هرچند با افزایش ارزش حرارتی زباله از طریق خشک کردن اولیه یا جداسازی پسماند غذایی از سایر اجزای زباله که منجر به کاهش رطوبت می‌گردد می‌توان میزان تولید بخار را افزایش داد. کاهش میزان درصد رطوبت به مقادیر کمتر از ۲۵٪ سبب افزایش تولید بخار به نسبت ۱/۸ برابر می‌گردد. همچنین جهت دستیابی به نسبت‌های بالاتر بخار می‌توان از سیستم احتراق کمکی استفاده کرد، معمولاً تفاضل دمای بین گاز و بخار در حدود ۱۵ درجه فارنهایت اختیار می‌شود و بویلر بازیافت جهت تولید بخار با فشار حدود ۱۰ بار طراحی می‌گردد.

تولید هم‌زمان برق، حرارت و سرما می‌تواند بر اساس استفاده از توربین‌های گاز، توربین‌های بخار یا موتورهای احتراق داخلی تشکیل شود که منبع تولید انرژی اولیه نیز دامنه وسیعی دارد، و می‌تواند شامل

سوخت‌های فسیلی، زیست‌توده، زمین‌گرمایی یا انرژی خورشیدی باشد، که در آن حرارت به‌صورت متمرکز تولید و به تعدادی مشتری فروخته می‌شود. این کار با استفاده از یک شبکه توزیع که از آب داغ یا بخار به‌عنوان حامل انرژی حرارتی بهره می‌برد، انجام می‌پذیرد.

خصوصیات سیستم تولید هم‌زمان برق، سرما و حرارت را می‌توان در سه گروه اصلی زیر بررسی کرد:

۱- افزایش راندمان و کارایی انرژی

در واحدهای تولید هم‌زمان برق، سرما و حرارت، تلفات به حداقل می‌رسد. راندمان کلی این واحدها بین ۸۰ تا ۹۰ درصد خواهد بود، این در حالی است که در یک نیروگاه موتور احتراقی گازی، بازده نیروگاه بین ۳۰ تا ۴۰ درصد و در نیروگاه متداول توربین گازی، بازده نیروگاه بین ۲۰ تا ۳۰ درصد برآورد می‌شود.

۲- تأمین حرارت مطمئن و انعطاف‌پذیری

با توجه به این‌که واحدهای تولید هم‌زمان برق، سرما و گرما از حرارت تولیدی نیروگاه‌ها استفاده می‌کنند، تولید انرژی حرارتی در آن‌ها بدون وقفه انجام می‌شود. هم‌چنین میزان تولید برق، سرما و حرارت با توجه به تقاضای آن‌ها قابل تغییر است.

۳- محیط‌زیست

راندمان بالای واحدهای تولید هم‌زمان CHP و CCHP باعث مطرح‌شدن این واحدها به‌عنوان راه‌حلی مناسب برای تبدیل انرژی شده است، بازدهی بالای این واحدها موجب شده تا تولید دی‌اکسید کربن و سایر آلاینده‌ها نظیر ترکیبات گوگردی و اکسیدهای نیتروژن کاهش یابد. از جهتی در کشورهایی که قوانین سخت‌گیرانه‌ی زیست‌محیطی در آن‌ها اعمال می‌شود با کم کردن تعداد واحدهای تبدیل سوخت به حرارت مفید، کنترل واحدهای تولید آلاینده راحت‌تر انجام خواهد پذیرفت.

در این پژوهش قصد بر این است که پس از بررسی و تحلیل عوامل زیست‌محیطی از نیروگاه به بازیابی از حرارت اتلافی در سیستم تولید هم‌زمان پرداخته و تحلیل اقتصادی نیز صورت پذیرد. در این تحقیق فصل

دوم مربوط به کارهای قبلی صورت گرفته در زمینه‌های نیروگاه‌های زباله‌سوز و همچنین سیستم‌های تولید هم‌زمان (دوگانه و سه‌گانه)، و آلاینده‌های خروجی از نیروگاه می‌باشد که در آخر نیز به نوآوری و روش کار پرداخته می‌شود. در فصل سوم معادلات مورد استفاده در طراحی یک سیستم تولید هم‌زمان برای نیروگاه زباله‌سوز و همچنین معادلات حاکم بر تحلیل زیست‌محیطی و تحلیل اقتصادی از نیروگاه ارائه می‌گردد. سپس یک نقشه عملیاتی از نیروگاه ترسیم شده و شرح کار نیروگاه توضیح داده می‌شود.

در فصل چهارم نیز به نتایج حاصل از تحقیق با استفاده از نمودارها و جداول ترسیم شده به تشریح و کارکرد و بقیه پارامترهای زیست‌محیطی و همچنین ارائه نتایج حاصل از تبدیل نیروگاه زباله‌سوز به سیستم تولید هم‌زمان برای برطرف سازی نیاز سرمایه‌ش و گرمایش پرداخته می‌شود. در فصل پنجم نیز یک جمع‌بندی کلی از نتایج حاصل شده از تبدیل نیروگاه زباله‌سوز به یک سایت تولید هم‌زمان و همچنین پیشنهادهایی که می‌تواند برای بهبود یافتن سایت مورد استفاده قرار گیرد. در ادامه به نقاط ضعف سیستم و فرصت‌های که دانش‌پژوهان با مطالعه و تحقیق روی آن می‌توانند علاوه بر حل برخی از مشکلات یک تولید سرمایه نیز داشته باشند.

فصل دوم

پیشینه، ضرورت و روش انجام تحقیق

۲-۱- مقدمه

ضرورت توجه به افزایش زباله‌ها در کشورها روزبه‌روز اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. از این‌رو با مشکلات افزایش زباله‌ها با روش‌هایی از جمله ۱- تلنبار کردن ۲- دفن کردن ۳- تهیه کود (روش بی‌هوازی یا فرآیند تخمیر داغ و کودسازی به روش مکانیکی) ۴- چاله‌های کود ۵- دفن بهداشتی زباله (روش خندق، روش سطح شیب‌دار و روش تسطیح زمین) ۶- سوزاندن زباله مقابله می‌کنند [۱۲]. اما کشورها درصدد روش‌هایی نوین برای حل معضل افزایش زباله‌ها می‌باشند. از این‌رو می‌توان احداث نیروگاه‌های زباله‌سوز اشاره نمود، از اهمیتی که این نیروگاه‌ها دارد علاوه بر کنترل زباله‌ها به تولید برق نیز می‌توان اشاره نمود. نیروگاه‌های زباله‌سوز را می‌توان گامی برای پیشرفت فناوری به سمت تولید برق دانست.

نیروگاه زباله‌سوز در ایران برای اولین بار در سال ۱۳۹۱ در استان تهران، کهریزک، آرادکوه احداث گردید و در سال ۱۳۹۳ به بهره‌برداری رسید. این نیروگاه از نوع بازیابی حرارت می‌باشد که ظرفیت شبانه‌روزی معادل با ۲۰۰ تن را دارا می‌باشد. این نیروگاه را می‌توان گامی مؤثر در جهت مقابله با افزایش زباله دانست، این نیروگاه بیش از ۲۰ نوع آلاینده را وارد محیط‌زیست می‌کند که بررسی‌هایی در مورد نوع آلاینده‌ها انجام شده است از جمله تحقیقات دیگری که در این مورد انجام شده بررسی بر روی گازهای خروجی از نیروگاه جهت تبدیل شدن به یک نیروگاه CCHP می‌باشد.

همچنین در زمینه‌های سیستم‌های تولید هم‌زمان برق، حرارت و سرما کارهای زیادی صورت گرفته است از جمله آن‌ها می‌توان نیروگاه‌های سیکل ترکیبی همچنین در موتورهای احتراق داخلی نیز کاربردهای سیستم‌های تولید هم‌زمان را مشاهده نمود با داشتن اطلاعات در مورد سیستم‌های تولید هم‌زمان می‌توان گامی در جهت بهینه‌سازی در بخش‌هایی از نیروگاه زباله‌سوز برداشت. در این فصل، ابتدا به بررسی پیشینه‌ی اقدامات انجام شده در زمینه سیستم‌های تولید هم‌زمان همچنین نیروگاه‌های زباله‌سوز و آلاینده‌ها پرداخته می‌شود. سپس پژوهش حاضر و اهداف موردنظر در آن معرفی می‌گردد.

۲-۲- پیشینه تحقیق

همانطور که ذکر گردید، درزمینه نیروگاه‌های زباله‌سوز اقدامات زیادی صورت گرفته از جمله آن نیروگاه های جدید با تکنولوژی‌های نوین در کشورهای مختلف احداث گردید. در چین حدود ۵۰ کارخانه در تبدیل زباله به انرژی وجود دارد. همچنین ژاپن بزرگ‌ترین کاربرد را در زمینه حرارتی در جهان با ظرفیت ۴۰ میلیون تن دارا است، تعدادی از این کارخانه‌ها استفاده از فناوری‌های پیشرفته غنی‌سازی اکسیژن را به کار می‌برند. همچنین بیش از یک‌صد کارخانه که با روش حرارتی و با استفاده از فرایندهای نسبتاً بهتری مانند ذوب مستقیم، روند تبدیل به مایع شدن و روش ترمو که در آن با این روش پس از پیرولیز به گاز تبدیل می‌شود نیز وجود دارد [۱۳].

در منطقه (پاتراس) یونان، یک شرکت یونانی آزمایش غنی‌سازی اکسیژن را به اتمام رساند که در این آزمایش انرژی بالقوه‌ای ایجاد می‌شد. با این روش، آن‌ها ۲۵ کیلووات برق و ۲۵ کیلووات گرما از طریق زباله مایع (آب غیرقابل مصرف) حاصل می‌شد را به‌دست آوردند [۱۴]. در هند مرکز زیستی علم انرژی برای اولین بار توانست وابستگی خود را نسبت به سوخت‌های فسیلی کاهش دهد و در خانه‌ها از سوخت سبز استفاده نماید [۱۵]. همان‌طور که از ژوئن سال ۲۰۱۴، کشور اندونزی در مجموع ۹۳/۵ مگاوات ظرفیت تولید زباله به انرژی دست پیدا کردند و با احداث یک مسیر آماده‌سازی زباله به مقدار ۳۷۳ مگاوات ظرفیت نائل گردیدند [۱۶].

در ایران نیروگاه زباله‌سوز مجتمع آرادکوه، اولین پروژه قابل اجرا در کلان‌شهر تهران با ظرفیت ورودی ۲۰۰ تن زباله، توانایی تولید ۳ مگاوات ساعت برق را دارا می‌باشد. در این سامانه، برق تولیدشده با استفاده از خط انتقال برق ساخته‌شده به شبکه برق سراسری کشور متصل است. برای احداث نیروگاه حدود ۳۳۰۰۰ مترمکعب خاک‌برداری، ۹۰۰۰ مترمکعب بتن‌ریزی، ۲۰۰۰ تن آهن‌آلات و آرماتور و در زمینی به وسعت

تقریبی سه هکتار و ۸۵۰۰ متر بنا جهت احداث این نیروگاه بکار گرفته شده است. این احجام معادل ساخت یک ساختمان مسکونی با متراژ ۱۵۰۰۰ مترمربع خواهد بود.

نیروگاه زباله‌سوز شامل مخزن فولادی نگهداری زباله بوده و ورودی آن زباله‌های موجود در مجتمع پردازش آرادکوه حاصل چند سال تلنبار پردازش و جداسازی پسماند خانگی شهر تهران، ساختمان اداری، ساختمان تجهیزات، تصفیه‌خانه، دودکش و غیره می‌باشد. فرآیند تولید برق بدین صورت خواهد بود که زباله‌ها پس از ورود به پیت ورودی زباله، وارد کوره می‌شود تا در دمای ۸۰۰ الی ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد سوزانده شود سپس این حرارت به بویلرها منتقل و تبدیل به بخار آب گردیده و این بخار به سمت توربین‌ها و ژنراتور جهت تولید برق هدایت می‌گردد. در پایان شایان ذکر است که جهت کنترل آلاینده‌گی نیز از سیستم‌های فیلتر کیسه‌ای یا پارچه‌ای و برج‌های شستشو دهنده استفاده می‌شود.

۲-۲-۱- پژوهش‌ها و مقالات منتشر شده

لوک‌ماکریچ و همکاران [۱۷] تحول سوزاندن زباله به انرژی باهدف اصلی ارزیابی پیشرفت در حل مشکلات، نگرانی‌های گذشته و حال و چشم‌انداز آینده در صنعت را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که سوزاندن زباله به انرژی نقش مهمی در کاهش مشکل جهانی زباله ایفا کرده و با به حداکثر رساندن توان بالقوه خود در حال حاضر می‌تواند بسیار بیشتر شود این تکامل در صنعت زباله به انرژی را قادر می‌سازد تا مشکلات را بهتر درک کنند و راه‌حل‌های عملیاتی را تنظیم کنند که باعث می‌شود زباله به سوزاندن انرژی به‌سوی رشد بیشتر و راه‌حل‌های ماندگار برای آینده دور منتهی شود. ویسینگ و همکاران [۱۸] یک مقایسه و شبیه‌سازی با اندازه‌گیری در یک نیروگاه زباله‌سوز و تأثیر ترکیب ضایعات بر ارزش حرارتی زباله و توزیع اندازه ذرات ضایعات و شعاع شعاعی در بستر زباله را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن بینش پیچیده‌ای از حرکت زباله، تبدیل زباله و احتراق فاز گاز بالای بستر را به دست می‌دهد که نمی‌تواند

با روش‌های دیگر مانند مدل‌های پیوسته برای بستر زباله به دست آید. برنت جانک و همکاران [۱۹] انتشارات آلاینده‌ها از نیروگاه زباله‌سوز را مورد بررسی قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد که از سوزاندن یک میلی‌گرم زباله حدود ۰/۷ تا ۱/۲ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن منتشر می‌شود. روشنی ماری و همکاران [۲۰] یک فرمولی به نام فرمول ظرفیت سوزاندن ارائه نمودند که در آن نظرات ۲۰۰ کارشناس از طریق فرمول‌بندی ارائه شد نتایج آن‌ها نشان داد که افزایش شاخص ظرفیت سوزاندن، باعث بهبود در زباله‌سوزی و تغییر در ترکیبات زباله‌ها نیز بر روی ظرفیت سوزاندن تأثیر می‌گذارد. یانگ‌هو، چنگ و شاتاوا [۲۱] میزان انتشار جیوه از نیروگاه زباله‌سوز را مورد آزمایش قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد که از سال ۲۰۱۶ میزان انتشار جیوه ۶/۱ تن و تا سال ۲۰۲۰ به ۱۰/۶ تن در سال خواهد رسید.

پی‌کانن و همکاران [۲۲] فرایند ساده ضایعات پلی‌اتیلن ضایعات معمولی را در یک راکتور با بسترسیمال با استفاده از نرم‌افزار اسپن^۹ شبیه‌سازی کردند. مدل پیشنهادی شامل فرایندهای فیزیکی و شیمیایی، از جمله خشک‌کردن، پیرولیز، احتراق و گازسیون، با استفاده از ماژول‌های مختلف درونی برای پیش‌بینی ترکیب گاز تولیدشده و دما می‌باشد نتایج به بررسی تجزیه و تحلیل حساسیت، اثرات پارامترهای مختلف فرایند، از جمله نسبت هم‌ارز، ارتفاع تخت و نسبت بخار سوخت، برای رسیدن به یک گاز تولیدی که دارای مقدار زیادی گاز سنتز و انرژی حرارتی قابل توجه است، ارزش مطلوب حدود ۰/۴ تا ۰/۵ ارائه شده است. سیمینی و همکاران [۲۳] به مدل‌سازی یک کارخانه دومنظوره برای تولید انرژی الکتریکی و حرارتی از عملیات حرارتی ضایعات جامد با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی اسپن پرداخته‌اند. نتایج این مدل برای تجزیه و تحلیل و ارزیابی مزایای مورد انتظار در استفاده از سوخت حرارتی^{۱۰} استفاده می‌شود؛ بنابراین توجه بر عملکرد بخش انرژی بازیابی شده است.

^۹ Aspen

^{۱۰} Refuse Derived Fuel

دیگو موریسویو و همکاران [۲۴] پردازش ترموشیمیایی ضایعات جامدات شهری را به عنوان دفع نهایی در شهر برزیل، با تأکید بر گازسیون و فن آوری‌هایی مورد ارزیابی قرار دادند. از نتایج این بررسی می‌توان نتیجه گرفت که گازسیون یک گزینه فنی قابل قبول برای تبدیل ترموشیمیایی ضایعات جامد شهری و تولید برق است، علاوه بر اینکه یک فن آوری است که مطابق با محدودیت‌های انتشار قابل اعمال است. برخی از مزایای اصلی گازسیون زباله‌های جامد شهری عبارت‌اند از: ۱- کاهش شدید در جرم (حدود ۷۰-۸۰٪) و حجم (تقریباً ۸۰-۹۰٪)؛ ۲- کاهش شدید در استفاده از زمین، ۱: ۳۰۰۰؛ ۳- تخریب آلاینده‌های آلی و سایر هیدروکربن‌های هالوژنی. ۴- غلظت و از بین بردن آلاینده‌های معدنی به طوری که آن‌ها می‌تواند به طور مؤثر و با خیال راحت برداشته شود؛ ۵- استفاده از مواد قابل بازیافت، مانند فلزات آهنی، خاکستر آهنی و مواد سرباره؛ ۶- کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با تجزیه بی‌هوازی از ضایعات آلی ۷- تولید برق در نتیجه استفاده از زباله‌ها در جهت تولید انرژی یک راهکار مثبت می‌باشد.

هاوانگ و همکاران [۲۵] به مطالعه و ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای و عوامل انتشار آن در هوا با اندازه‌گیری غلظت‌های گازهای گلخانه‌ای در نمونه‌های گازسوز در دو واحد پرداختند. نتایج نشان داد که انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2 از MSW بسیار بالاتر از CH_4 و N_2O است در حالی که انتشار CH_4 نسبتاً ناچیز است. علاوه بر این، مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای تأسیسات A و B در MSW در این مطالعه برابر با ۱۴/۶۶۹ تن دی‌اکسید کربن بود این تغییرات در انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌تواند به دلیل تفاوت در انواع ضایعات، نوع استفاده از کوره‌های آتش‌زا، درجه حرارت، شرایط عملیاتی، سیستم حذف NO_x و سایر پارامترهای فنی باشد. ناکاکوبو و همکاران [۲۶] به تجزیه و تحلیل توازن انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای برای سیستم‌های دفع و بازیافت لجن فاضلاب و زباله‌های مواد غذایی برای استفاده در نیروگاه‌های زغال سنگ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در یک مورد، تجهیزات کربنیزاسیون کم‌دما به یک واحد تبدیل لجن معرفی می‌شود و لجن آبیگری به سوخت جامد تبدیل می‌شود. در مورد دیگر، لجن آبیگر به میزان ۴۰٪ رطوبت با حرارت

بخار قابل استفاده در یک کارخانه زباله‌های جامد شهری خشک می‌شود؛ لجن خشک پس از احتراق با زباله‌های جامد شهری احیا می‌شود. در مقایسه با موارد پایه، انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان ۲۵ درصد در مورد اول و ۲۶ درصد در مورد دوم کاهش می‌یابد. بنابراین، با یک سیستم ترکیب یونی در یک نیروگاه زباله‌سوز، می‌توان تولید سوخت جامد برای استفاده در نیروگاه‌های زغال سنگ ایجاد کرد.

لامباردی و همکاران [۲۷] بهینه‌سازی فرآیند احتراق و ابعاد کوره دوار (طول، قطر) پرداخته و نتایج به‌منظور کاهش فرایند لرزش و خوردگی در کوره انجام گردید. سان‌نینو [۲۸] ایجاد یک روش جدید باهدف پیدا کردن طرح‌های بهینه واحدهای CHP برای کاربران با درجه حرارت مختلف پرداخته و نتایج بررسی اینکه چه راه‌حلی بتواند بهترین نتایج را درکل ذخیره‌سازی انرژی و دوره بازگشت سرمایه داشته باشد. السنر و همکاران [۲۹] یک روش جدید و نو اورانه برای بازیابی گرما بررسی تجربی و عددی از راه‌اندازی CHP مجهز به گازی زیست‌توده در داخل گاز سنج و نتایج به مطالعه عددی برای شناسایی گرمای اتلافی و بهره‌وری فرایند گازی سازی به میزان ۱/۵ درصد افزایش در نصب CHP توصیف شده است. اعلام کردند. در صورتی که میرل، اشمیت و اسپیندلر [۳۰] یک تنظیم جدید برای کاهش دمای بازگشت در سیستم‌های گرمایش مرکزی ارائه نمودند که نتیجه آن ظرفیت سیستم گرمایش منطقه می‌تواند افزایش یابد و جریان جرم را می‌توان کاهش داد. علاوه بر این، دمای بازده پایین‌تر منجر به کارایی بیشتر سیستم می‌شود. گومری [۳۱] تجزیه و تحلیل انرژی برای هر یک از اجزای سیستم‌های آب، آمونیاک مورد بررسی قرارداد. نتایج آن نشان داد چیلرهای سه‌گانه می‌توانند کارایی بالاتری را نسبت به چیلرهای دوتایی ایجاد کنند. و برای بهینه‌سازی ترموهای اقتصادی سیستم خنک‌کننده جاذب سه‌گانه استفاده شود لوسی فسکو و دامیانو [۳۲] یک چرخه اثر سه‌گانه جذب آمونیاک آب شناخته‌شده را به‌عنوان چرخه کانگورو مورد بررسی قراردادند. که در آن فرآیند جذب اثر سه‌گانه مدل‌سازی شد و یک مطالعه پارامتری انجام شد. گائو و همکاران [۳۳] یک سیستم تولید سه‌گانه با استفاده از سوخت زباله ارائه نمودند روش کار به‌گونه‌ای بود که زباله‌ها پس از گازی

سازی همراه با گاز طبیعی برای سوخت موتور احتراق داخلی مورد استفاده قرار می‌گرفت، همچنین از گازهای خروجی از موتور در CCHP استفاده می‌شد. نتایج آن‌ها نشان داد که به‌کارگیری از سوخت زباله و گاز طبیعی دمای محفظه احتراق را به ۲۲۰۰ درجه سانتی‌گراد رسانده و راندمان تولید هم‌زمان را به ۸۰٪ می‌رساند.

۲-۳- معرفی پژوهش حاضر و نوآوری

همان‌طور که از تحقیقات و مطالعات ذکر شده پیداست، افزایش میزان زباله‌ها در کشورها به یک معضل اجتماعی تبدیل شده است که اکثر کشورها برای مقابله با این حجم زباله به احداث نیروگاه‌های زباله‌سوز روی آورده تا بتوانند علاوه بر کاهش میزان زباله‌های موجود یک راهکار مثبت تولید برق را نیز ایجاد نمایند. اغلب نیروگاه‌های زباله‌سوز، تنها به‌عنوان یک سایت تولید قدرت مورد استفاده قرار می‌گیرند که با سوزاندن زباله‌ها در داخل کوره‌های دوار و ایجاد توان، گازهای حاصل از دودکش نیروگاه خارج می‌شود.

با توجه به این‌که بسیاری از گازهای خارج شده دارای پتانسیل حرارتی بالایی می‌باشند، بررسی تلفات حرارتی از نیروگاه، برای استفاده مجدد از این انرژی می‌تواند کمک شایانی در جهت مدیریت انرژی و کنترل تلفات حرارتی باشد؛ بنابراین در پژوهش حاضر پس از مطالعه و بررسی بر روی نیروگاه، علاوه بر تحلیل زیست‌محیطی نیروگاه، سیستم تولید هم‌زمان سرمایش و گرمایش نیز به‌عنوان ایده در نیروگاه مورد استفاده قرار گرفته است و نیروگاه زباله‌سوز را به یک سایت تولید هم‌زمان تبدیل کرده است.

در اکثر اقداماتی که در کارهای پیشین انجام شده است، از زباله‌ها به روش غیر مستقیم استفاده می‌شود. ابتدا بر روی زباله‌ها فرایند پیرولیز وگازی سازی صورت می‌گیرد، پس از استحصال گازهای CO , H_2 , CH_4 در راکتور^{۱۱}، ذرات و خاکستر توسط فیلترها جذب شده و سپس گازها، درون مخازن ذخیره می‌شود و همراه

¹¹ Reactor

با گاز طبیعی به عنوان سوخت یک موتور احتراق داخلی مورد استفاده قرار می‌گیرد، سپس گازهای خارج شده از موتور احتراق داخلی برای سیستم سرمایش و گرمایش استفاده می‌شود.

در نیروگاه زباله‌سوز کهریزک زباله‌ها به صورت مستقیم در داخل راکتور بستر سیال سوزانده می‌شوند و از گرمای ایجاد شده برای تولید توانی معادل با 3 MW استفاده می‌شود در نتیجه گازهای حاصل از احتراق پس از فیلتر شدن با دمای 165 درجه سانتی‌گراد وارد محیط می‌گردد.

در روش جدید علاوه بر تحلیل فنی و اقتصادی و زیست‌محیطی نیروگاه از گازهای خروجی در تولید هم‌زمان سرمایش و گرمایش نیز استفاده می‌شود و نیروگاه زباله‌سوز را به یک سایت تولید هم‌زمان تبدیل می‌کند. در تحلیل زیست‌محیطی نیروگاه بیش از 20 نوع آلاینده مورد بررسی قرار گرفته می‌شود که در این میان دی‌اکسیدها و فلوران‌ها به دلیل سمی بودن از اهمیت بیشتری برخوردارند. همچنین ایده استفاده از دوغاب حاصل از واحد سولفور زدایی^{۱۲} در تولید نمک خنثی و محصول جانبی گچ و خاکستر باقیمانده^{۱۳} در فرایندهای آسفالت سازی (به عنوان روکش آسفالت) نیز ارائه گردیده است. در آرایش جدید سیستم به دلیل استفاده از تلفات حرارتی در نیروگاه، راندمان نیروگاه نسبت به حالت قبل افزایش می‌یابد که موجب کاهش هزینه‌ها، کاهش آلاینده‌ها و افزایش کارایی نیروگاه نیز می‌شود.

در نوآوری استفاده از تلفات حرارتی در سیستم تولید هم‌زمان روش کار به این صورت می‌باشد که گازهای دودکش با دبی $18 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ وارد یک مبدل حرارتی می‌شود و آب معمولی نیز با دمای 35 درجه سانتی‌گراد و دبی $5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ توسط یک پمپ وارد مبدل حرارتی شده و با تبادل حرارتی بین گازهای داغ دودکش و آب، دمای آب افزایش یافته و گرمایش ایجاد می‌شود. دمای آب گرم تولید شده و راندمان مبدل حرارتی نیز به ازای سوخت ورودی 5000 تا 9000 کیلوگرم بر ثانیه سنجیده می‌شود.

¹² Flue Gas Desulfurization

¹³ Bottom Ash

پس از تأمین نیاز حرارتی، گازهای دودکش مبدل حرارتی را ترک کرده و برای تأمین نیاز سرمایشی وارد چیلر جذبی دو اثره آمونیاک-آب می‌شود و با تغییر در کیفیت و فشار آمونیاک سبب به جریان افتادن سیکل چیلر جذبی می‌شود. استفاده از چیلر جذبی آمونیاک-آب به دلیل پایین بودن دمای دود خروجی از نیروگاه می‌باشد. همچنین با تغییر کیفیت به ازای ۰/۰۲، ۰/۰۴، ۰/۰۸ ضریب عملکرد چیلر در حالت‌های مختلف سنجیده می‌شود، پس از کامل شدن سیکل تولید هم‌زمان با ایجاد اختلاف دمای بین محیط و سیستم CCHP به نسبت ۱/۲۵، ۱/۵۵، ۱/۸۵ راندمان سیستم تولید هم‌زمان بررسی می‌شود، در نهایت گاز خروجی از سیستم CCHP پس از فیلتر شدن وارد محیط می‌گردد. برای سنجش اقتصادی بودن طرح هزینه‌های هر واحد از سیستم تولید هم‌زمان اعم از پمپ‌ها، شیرها، تجهیزات چیلر و مبدل حرارتی از لیست قیمت و کاتالوگ آن‌ها استخراج شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد. در اقتصادی بودن طرح پارامترهای مختلفی از جمله نرخ تنزیل، سود خالص سالانه و دوره بازگشت سرمایه سنجیده می‌شود.

فصل سوم

مدل سازی و معادلات حاکم

۳-۱- مقدمه

افزایش روزافزون زباله‌ها در نقاط مختلف جهان موجب گردیده است که انسان با مشکلات جدی زباله روبه‌رو شود. از این‌رو به راهکارهای مختلفی مانند دفن کردن زباله‌ها و همچنین تبدیل زباله به کمپوست اقدام نماید اما میزان حجم زباله تولیدشده بیشتر از آن است که بتوان تنها با استفاده از این روش‌ها معضل زباله را حل نمود در نتیجه به روش‌های دیگر درصدد حل این مشکل اقدام نمودند.

یکی دیگر از این راهکارهای مقابله با مشکل افزایش زباله احداث نیروگاه‌های زباله‌سوز است، در این روش زباله‌ها درون کوره‌هایی سوزانده می‌شوند و از حرارتی که تولید می‌کند برای تبدیل آب به بخار با فشار بالا برای به حرکت درآوردن توربین بخار و تولید توان استفاده می‌نماید. این امر علاوه بر از بین بردن زباله‌ها و حل مشکل افزایش حجم زباله، موجب ایجاد توان الکتریسیته نیز می‌گردد. یکی از پارامترهای که در سوزاندن زباله وجود دارد مشکلات زیست‌محیطی سوزاندن زباله می‌باشد.

در نیروگاه مدنظر روزانه ۷۵۰۰ تن زباله وارد نیروگاه می‌شود، از این مقدار زباله ورودی فقط ۳۴۰۰ تن آن ارزش حرارتی برای سوختن را دارند. این زباله‌ها در محلی به مدت ۵ الی ۷ روز باقی می‌مانند تا از رطوبت آن‌ها کاسته شود. پس از اینکه رطوبت زباله‌ها به میزان تعیین شده رسید توسط مکانیسم‌هایی به داخل کوره‌ی زباله‌سوز ریخته می‌شود. فرآیند احتراق و تولید توان در نیروگاه شروع می‌شود، در این بخش معادلات مورد نیاز برای تحلیل نیروگاه و تبدیل به سایت تولید هم‌زمان و مباحث اقتصادی ذکر گردیده است.

۳-۲- ترکیب زباله‌های تهران

جدول (۳-۱) مقادیر جرمی ترکیب شیمیایی زباله شهری تهران بر اساس ۱۰۰ کیلوگرم زباله نمونه را نشان می‌دهد. بر این مبنا و با توجه به آنتالپی احتراق عناصر شیمیایی می‌توان ارزش حرارتی تقریبی زباله شهری تهران را محاسبه کرد [۸].

جدول (۳-۱) - مقادیر جرمی ترکیبات شیمیایی زباله شهری تهران (بر اساس ۱۰۰ کیلوگرم) [۸].

مواد تشکیل دهنده زباله	جرم کل	جرم خشک	کربن	هیدروژن	اکسیژن	نیتروژن	گوگرد	خاکستر
مواد قابل تبدیل الی	۷۵	۲۲/۵	۱۰/۸	۱/۴۳	۸/۴۶	۰/۸۵۸	۰/۰۹	۱/۱۲۵
کاغذومقوا	۱۱	۱۰/۴۵	۴/۵۹	۰/۶۱۶	۴/۶۶	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۵۲۳
پلاستیک	۶	۵/۸۸	۳/۵۲	۰/۴۱۲	۱/۳۴	-	-	۰/۵۸۸
منسوجات	۳	۲/۷	۱/۴۸	۰/۱۷۸	۰/۸۴	۰/۱۲۴	۰/۰۰۴	۰/۶۴
استخوان	۳	۲/۵۵	۱/۲۳	۰/۱۶۵	۰/۹۵	۰/۰۵۶	۰/۰۰۷۶	۰/۰۱۲۷
چوب	۲	۱/۶	۰/۷۹	۰/۰۹۶	۰/۹۱۵	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۱۶	۰/۰۲۴
جمع	۱۰۰	۴۵/۶۸	۲۲/۴۱	۲/۹	۱۶/۹۴	۱/۰۷۹۸	۰/۰۱۲۳	۲/۴۵

با استفاده از مقادیر داده شده در جدول بالا، جرم عناصر تشکیل دهنده ترکیب زباله های شهری تهران را به صورت $C_{22.4} H_{2.9} O_{16.9} N_{1.07} S_{0.012}$ می توان نوشت که این ترکیب برای ۱۰۰ کیلوگرم زباله می باشد.

۳-۳- دبی جرمی سوخت و هوای مصرفی نیروگاه

با توجه به درصد جرمی و ترکیب فیزیکی ارائه شده در جدول (۳-۱) برای سوزاندن ۱۰۰ کیلوگرم زباله شهری تهران با در نظر گرفتن ۱۴۰ تا ۲۰۰ درصد هوای اضافی میزان هوای مورد نیاز ۶/۸ تا ۸/۵۰ کیلوگرم هوا به ازای هر کیلوگرم زباله خواهد بود [۸].

نیروگاه زباله‌سوز کهریزک دارای ظرفیتی معادل با ۲۰۰ تن زباله در شبانه‌روز می‌باشد. توان تولیدی به ازای هر ساعت کارکرد نیروگاه معادل با ۳ مگاوات می‌باشد، در نتیجه برای نیروگاهی با این ظرفیت، کل توان یا الکتریسیته تولیدی برابر با ۷۲ مگاوات می‌باشد. مقدار دبی هوای ورودی به نیروگاه از رابطه (۱-۳) محاسبه می‌شود.

$$M = M_{Air} + M_{Waste} \quad (1-3)$$

که M دبی کل هوا و سوخت و M_{Air} مقدار هوای اضافی به ازای زباله ورودی و M_{Waste} میزان زباله ورودی بر حسب kg می‌باشد [۳۴].

۳-۴- بخش زیست‌محیطی نیروگاه

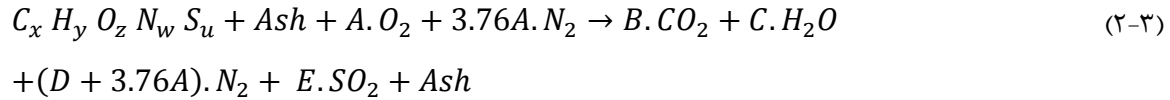
واکنش‌های شیمیایی از نظر پیشرفت واکنش به دودسته تقسیم می‌شوند. واکنش‌هایی که پیشرفت آن‌ها ۱۰۰٪ بوده و تا زمانی که مواد واکنشگر وجود داشته باشد، واکنش پیش خواهد رفت، برای مثال می‌توان به احتراق گازهای هیدروکربنی اشاره کرد. واکنش‌هایی که به‌رغم وجود اجزاء واکنشگر، پیشرفت آن‌ها کمتر از ۱۰۰٪ است. واکنش تولید بسیاری از مواد شیمیایی در این دسته قرار می‌گیرد. این فرایندها با توجه به اینکه بخشی از مواد اولیه در واکنش شرکت نمی‌کنند، همراه با محصول از ظرف واکنش خارج می‌شوند و برای استفاده مجدد، بازیابی شده و به ظرف بازگردانده می‌شوند.

نیروگاه زباله‌سوز کهریزک عامل انتشار بسیاری از آلاینده مختلف، مانند مس، جیوه، کادمیم و ... همچنین آلاینده‌های اسیدی مانند هیدروکلرید اسید و دی‌اکسید گوگرد و آلاینده‌های سمی مانند دی‌اکسین‌ها، فلوران‌ها و مواد ارگانیک می‌باشد. که می‌توان مقدار و نوع آلاینده‌ها را با استفاده از روابط زیر استنباط کرد.

۳-۴-۱- معادله موازنه احتراق

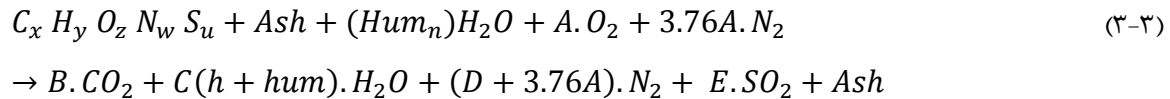
فرایند موازنه کردن نشان می‌دهد که سوخت محترق تبدیل به چه نوع آلاینده‌هایی می‌شود. معادلات

موازنه جرمی برای زباله‌ها را به صورت زیر می‌توان نوشت [۲۷].



که در معادلات پارامتر C درصد کربن موجود در زباله‌ها H درصد هیدروژن، O میزان اکسیژن زباله‌ها، N درصد نیتروژن موجود، S مقدار گوگرد و Ash خاکستر موجود در زباله‌ها می‌باشد.

در صورتی که در زباله‌ها رطوبت وجود داشته باشد، از رابطه (۳-۳) که Hum درصد رطوبت موجود در زباله‌ها می‌باشد [۳۳].



۳-۴-۲- معادله ارزش حرارتی زباله‌ها

ارزش حرارتی زباله‌ها را با استفاده از فرمول شیمیایی زیر می‌توان محاسبه نمود با استفاده از این

معادله ارزش حرارتی بالا (HHV) را برای زباله‌ها می‌توان به دست آورد [۲۷].

$$HHV (MJ Kg_{waste}^{-1}) = 33.95 C\% + 144.2 \left(H\% - \frac{1}{80} \% \right) + 2.36 N\% + 9.4 S\% \quad (۴-۳)$$

ارزش حرارتی پایین (LHV) نیز با استفاده از این معادله به دست می‌آید [۲۷].

$$LHV (MJ Kg_{waste}^{-1}) = HHV - 2.40 (Hum\% + 9H\%) \quad (5-3)$$

به دلیل وجود خاکستر در سوخت ارزش حرارتی زباله‌ها مقداری کاهش می‌یابد که این میزان را می‌توان با استفاده از رابطه (۶-۳) محاسبه کرد.

$$HHV (MJ Kg_{waste}^{-1}) \quad (6-3)$$

$$= 34.1 C\% + 132.3((H\% - (O\% + N)/11)) + 6.8 S\% - 1.5 Ash\%$$

۳-۴-۳- معادلات گرمای حاصل از واکنش احتراق و انرژی سوخت

برای محاسبه گرمای حاصل از احتراق سوخت از معادلات زیر استفاده می‌شود که در غیاب تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل و انواع کار، قانون اول ترمودینامیک برای سیستم باز طی فرآیند پایا به شکل زیر است [۳۴].

$$Q = h_P - h_R \quad (7-3)$$

که Q گرمای حاصل و h_R آنتالپی واکنش دهنده و h_P آنتالپی محصولات احتراق می‌باشد.

$$h_P = \sum_P N_i (\bar{h}_f^0 + \Delta\bar{h})_i \quad (8-3)$$

و \bar{h}_f^0 آنتالپی تشکیل در شرایط مرجع برای محصولات احتراق و $\Delta\bar{h}$ تغییرات آنتالپی محصولات احتراق نسبت به شرایط مرجع و N_i نیز تعداد مول محصولات احتراق در واکنش می‌باشد.

$$h_R = \sum_R N_i (\bar{h}_f^0 + \Delta\bar{h})_i \quad (9-3)$$

و برای واکنش‌دهنده \bar{h}_f^0 آنتالپی تشکیل در شرایط مرجع برای واکنش‌دهنده و $\Delta\bar{h}$ تغییرات آنتالپی واکنش‌دهنده نسبت به شرایط مرجع و N_i نیز تعداد مول واکنش‌دهنده در واکنش احتراق هست.

آنتالپی‌های تشکیل و آنتالپی محسوس را از جداول ترمودینامیک مربوطه استخراج می‌کنیم و با جایگذاری اعداد در تعریف آنتالپی خواهیم داشت:

$$Q = \frac{h_P - h_R}{N_F} \quad (10-3)$$

در رابطه بالا N_F تعداد مول سوخت می‌باشد. برای تعیین آگرژی شیمیایی سوخت موردنظر در ابتدا باید α مشخص شود که برحسب نسبت سوخت و ترکیب سوخت و نوع سوخت روابطی دارد. که این روابط به نسبت جرمی اکسیژن به کربن، کمتر از $\frac{2}{3}$ و بیشتر از $\frac{2}{3}$ بستگی دارد که در سوخت ما کمتر از $\frac{2}{3}$ می‌باشد و از رابطه زیر استفاده می‌شود [۳۴].

$$\alpha_{dry} = 1.0437 + 0.1882 \frac{H}{C} + 0.061 \frac{O}{C} + 0.0404 \frac{N}{C} \quad (11-3)$$

اگر در محصولات آب (رطوبت) باشد از رابطه زیر به دست می‌آوریم :

$$NCV = (NCV)_{dry} + W(h)_{fg} \quad (12-3)$$

که NCV ارزش گرمایی خالص و $W(h)_{fg}$ نسبت رطوبت به سوخت و آنتالپی تشکیل در شرایط بخار می‌باشد.

$$W_h = \frac{M_{H_2O}}{M_{Fuel}} \quad (13-3)$$

و W_h نیز نسبت جرم آب (رطوبت) به نسبت جرم سوخت می‌باشد :

اگرژی شیمیایی سوخت نیز با کمک رابطه (۳-۱۴) محاسبه می‌شود [۳۴].

$$ex_{ch} = [(NCV)_O + 2442 W] \times \alpha_{dry} + 9417 S \quad (۳-۱۴)$$

که ex_{ch} اگرژی شیمیایی سوخت و W رطوبت زباله و S گوگرد در سوخت می‌باشد.

با استفاده از روابط ترمودینامیکی گرمای حاصل از سوختن زباله‌ها را به صورت زیر محاسبه می‌کنیم.

$$\Delta T = T_{h1} - T_{h2} \quad (۳-۱۵)$$

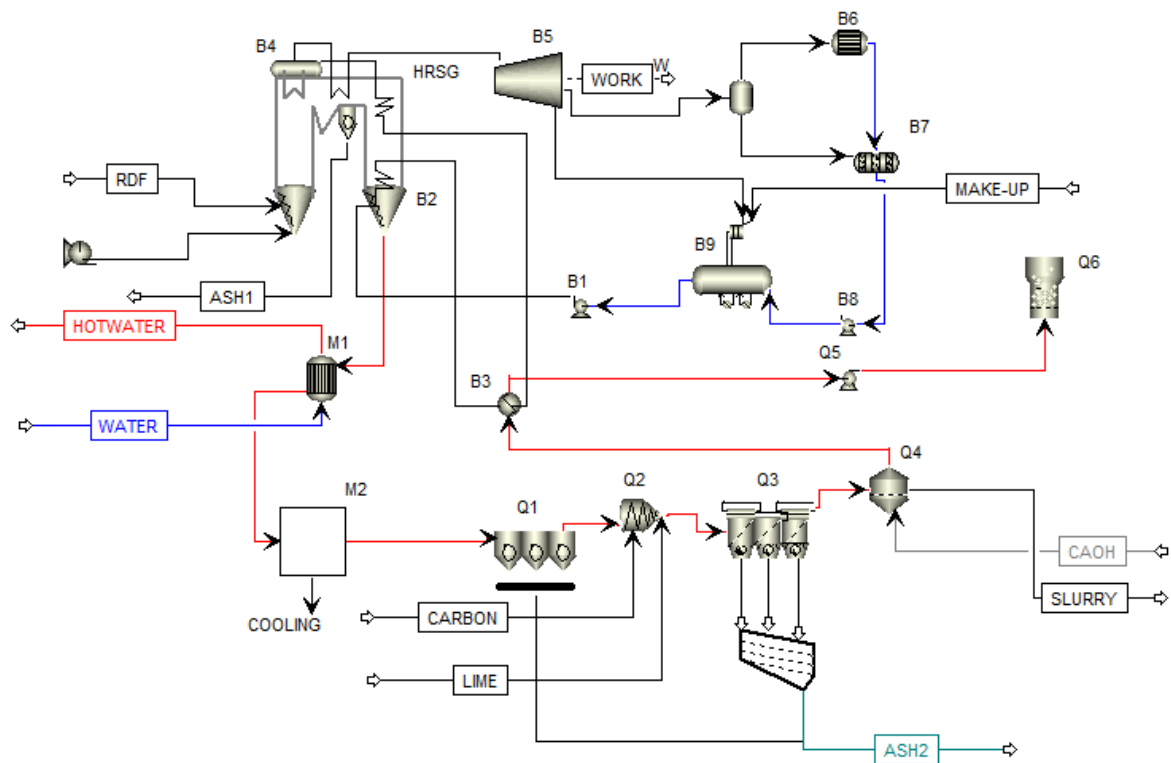
که ΔT اختلاف دمای خروجی دودکش با خروجی بویلر و T_{h1} دمای بعد از بویلر و T_{h2} دمای خروجی از دودکش در معادله (۳-۱۵) است [۳۵].

$$\dot{Q}_{rec} = \dot{M} \times CP \times \Delta T \quad (۳-۱۶)$$

\dot{Q}_{rec} مقدار گرمای به دست آمده از دودکش نیروگاه بر حسب کیلوژول بر ثانیه و \dot{M} دبی خروجی در هر ثانیه و CP گرمای ویژه محصولات احتراق در دمای احتراق می‌باشد، با توجه به رابطه بالا مقدار گرمای خروجی از نیروگاه در هر ثانیه محاسبه می‌گردد [۳۴].

۳-۵- روابط حاکم بر سیستم تولید هم‌زمان

نمایی از جریان سیستم تولید هم‌زمان CCHP مبتنی بر استفاده از سوخت زباله‌های جامد شهری تفکیک شده در شکل (۳-۱) نمایش داده شده است. پس از فرایند پیرولیز و گازی‌سازی، زباله‌ها در محفظه احتراق سوزانده شده و از گرمای حاصل در بخش‌های مختلف سیستم تولید هم‌زمان مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۱: تصویری از سیستم CCHP با استفاده از سوخت زباله

برای سهولت در فهم فرایندها نمایی از سیستم تولید هم‌زمان رسم گردیده است، و نقاط مختلف هر مرحله از فرایند در آن مشخص و روابط حاکم نیز توضیح داده شده است.

با استفاده از رابطه (۳-۱۹) مقدار سطح انرژی از بیوگاز را می‌توان به دست آورد [۳۳].

$$\Omega_g = 1 - \frac{T_0}{T_g - T_0} \ln \frac{T_g}{T_0} \quad (۳-۱۹)$$

که Ω_g مقدار سطح انرژی از بیوگاز و T_0 دمای محیط پیرامون و T_g دمای محفظه احتراق در نظر گرفته می‌شود.

همان مقدار سطح انرژی برای بیوگاز ، همان مقدار سطح انرژی برای گاز دودکش را با استفاده از رابطه (۳-۲۰) استنباط کرد [۳۳].

$$\Omega_{fg} = 1 - \frac{T_0}{T_{in} - T_{out}} \ln \frac{T_{in}}{T_{out}} \quad (20-3)$$

که Ω_{fg} مقدار سطح انرژی از گاز دودکش و T_{in} دمای ورودی از دودکش نیروگاه به سیستم تولید هم‌زمان و T_{out} دمای خروجی از سیستم تولید هم‌زمان می‌باشد.

اگر انرژی از ظرفیت سرمایش با استفاده از رابطه (۳-۲۱) محاسبه می‌گردد [۳۳].

$$EX_C = Q_C \left(\frac{T_0}{T_C} - 1 \right) \quad (21-3)$$

که EX_C انرژی سرمایش و Q_C ظرفیت سرمایشی از چیلر و T_C نیز دمای سرد مایع چیلر می‌باشد.

مقدار سطح انرژی از سرمایش Ω_C نیز با رابطه (۳-۲۲) محاسبه می‌شود.

$$\Omega_C = \left(\frac{EX_C}{Q_C} \right) \quad (22-3)$$

طبق قانون دوم ترمودینامیک سطح انرژی از مصرف حرارت می‌تواند با رابطه (۳-۲۳) استنباط شود.

$$\Omega_h = \left(\frac{EX_h}{Q_h} \right) \quad (23-3)$$

که Ω_h مقدار سطح انرژی از گرمایش و EX_h انرژی گرمایشی و Q_h ظرفیت گرمایشی سیستم می‌باشد.

نسبت گرمای ورودی و خروجی از CCHP با استفاده از رابطه (۳-۲۴) بیان می‌شود [۳۳].

$$\omega = \left(\frac{T_{h,in}}{T_{h,out}} \right) \quad (24-3)$$

که ω نسبت دما و $T_{h,in}$ دمای ورودی به CCHP و $T_{h,out}$ دمای خروجی از CCHP می‌باشد.

$$T_{h,out} = \left(\frac{T_0}{(\omega - 1) \cdot (1 - \Omega_{fg})} \right) \cdot \log(\omega) \quad (25-3)$$

$$T_{h,in} = \left(\frac{\omega \cdot T_0}{(\omega - 1) \cdot (1 - \Omega_{fg})} \right) \cdot \log(\omega) \quad (26-3)$$

راندمان انرژی سیستم تولید هم‌زمان با استفاده از رابطه (27-3) به دست می‌آید.

$$\eta = \frac{W + Q_h + Q_c}{M_f \times LHV} \quad (27-3)$$

که W کار حاصل از واحد تولید توان و M_f جرم سوخت مصرف‌شده می‌باشد.

راندمان انرژی نیز با رابطه زیر استنباط می‌شود [33].

$$\eta_{Ex} = \frac{EX_e + EX_h + EX_c}{EX_f} \quad (28-3)$$

و η_{Ex} راندمان انرژی سیستم تولید هم‌زمان EX_e و W انرژی و کار واحد توان و EX_f نیز انرژی سوخت می‌باشد.

۳-۵-۱- مبدل حرارتی موردنیاز در نیروگاه

مبدل‌ها باید به گونه‌ای انتخاب شوند که متناسب با بار حرارتی ناشی از تلفات دودکش باشد در رابطه

(17-3)، پارامتر Q_{rec} مقدار گرمای حاصل‌شده از دود خروجی نیروگاه زباله‌سوز می‌باشد.

$$Q_{rec} = (\dot{M} \times CP)_h \times (T_{h1} - T_{h2}) = Q_f \quad (17-3)$$

$$= (\dot{M} \times CP)_c \times (T_{c2} - T_{c1})$$

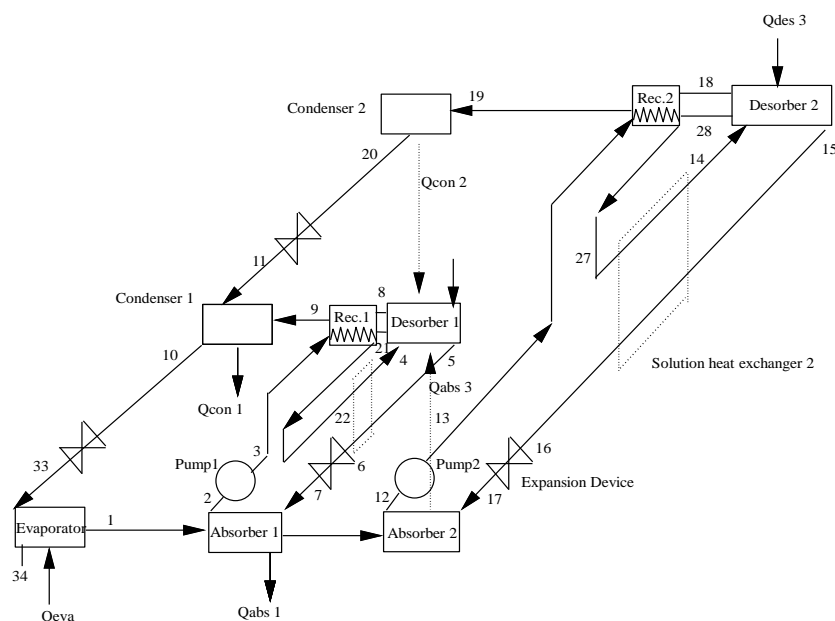
و گرمای سیال موردنیاز و T_{c1} دمای سیال ورودی و T_{c2} نیز دمای سیال خروجی از مبدل می‌باشد. گرمای حاصل از تلفات دودکش زمانی که وارد مبدل می‌شود تلفاتی را به همراه دارد که در رابطه (3-18) این تلفات حذف می‌شود.

$$Q_h = U \times A \times \Delta T \quad (18-3)$$

درواقع Q_h گرمای یا میزان حرارت دریافتی مبدل حرارتی، U ضریب تبادل گرمایی جهانی، A سطح مبدل و ΔT اختلاف دمای بین گازهای خروجی از دودکش و سیال خروجی از مبدل حرارتی می‌باشد.

۳-۵-۲- تأمین سرمایه‌های موردنیاز در نیروگاه

در بخش تأمین سرمایه‌های، به دلیل پایین بودن دمای گازهای خروجی از نیروگاه می‌بایست، تجهیزات سرمایه‌های متناسب با نیاز نیروگاه انتخاب می‌شود. چیلرهای جذبی در انواع مختلف مانند چیلرهای جذبی لیتیوم بروماید، آمونیاک-آب و غیره می‌باشند. در این میان چیلر جذبی آمونیاک-آب به دلیل خواص و نقطه جوش پایین آمونیاک برای استفاده در دماهای پایین به کار گرفته می‌شود.



شکل ۳-۲: تصویری از سیکل چیلر جذبی آمونیاک-آب دو اثره

با استفاده از معادله زیر گرمای مورد نیاز ژنراتور ۱ محاسبه شده است.

$$Q_{des1} = \dot{m}_1 \cdot ((R_1 + 1) \cdot H_8 - R_1 \cdot H_{21} + (FP_1 - 1) \cdot H_5 - FP_1 \cdot H_4) \quad (29-3)$$

که \dot{m}_1 جرم آمونیاک داخل چیلر و R_1 اختلاف کیفیت بین دریافت کننده و ژنراتور و H آنالپی در نقطه مورد نظر و FP_1 نیز اختلاف کیفیت آمونیاک در نقطه مورد نظر می باشد [۳۲].

برای به دست آوردن گرمای جاذب ۱ از رابطه (۳۰-۳) استفاده می شود و همچنین گرمای دریافتی از کندانسور نیز با استفاده از رابطه (۳۱-۳) محاسبه می شود.

$$Q_{abs1} = \dot{m}_1 \cdot (H_1 + FP_1 - 1) \cdot H_7 - FP_1 \cdot H_2 \quad (30-3)$$

$$Q_{cond1} = \dot{m}_1 \cdot (H_9 - H_{10}) + \dot{m}_2 \cdot (H_{11} - H_{10}) \quad (31-3)$$

که m_2 جرم آمونیاک درون ژنراتور ۲ می‌باشد.

و همچنین برای محاسبه گرمای اواپراتور ۱ از رابطه (۳۲-۳) استفاده می‌شود.

$$Q_{evap1} = \dot{m}_1 \cdot (H_1 - H_{25}) \quad (32-3)$$

گرمای موردنیاز ژنراتور ۲ نیز مانند ژنراتور ۱ به دست می‌آید باین‌وجود که کیفیت نقاط، آنتالپی و اختلاف دما در ژنراتور ۲ متفاوت می‌باشد [۳۲].

$$Q_{des2} = \dot{m}_2 \cdot ((R_2 + 1) \cdot H_{18} - R_2 \cdot H_{23} + (FP_2 - 1) \cdot H_{15} - FP_2 \cdot H_{14}) \quad (33-3)$$

پارامتر FP_2 اختلاف کیفیت دمای پایین و دمای بالای آمونیاک در سیکل می‌باشد.

گرمای جاذب ۲ با استفاده از رابطه (۳۴-۳) مورد محاسبه قرار گرفته و با رابطه (۳۵-۳) گرمای کندانسور ۲ و نیز با استفاده از رابطه (۳۶-۳) گرمای اواپراتور ۲ به دست می‌آید [۳۲].

$$Q_{abs2} = \dot{m}_2 \cdot (H_1 + FP_1 - 1) \cdot H_7 - FP_1 \cdot H_2 \quad (34-3)$$

$$Q_{cond2} = \dot{m}_2 \cdot (H_9 - H_{10}) + \dot{m}_2 \cdot (H_{11} - H_{10}) \quad (35-3)$$

$$Q_{evap2} = \dot{m}_2 \cdot (H_1 - H_{25}) \quad (36-3)$$

کار پمپ ۱ با کمک رابطه (۲۷-۳) و کار پمپ ۲ با استفاده از رابطه (۳۷-۳) به دست می‌آید.

$$WP_1 = \dot{m}_1 \cdot FP_1 \cdot (P_{H1} - P_{low}) \cdot V_2 \quad (37-3)$$

$$WP_2 = \dot{m}_2 \cdot FP_2 \cdot (P_{H2} - P_{low}) \cdot V_{12} \quad (38-3)$$

که P_H فشار بالای نقطه موردنظر در سیکل و P_{low} فشار پایین در سیکل و V_2 سرعت سیال در نقطه موردنظر است.

ضریب عملکرد چیلر با کمک رابطه (۳۹-۳) محاسبه می‌شود [۳۲].

$$COP = \frac{(Q_{evap1} + Q_{evap2})}{(WP_1 + (Q_{des2} + WP_2))} \quad (39-3)$$

۳-۶- معادلات اقتصادی استفاده از پتانسیل گرمایی دودکش نیروگاه

در استفاده از سیستم‌های تولید هم‌زمان بخش اقتصادی کار از اهمیت بالایی برخوردار است. به گونه‌ای که شکست یا موفقیت یک طرح به توجیه اقتصادی طرح بستگی دارد که شامل هزینه‌های اولیه سرمایه گذاری و هزینه‌های جاری و دوره بازگشت سرمایه می‌باشد.

برای به دست آوردن ATC یا همان بیشترین هزینه‌های سالانه از رابطه (۴۰-۳) استفاده می‌شود که در آن هزینه‌های جاری از سود حاصل سالانه طرح کم می‌شود [۳۷].

$$ATC = C_I + C_M + C_E - AS \quad (40-3)$$

$$C_I = I \cdot \frac{(1+I)^L}{(1+I)^L - 1} - \sum_{k=1}^n N_k \cdot C_{ik} \quad (41-3)$$

C_I هزینه سرمایه سالیانه برحسب (\$) و I نسبت کشش و L طول عمر آماری سیستم و N_k ظرفیت اسمی و C_{ik} هزینه سرمایه‌گذاری واحد تجهیزات می‌باشد [۳۷].

$$C_M = \sum_{i=1}^{8760} \cdot \sum_{k=1}^n P_{k,i} \cdot C_{m,k} \quad (42-3)$$

و همچنین C_M هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات و $P_{k,i}$ نیروی کار ساعتی و $C_{m,k}$ هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات واحد است [۳۷].

$$C_E = \sum_{i=1}^{8760} E_{grid,i} \cdot C_{grid} + (F_{PGU,i} + F_{gb,i}) \cdot C_{gas} \quad (۴۳-۳)$$

و C_E در رابطه (۴۳-۳) هزینه سالانه مصرف انرژی که $E_{grid,i}$ انرژی الکتریکی، C_{grid} و C_{gas} شارژ ساعتی از گاز طبیعی یا سوخت و برق خریداری شده از شبکه و $F_{PGU,i}$ مصرف سوخت واحد تولید توان و $F_{gb,i}$ مصرف سوخت بویلر می باشد.

برای محاسبه AS یا سود خالص سالیانه در رابطه (۴۴-۳) ابتدا سود سالیانه را محاسبه کرده و سپس سایر هزینه‌ها از آن کاسته می شود.

$$AS = AC - NGP \cdot \sum NGBC - C_M - RC \quad (۴۴-۳)$$

که سود سالیانه یا AC از رابطه (۴۵-۳) محاسبه می شود و NGP قیمت گاز طبیعی یا سوخت مورد نظر و $NGBC$ ظرفیت سوزاندن گاز طبیعی یا سوخت و RC نیز هزینه‌های جاری می باشد [۳۸].

$$AC = HP \cdot \sum Q_H \cdot CP + HWP \cdot \sum Q_{hw} \quad (۴۵-۳)$$

که HP هزینه هر واحد گرمایش و Q_H مقدار گرمایش به ازای هر $(\frac{KW}{h})$ و CP هزینه هر واحد سرمایش و Q_C مقدار سرمایش ایجاد شده و HWP هزینه آب گرم مصرفی خانگی و Q_{hw} مقدار گرمایش خانگی در سیستم می باشد [۳۸].

و NPV نیز ارزش حال خالص طرح و J سال عملیات می باشد.

$$NPV = \sum_{j=0}^L \frac{AS_j}{(1+I)^j} \quad (46-3)$$

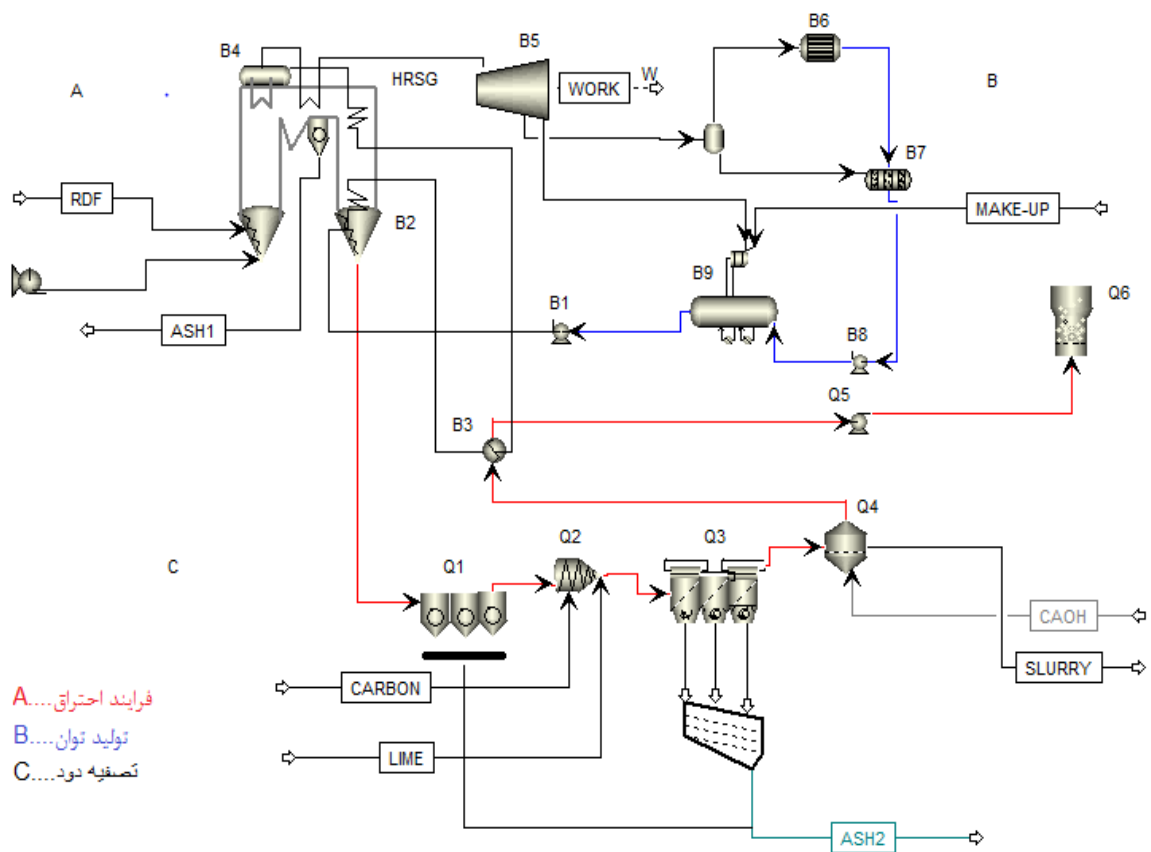
و همچنین دوره بازگشت سرمایه با استفاده از رابطه (3-47) بدست می‌آید.

$$PP = \frac{ATC}{AS} \quad (47-3)$$

که PP دوره بازگشت سرمایه و همچنین بیانگر توجیه اقتصادی طرح نیز می‌باشد [38].

۳-۷- طراحی نقشه عملیاتی از پژوهش حاضر

برای سهولت در فهم این که نیروگاه زباله‌سوز از چه تجهیزاتی تشکیل شده است نیاز به یک نقشه کلی از نیروگاه مورد نیاز می‌باشد، برای ترسیم یک نقشه از طرح، نرم‌افزارهای مختلفی وجود دارد. در این میان استفاده از نرم‌افزار اسپن، یک نرم‌افزار فوق‌العاده کاربردی و بیشتر مدنظر کارشناسان طراحی نیروگاه می‌باشد، در شکل زیر یک نقشه کلی از نیروگاه زباله‌سوز کهریزک که توسط نرم‌افزار اسپن طراحی شده است در این نقشه می‌توان فرایندها را با توجه به شکل و نقاط تشخیص داد و کارکرد کلی نیروگاه را مشاهده کرد.



شکل ۳-۳: نقشه عملیاتی از نیروگاه زباله‌سوز کهریزک

نیروگاه فعلی از سه بخش تشکیل شده است بخش اول که واحد تولید بخار با استفاده از فرایند احتراق می‌باشد و بخش دوم نیز واحد تولید انرژی که توان نیروگاه حاصل می‌شود و بخش سوم نیز تصفیه گاز دودکش نیروگاه می‌باشد. اساس کار نیروگاه به این صورت است که پس از کاهش رطوبت زباله‌های جامد شهری وارد کوره دوار می‌شود تا فرایند احتراق در آن صورت گیرد.

آب معمولی با دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد پس از رسوب‌گیری توسط پمپ B_1 به داخل محفظه احتراق اولیه B_2 که بویلر در آن قرار دارد هدایت می‌شود و پس از عبور از بویلر وارد یک مبدل حرارتی B_3 که انرژی خود را از تلفات دود دریافت می‌کند شده و دمای آن افزایش می‌آید و سپس وارد محفظه احتراق

ثانویه شده و توسط بویلر ثانویه و بویلر بازیاب حرارت به بخار ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد تبدیل شده و با فشار ۲/۵ مگا پاسکال وارد توربین بخار B_5 می‌شود و ایجاد توان می‌کند.

دمای خروجی از توربین بخار ۲۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۰/۳ مگا پاسکال می‌باشد که وارد کندانسور B_6 شده و دمای آن کاهش می‌یابد. هم‌زمان بخشی از آب داغ خروجی از زیرکش توربین بخار برای تقلیل از تلاطم جریان و گرمایش اولیه آب و بخش دیگر آب بعد از عبور از کندانسور برای تنظیم دما، فشار، سرعت، و حذف اکسیژن از آب به دلیل تولید اکسید و حذف کربن دی‌اکسید موجود در آب توسط پمپ B_8 وارد دی‌اریتور^{۱۴} B_9 می‌شود و پس از تنظیم دما و فشار وارد مسیر اولیه شده و سیکل کامل می‌گردد.

در بخش تصفیه گازهای خروجی ابتدا، گازهای خروجی وارد سیکلون‌ها^{۱۵} Q_1 شده و ذرات معلق موجود در گازها درون سیکلون‌ها توسط الگوریتم ماریپیچی هوا و نیروی گریز از مرکز به انتهای آن لغزش پیدا می‌کنند و جمع‌آوری می‌شوند. سپس گازهای خروجی وارد درایر^{۱۶} Q_2 برای کاهش رطوبت موجود در گازهای احتراق برای جلوگیری از پوسیدگی فیلترها و همچنین تزریق کربن فعال برای جذب ترکیبات آلی و فرار و تزریق آهک برای حذف سولفور در گازهای خروجی صورت می‌گیرد. همچنین وارد فیلترهای پارچه‌ای^{۱۷} Q_3 شده که غبار حاصل در گازهای خروجی حذف می‌شود، حدود ۹۹/۹ درصد از غبار موجود در دود توسط الیاف پارچه‌ای دریافت شده و تنها عامل بازدارنده این فیلترها، الیاف موجود در کیسه‌های فیلتر بوده که دمای ورودی به آن را محدود می‌کند. بعد عبور گازهای خروجی از فیلترهای پارچه‌ای وارد اسیداسکراپر^{۱۸} Q_4 شده و پس از تزریق آب و آهک به گازهای دودکش ذرات معلق موجود در آن و گازهای اسیدی، دی‌اکسید گوگرد و رطوبت در آن حل شده و به‌صورت دوغاب به پایین برج اسپری هدایت شده و در مخزن

¹⁴ Deaerator

¹⁵ Cyclon

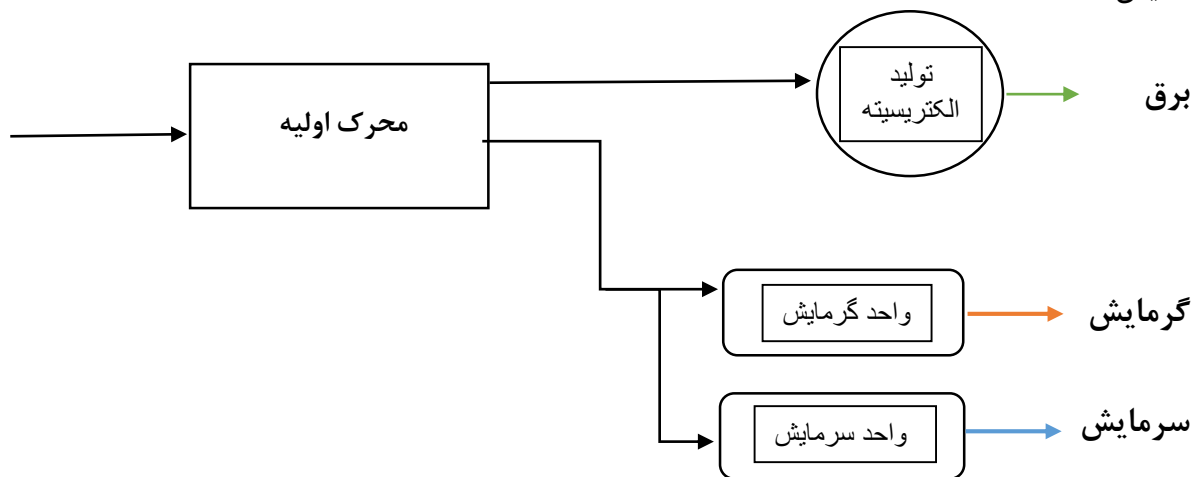
¹⁶ Dryer

¹⁷ Baghouse

¹⁸ Scrubber

واکنش تبدیل به نمک خنثی می‌شود. سپس گاز خروجی وارد یک مبدل حرارتی شده تا پیش‌گرمایش آب مصرفی صورت پذیرد و در نهایت از مسیر Q_6 توسط پمپ مکنده به بیرون هدایت می‌شود.

در پژوهش حاضر بخشی از اهداف مدنظر این است که گاز خروجی از بویلر را برای استفاده هم‌زمان سرمایش و گرمایش مورد استفاده قرار داد. در شکل (۳-۴) فرایند استفاده از گازهای خروجی برای سرمایش و گرمایش نمایش داده شده است.



شکل ۳-۴: تصویری از فرآیند تولید هم‌زمان

سیستم‌های تولید هم‌زمان نیازمند یک محرک اولیه می‌باشند که ممکن است این محرک از منابع مختلف انرژی دریافت شود. در این پژوهش گازهای خروجی از نیروگاه زباله‌سوز به عنوان یک محرک کم هزینه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در فصل بعد به بررسی نتایج حاصل از مدل‌سازی و تحلیل‌های ترمودینامیکی و بحث اقتصادی پرداخته خواهد شد.

فصل چہارم

نتایج و بحث

۴-۱- مقدمه

در این بخش به بررسی و تحلیل فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی سیستم‌های تولید هم‌زمان برق، حرارت و سرما با محرکه اولیه نیروگاه زباله‌سوز پرداخته می‌شود. همان‌طور که در فصل دوم ذکر گردید، کارهای مختلفی در زمینه CCHP و نیروگاه‌های زباله‌سوز صورت گرفته است. در این فصل ابتدا اولین پارامترهایی که مورد بررسی قرار می‌گیرد میزان زباله ورودی که متناسب با آن برق تولیدی و جرم دود خروجی از نیروگاه می‌باشد و سپس به بررسی زیست‌محیطی و آلاینده‌های خروجی از نیروگاه که وابسته به نوع سوخت و شرایط احتراق است پرداخته شده، همچنین به بررسی مقدار گرمای حاصل شده از فرایند احتراق زباله و گرمای حاصل شده از گازهای خرجی نیروگاه زباله‌سوز جهت تبدیل به یک سایت تولید هم‌زمان با استفاده از معادلات و روابط حاکم که در فصل سوم ارائه گردیده است پرداخته خواهد شد. سپس مبدل حرارتی و چیلر جذبی در سیکل قرار می‌گیرد تا توان به‌دست‌آمده از گازهای خروجی نیروگاه جهت ایجاد گرمایش و سرمایش واحد استفاده شود، سپس راندمان سیکل تولید هم‌زمان محاسبه شده و در نهایت اقتصادی بودن طرح مورد تحلیل قرار گرفته می‌شود.

نتایج به‌دست‌آمد در بخش تحلیل زیست‌محیطی نیروگاه با کد نویسی روابط حاکم در نرم‌افزار متلب صورت گرفته و پس از اعتبار سنجی نتایج ارائه گردیده است. مبدل حرارتی نیز با استفاده از نرم افزار EES مدل شده که دمای آب خروجی ۷۶ درجه سانتی‌گراد و دبی ۵ کیلوگرم بر ثانیه نتایج استخراج شده از نرم افزار بوده است. همچنین مدل‌سازی چیلر جذبی با کد نویسی در نرم افزار EES انجام شده که با تغییر در دما و کیفیت نتایج حاصل با نمونه مشابه مقایسه شده است و نتایج بخش اقتصادی نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel نوشته شده که مقادیر به صورت نمودار نمایش داده شده است.

جدول (۴-۱) اطلاعاتی که از نیروگاه زباله‌سوز فعلی در اختیار، قرار گرفته نمایش داده شده است.

جدول ۴-۱. داده‌های به‌دست‌آمده از نیروگاه زباله‌سوز کهریزک واقع در مجتمع آرادکوه

مگاوات mW	دبی $\frac{kg}{s}$	فشار Bar	دما °C	درصد %	ظرفیت Ton	پارامترهای نیروگاه
-	-	-	-	-	۲۰۰	مصرف زباله
-	-	-	-	۳۰٪	-	درصد رطوبت
-	-	-	۹۰۰	-	-	دمای کوره
-	-	-	۱۲۵۰	-	-	دمای محفظه احتراق دوم
-	-	-	۴۰۰	-	-	دمای بویلر
-	۸/۸	-	-	-	-	دبی جرمی آب
-	-	۲۵	-	-	-	فشار ورودی توربین.
-	-	۳	-	-	-	فشار خروجی توربین.
-	۸/۸	-	-	-	-	بخار تولیدی
-	-	-	۲۲۰	-	-	دمای ورودی کندانسور
-	-	-	۴۵	-	-	دمای خروجی کندانسور
۳	-	-	-	-	-	برق تولیدی
-	-	-	۲۲۵	-	-	دمای ورودی به اسیداسکراپر
-	-	-	۱۸۶	-	-	دمای خروجی از اسیداسکراپر
-	-	۲۰۰	-	-	-	فشار فن مکنده
-	-	-	-	-	-	آلاینده $SO_x, NO_x, CO_2, CO, HCl$ و گردوغبار
-	-	-	۱۶۵	-	-	دمای خروجی از دودکش

داده‌های ذکر شده در جدول قبلی، نتایج اندازه‌گیری پارامترهای مختلف و همچنین چند مرحله بازدید از نیروگاه و دریافت اطلاعات موردنیاز از نیروگاه زباله‌سوز واقع در مجتمع آرادکوه تهران می‌باشد، داده‌های جدول قبلی شامل پارامترهای مختلفی از جمله تجهیزات فنی، آلاینده‌ها و... می‌باشد.

با در اختیار داشتن داده‌های اولیه نیروگاه زباله‌سوز که در جدول (۴-۱) ذکر گردید مراحل تبدیل نیروگاه به سیستم تولید هم‌زمان بررسی می‌شود، پس از ورود زباله‌ها به کوره دوار فرایند احتراق صورت می‌گیرد. شرایط احتراق به‌گونه‌ای است که در آن ۷۰٪ از هوای وارد شده به سیستم بایستی محفظه اولیه به‌عنوان هوای روی شعله ۱۰٪ به‌عنوان هوای زیر شعله و ۲۰٪ برای محفظه اختلاط یا ثانویه مصرف می‌گردد تا در شرایط مطلوب کارکرد دمای محفظه احتراق به ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد برسد، پس از کامل شدن فرایند احتراق، گرمای حاصل‌شده انرژی خود را به بویلر می‌دهد تا دمای آب ورودی به ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد برسد. بخار داغ با دبی ۸/۸ کیلوگرم بر ثانیه و فشار ۲۵۰۰ کیلو پاسکال وارد توربین بخار شده و ایجاد توانی معادل با ۳۲۰۰ کیلووات می‌نماید. دمای گازهای خارج‌شده بعد از بویلر ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد بوده که نیاز حرارتی برای تولید حرارت و سرما را تأمین می‌نماید.

با استفاده از نرم‌افزار Aspen یک مدل اولیه از نیروگاه سیکل ترکیبی سه‌گانه طراحی کرده تا چیدمان و آرایش سیکل تولید هم‌زمان در نیروگاه زباله‌سوز صورت پذیرد. پس از خارج شدن گازهای احتراق از بویلر، بخشی از گاز خروجی جهت تأمین گرمایش وارد یک مبدل حرارتی که طراحی گردیده می‌شود. طراحی مبدل حرارتی با توجه به نیاز نیروگاه با استفاده از نرم‌افزار EES صورت گرفته است و راندمان مبدل حرارتی ۷۰٪ با تغییر در مقدار سوخت قابل تغییر می‌باشد. همچنین دمای آب وارد شده به مبدل حرارتی ۳۵ درجه سانتی‌گراد و دمای خروجی آب ۷۰ درجه سانتی‌گراد با دبی ۵ کیلوگرم بر ثانیه که این نیز با تغییر پارامتر نسبت سوخت قابل تغییر بوده و محاسبه گردیده است.

بخشی دیگر از گاز خروجی جهت تأمین سرمایه‌ش برای استفاده در چیلر جذبی قرار می‌گیرد، به دلیل پایین بودن درجه حرارت گازهای خروجی، از چیلر جذبی آمونیاک- آب استفاده می‌شود تا با دمای پایین‌تر نیاز کاربران برای سرمایه‌ش را برطرف سازد. مدل‌سازی چیلر جذبی با استفاده از نرم‌افزار EES صورت گرفته است و پس از محاسبات و مدل‌سازی مقدار سرمایه‌ش ایجاد شده در چیلر جذبی، از اواپراتور اول ۱۱۱۱ کیلووات و از اواپراتور دوم نیز ۵۲۹ کیلووات محاسبه گردید.

دمای گازهای خروجی پس از تأمین سرمایه‌ش و گرمایش ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد بوده و بعد عبور از فیلترها به محیط وارد می‌گردد. در بخش چیلر جذبی با تغییر پارامتر کیفیت آمونیاک تغییرات در ضریب عملکرد قابل مشاهده می‌باشد و در بخش طراحی چیلر جذبی بیان گردیده است.

راندمان سیستم تولید هم‌زمان ۷۰٪ و راندمان انرژی سیستم تولید توان ۲۸٪ و راندمان تولید توان نیز ۳۵٪ که با تغییر در نسبت سوخت تغییرات در افزایش و یا کاهش راندمان در هر بخش ایجاد می‌شود. و در نتیجه توجیه اقتصادی طرح فعلی با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شده و دوره بازگشت سرمایه نیز در حدود ۵/۲ سال برآورد شده است.

۴-۲- نتایج

در این قسمت به بررسی نتایج حاصل از مدل‌سازی انجام شده در نیروگاه زباله‌سوز برای تمامی بخش‌هایی که در طرح فعلی ذکر گردیده پرداخته می‌شود، که در زیر به آن اشاره شده است:

۱- نتایج حاصل از مقدار سوخت و هوای مصرف شده در نیروگاه زباله‌سوز و میزان توان حاصل شده و گاز خروجی از نیروگاه

۲- بررسی انواع مختلف آلاینده‌های خروجی از نیروگاه و میزان انتشار آلاینده‌ها

۳- بررسی پارامتر ارزش حرارتی زباله‌ها با استفاده از نرم‌افزار متلب

۴- طراحی بخش سیستم گرمایشی با استفاده از گازهای داغ احتراق

۵- طراحی بخش سیستم سرمایش چیلر جذبی با استفاده از محرک گازهای داغ حاصل از احتراق

۶- بررسی راندمان انرژی، انرژی و راندمان تولید سیستم طراحی شده (CCHP)

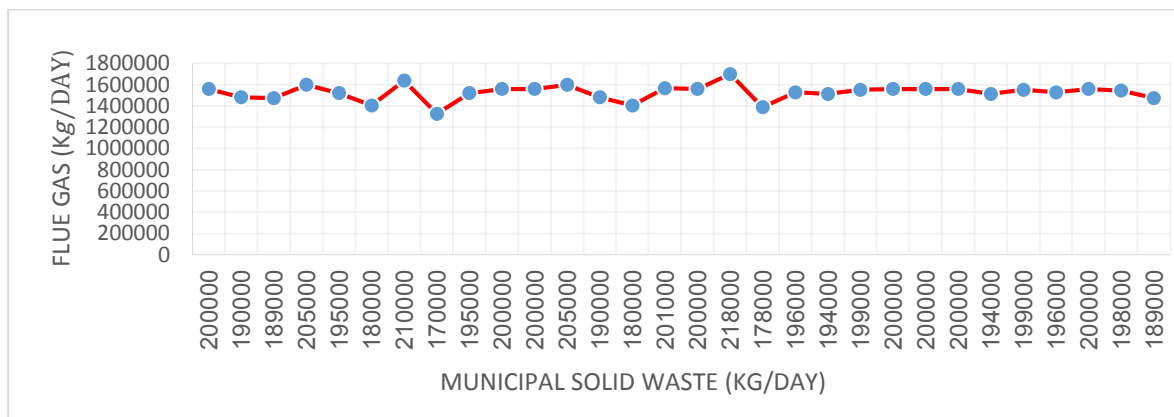
۷- بررسی توجیه اقتصادی طرح پیشنهاد شده با کمک Excel

۴-۲-۱- جرم سوخت و هوای مصرفی نیروگاه

در شرایط مطلوب کارکرد نیروگاه هر ساعت ۸۳۳۳ کیلوگرم زباله وارد کوره‌های دوار زباله‌سوز می‌گردد، و هم‌زمان تزریق هوای اضافی برای احتراق کامل‌تر صورت می‌پذیرد، و پس از تکمیل فرایند احتراق خاکستر حاصل شده از سوختن ترکیبات زباله مانند پلاستیک، چوب و ... از قسمت انتهایی کوره تخلیه شده و برای برخی از صنایع مانند آسفالت مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس از احتراق زباله‌ها در کوره دوار، گرمای تولید شده برای تولید توان صرف شده و سپس گازهای خروجی بعد عبور از فیلترها وارد محیط می‌گردد.

در ادامه به بررسی مقدار زباله ورودی به نیروگاه و میزان برق تولیدی از نیروگاه و همچنین دبی جرمی گازهای خروجی از نیروگاه با استفاده از رابطه (۱-۳) پرداخته می‌شود، و در اشکال (۱-۴) و (۲-۴) و (۴-۴) و (۳) نمایش داده شده است. تمامی پارامترهای ذکر شده نسبت به یکدیگر سنجیده شده‌اند و با تغییر هر یک از پارامترها تغییرات در بخش دیگر قابل مشاهده است.

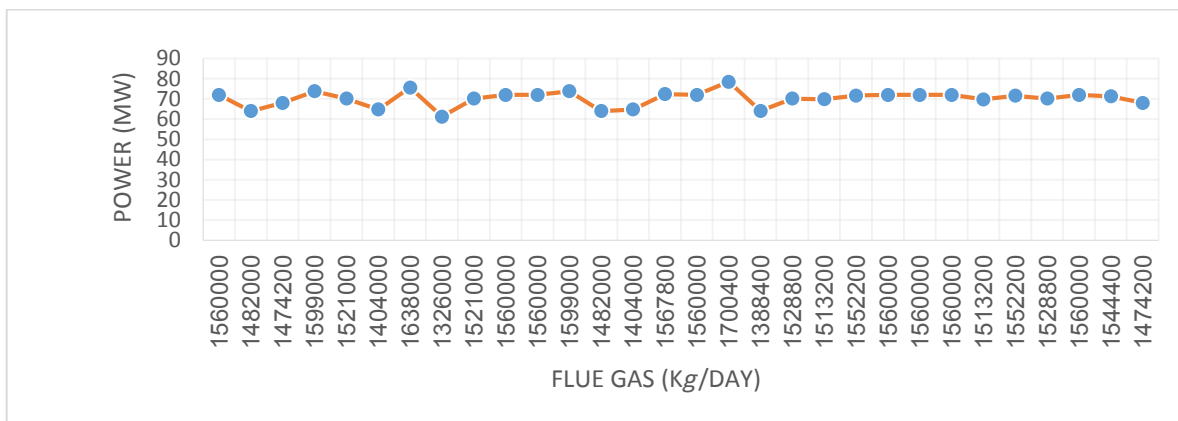
شکل (۱-۴) نشان می‌دهد که در یک ماه چه مقدار زباله به نیروگاه وارد شده و چه مقدار دبی گازهای خروجی از دودکش نیروگاه می‌باشد.



شکل (۱-۴) زباله ورودی و جرم خروجی از دودکش نیروگاه برای یک ماه

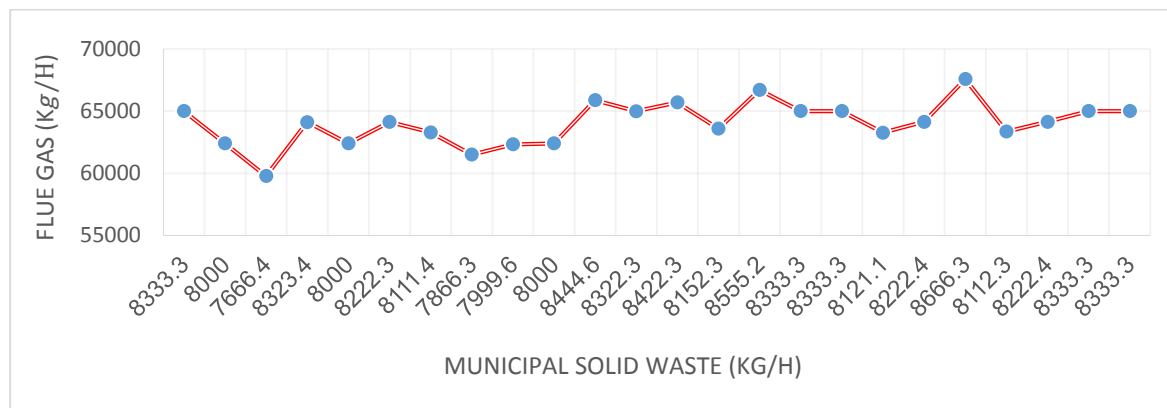
پس از تفکیک زباله‌ها در مبدأ و جداسازی زباله‌های مرطوب از زباله‌های خشک، به واحد زباله‌سوزی در نیروگاه منتقل می‌شود تا برای تولید توان در نیروگاه مصرف گردد. شکل (۱-۴) مقدار گاز خروجی از نیروگاه زباله‌سوز در مدت یک ماه به ازای تغییر در مقدار سوخت ورودی به نیروگاه نمایش داده شده است، با تغییر در میزان سوخت ورودی به نیروگاه تغییرات در دبی گاز خروجی نیز قابل مشاهده می‌باشد. با افزایش سوخت ورودی متناسب با آن درصد هوای اضافی تزریق شده نیز افزایش پیدا کرده و به موجب آن دبی گاز خروجی نیروگاه نیز افزایش پیدا می‌کند به گونه‌ای که با ورود ۲۰۰ تن زباله در شبانه‌روز مقدار دبی گاز خروجی ۱۵۶۰ تن می‌باشد.

نقاط مشخص شده روی خط دبی گاز، تغییرات دبی با تغییر در سوخت مصرف شده را نشان می‌دهد. و این نکته را می‌توان در نظر گرفت، که سوخت ورودی و گازهای خروجی رابطه مستقیم با هم دارند. با توجه به شکل (۲-۴) مقدار دبی دود خروجی برای یک ماه به ازای برق تولیدی نیز مشخص شده است.



شکل (۲-۴) مقدار زباله ورودی و میزان برق تولید

پس از وارد شدن زباله‌ها به نیروگاه و کاهش رطوبت آن‌ها به میزان ۳۰ درصد وارد محفظه احتراق شده که محفظه احتراق نیز از دو کوره دوار برای اختلاط بهتر ترکیبات زباله‌ها با هوای اضافی تزریق شده تشکیل شده است به ازای هر ۱ کیلوگرم زباله حدود ۶/۸ تا ۸/۶ کیلوگرم هوا برای احتراق هر چه کامل تر سوخت به محفظه تزریق می‌گردد. در شکل (۲-۴) تغییرات دبی خروجی از گاز دودکش و تغییرات در توان خروجی از نیروگاه مشاهده می‌شود، در هر شبانه‌روز دبی گاز خروجی معادل با ۱۵۶۰ تن و توان تولیدی ۷۲ مگاوات می‌باشد. همچنین با افزایش میزان دبی گازهای خروجی توان تولیدی در نیروگاه نیز افزایش پیدا می‌کند، با کاهش دبی گازهای خروجی توان تولیدی نیروگاه نیز کاهش می‌یابد. در شرایطی که برای ساعت‌ها سوخت و درصد هوای تزریق شده به نیروگاه ثابت است همواره دبی خروجی گاز و توان تولیدی نیز ثابت باقی می‌ماند، دمای محفظه احتراق در شرایط مطلوب کارکرد نیروگاه به ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد که برای تولید بخار با دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و دبی ۸/۸ کیلوگرم بر ثانیه و همچنین فشار ۲۵۰۰ کیلو پاسکال جهت ایجاد توان موردنیاز نیروگاه کافی می‌باشد.



شکل (۳-۴) مقدار زباله ورودی ساعتی و دبی خروجی

شکل (۳-۴) نشان می‌دهد که چه مقدار زباله ساعتی وارد کوره‌های زباله‌سوز شده و متناسب با آن، چه میزان دبی گازهای خروجی از نیروگاه می‌باشد. با تغییر در میزان سوخت ساعتی به نیروگاه مشاهده می‌شود که دبی گازهای خارج شده از نیروگاه تغییر می‌کند، که نقاط ترسیم شده روی شکل نشان‌دهنده افزایش یا کاهش دبی گاز خروجی در نیروگاه می‌باشد. بیش از ۲۰ نوع آلاینده از نیروگاه زباله‌سوز تولید می‌شود که دلیل آن وجود انواع ترکیبات مختلف در سوخت وارد شده به نیروگاه است، برای کاهش برخی از آلاینده‌ها از فیلترها و محفظه‌های جمع‌آوری خاکستر موجود در گاز خروجی و تزریق آب و آهک جهت کنترل دمای محصولات برای جلوگیری از افزایش تشکیل آلاینده‌ها استفاده می‌شود.

۲-۲-۴- آلاینده‌های خروجی از نیروگاه زباله‌سوز

به دلیل مختلف بودن نوع ترکیبات زباله از جمله زباله‌های بیمارستانی، زباله‌های جامد شهری و... در فرایند احتراق زباله انواع مختلف آلاینده‌ها مانند مس، سرب، جیوه، کادمیم و ترکیبات مختلف دیگر ایجاد می‌شود، که با استفاده از فیلترها و تزریق آب و آهک و همچنین تزریق کربن فعال مقدار تولید آن‌ها را کنترل شده نگه می‌دارند.

نتایج حاصل از انتشار آلاینده‌های خروجی از نیروگاه زباله‌سوز نیز در جدول (۴-۲) مشخص شده است .

جدول ۴-۲. نتایج مدل‌سازی انتشار آلاینده‌ها از نیروگاه زباله‌سوز کهریزک

نوع انتشارات آلاینده‌ها	مقدار انتشار سالانه آلاینده‌ها برحسب کیلوگرم بر هر تن زباله	درصد انتشار آلاینده(%)
(HCI) هیدروکلریک اسید	۲/۱	۰/۸
(Pb) سرب	۰/۰۰۰۰۰۰۲۰۱	۰/۹
(Cu) مس	-	۰/۷
(Cd) کادمیم	۰/۰۰۰۰۰۰۲۲	۳/۱
(Cr) کروم	۰/۰۰۰۰۰۰۳۱	۳/۳
(Ni) نیکل	-	۰/۴
(Hg) جیوه	-	۱۱/۵
دی‌اکسید فلوران	۵۰-۱۰۰۰ میکروگرم بر تن	۰/۵
(As) آرسنیک	-	۰/۳
(Zn) روی	-	۱/۷
(POPs) مواد ارگانیک	-	۲۲
(So ₂) دی‌اکسید گوگرد	۱/۲	۰/۲
(No _x) ترکیبات اکسید نیتروژن	۲/۸	۰/۳
(Co) مونواکسید کربن	۰/۵	۰/۲
(Co ₂) دی‌اکسید کربن	۰/۹	۰/۵
(N ₂ O) دی‌اکسید نیتروژن	۱/۰	-
(Pm) ذرات معلق	۱۷/۸	-

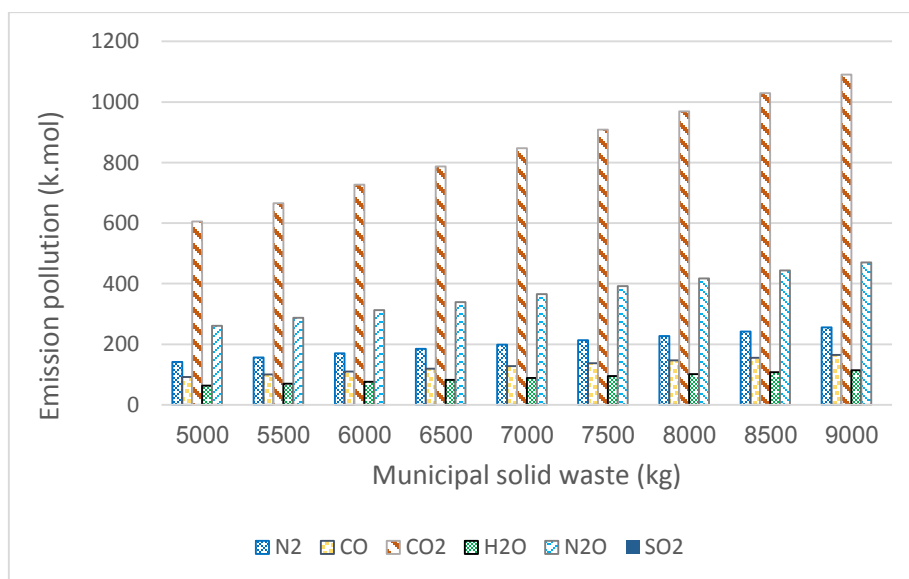
جدول ۴-۳. نتایج انتشار آلاینده‌ها طبق استاندارد از مقالات [۳۱،۳۰]

نوع انتشارات آلاینده‌ها	مقدار انتشار سالانه آلاینده‌ها برحسب کیلوگرم بر هر تن زباله	درصد انتشار آلاینده (%)
(HCl) هیدروکلریک اسید	۲/۳	۰/۹
(Pb) سرب	۰/۰۰۰۰۰۱۰۴	۱/۰
(Cu) مس	-	۰/۷
(Cd) کادمیم	۰/۰۰۰۰۰۳۴	۳/۲
(Cr) کروم	۰/۰۰۰۰۰۲۸	۲/۳
(Ni) نیکل	-	۰/۳
(Hg) جیوه	-	۱۱
دی‌اکسید فلوران	۱۰۰۰-۲۵ میکروگرم بر تن	۰/۱
(As)	-	۰/۲
(Zn)	-	۲/۷
(POPs) مواد ارگانیک	-	۲۳
(SO ₂) دی‌اکسید گوگرد	۱/۷	۰/۱
(NO _x) ترکیبات اکسید نیتروژن	۱/۸	۰/۲
(CO) مونواکسید کربن	۰/۷	۰/۲
(CO ₂) دی‌اکسید کربن	-	۰/۴
(N ₂ O) دی‌اکسید نیتروژن	۱/۰	-
(PM) ذرات معلق	۱۸/۳	-

با توجه به جداول (۲-۴) و (۳-۴)، و مقایسه بین نتایج حاصل از میزان انتشار آلاینده‌ها در نیروگاه فعلی و نیروگاه مشابه در مقالات نوع آلاینده‌های خروجی یکسان است اما میزان آلاینده‌ها به دلیل تفاوت در ترکیبات زباله‌های شهری تهران باهم فرق می‌کند. از آلاینده‌های سمی به دی‌اکسیدها و فلوران‌ها می‌توان اشاره کرد، استاندارد این آلاینده ۴۵۰ میکروگرم بر تن است که در نیروگاه فعلی ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکروگرم بر تن می‌باشد.

بیشترین مقدار انتشار از نیروگاه مربوط به PM یا ذرات معلق درون دود می‌باشد که مقدار آن در نیروگاه فعلی $17/8 \text{ kg} / (\text{ton.waste})$ و در نیروگاه مشابه در مقالات $18/3 \text{ kg} / (\text{ton.waste})$ است. همان‌طور که در بخش‌های قبلی ذکر گردید زباله‌های شهری تهران دارای انواع مختلفی از ترکیبات است در نتیجه میزان انتشارات آلاینده‌ها نیز متفاوت با نمونه‌های مشابه آن در کشورهای دیگر می‌باشد، از جمله تفاوت دیگر انتشار NO_x از نیروگاه است که در نیروگاه فعلی مقدار آن $2/8 \text{ kg} / (\text{ton.waste})$ و در نمونه مشابه $1/8 \text{ kg} / (\text{ton.waste})$ و دلیل اختلاف میزان انتشار مواد تشکیل‌دهنده‌ی ترکیبات زباله شهری تهران می‌باشد. این عامل نیز نیاز به تزریق هوای اضافی برای احتراق کامل‌تر و بالا رفتن دمای محصولات احتراق را به همراه دارد.

در شکل (۴-۴) مقدار آلاینده‌های خروجی از نیروگاه برحسب $\text{kmol} / (\text{kg.waste})$ با استفاده از رابطه (۳-۱) و (۳-۲) و با موازنه کردن واکنش محصولات احتراق به صورت نمودار نشان داده شده است.



شکل (۴-۴): تغییرات میزان آلاینده‌های خروجی با تغییر در مقدار سوخت ورودی به نیروگاه

همان‌طور که در شکل (۴-۴) مشاهده می‌شود، به ازای تغییر سوخت ورودی به نیروگاه از ۵۰۰۰ تا ۹۰۰۰ کیلوگرم میزان آلاینده‌های خروجی از نیروگاه نمایش داده شده است برای ۵۰۰۰ کیلوگرم سوخت مقدار تشکیل CO_2 به میزان ۶۰۰ کیلو مول و H_2O ، ۶۳/۶۱ کیلو مول و مقدار N_2O ، ۲۶۱ کیلو مول و N_2 ، ۱۴۲/۱ کیلو مول و مقدار تشکیل SO_2 ، ۰/۱۸۷۵ کیلو مول و CO نیز ۹۱/۶۷ کیلو مول است. میزان انتشار CO_2 به دلیل ترکیبات پایه کربنی و تزریق هوای اضافی به زباله‌ها بیشتر از ترکیبات دیگر می‌باشد همچنین مقدار NO_x نیز به دلیل تزریق هوای اضافی به محفظه احتراق زیاد می‌باشد اما مقدار SO_2 به دلیل پایین بودن گوگرد موجود، در داخل ترکیبات زباله‌ها کمترین مقدار را دارا است.

میزان آلاینده‌های خروجی از نیروگاه زباله‌سوز با نیروگاهی در آلمان مقایسه گردیده است، که مقدار انتشار CO_2 در آن ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ کیلوگرم به ازای یک تن زباله و در نیروگاه فعلی ۸۰۶ کیلوگرم به ازای یک تن زباله می‌باشد و اختلاف مابین به دلیل متفاوت بودن ترکیبات زباله‌ها است [۴۳].

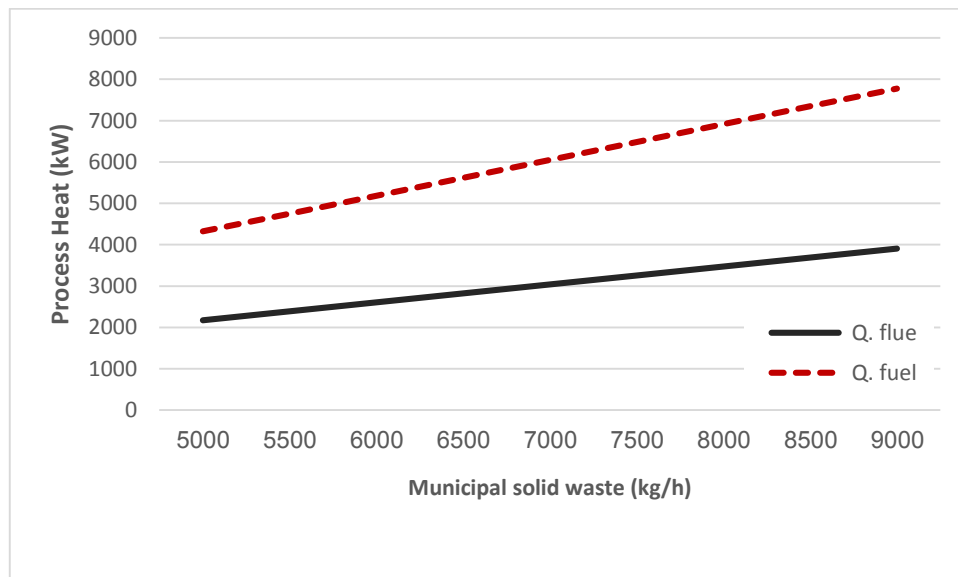
۴-۲-۳- ارزش حرارتی زباله‌ها

با کمک روابط (۳-۴)، (۳-۵)، (۳-۶) ارائه شده در فصل قبل ارزش حرارتی زباله‌ها برای ۱۰۰ کیلوگرم زباله محاسبه می‌گردد و در جدول (۴-۴) ذکر گردیده است که ارزش حرارتی زباله‌ها بر واحد $\frac{kJ}{kg}$ می‌باشد، و با ارزش حرارتی به دست آمده از زباله‌های کالیفرنیا مقایسه می‌شود. به دلیل بالا بودن رطوبت در زباله‌های شهری تهران، ارزش حرارتی پایین تری را نسبت به زباله‌های کالیفرنیا دارا می‌باشد [۹].

جدول ۴-۴. ارزش حرارتی به دست آمده از زباله‌های نیروگاه زباله‌سوز و مقایسه آن با نیروگاه کالیفرنیا

۹۸۷۲	با استفاده از رابطه (۳-۳) HHV	ارزش حرارتی زباله‌های نیروگاه فعلی (kJ/kg)
۸۵۲۵	با استفاده از رابطه (۴-۳) LHV	
۹۱۳۸	با استفاده از رابطه (۵-۳) HHV	
۱۳۵۴۶	-	ارزش حرارتی زباله‌های نیروگاه کالیفرنیا [۹]. (kJ/kg)

بالا بودن ارزش حرارتی در سوخت سبب افزایش راندمان حرارتی در نیروگاه می‌گردد از این رو با دانستن ارزش حرارتی زباله‌ها و با استفاده از روابط (۷-۳)، (۸-۳)، (۹-۳) و (۱۰-۳) مقدار گرمای حاصل شده از سوختن زباله‌ها برای هر ساعت کارکرد نیروگاه مطابق شکل (۴-۵) نمایش داده می‌شود.



شکل (۴-۵): تغییرات میزان گرمای حاصل از احتراق و همچنین گرمای گازهای خروجی متناسب با تغییر در مقدار سوخت ورودی به نیروگاه.

همان گونه که در شکل مشاهده می‌شود به ازای ۹۰۰۰ کیلوگرم زباله ورودی در هر ساعت به نیروگاه حدود ۷۹۰۰ کیلووات انرژی آزاد می‌شود، که با تغییر در میزان زباله ورودی این تغییرات گرما به صورت نمودار دیده می‌شود. پس‌ازاینکه احتراق صورت گرفت و محصولات احتراق تشکیل شدند، گازهای خروجی هنوز دارای پتانسیل گرمایی می‌باشند که با استفاده از رابطه (۳-۱۵) و (۳-۱۶) این میزان گرما به دست می‌آید و در شکل (۴-۵) نمایش داده می‌شود. با افزایش حجم زباله‌های ورودی به نیروگاه گرمای محفظه احتراق نیز بالا می‌رود به گونه‌ای که به ازای مقادیر ورودی از ۵۰۰۰ تا ۹۰۰۰ کیلوگرم زباله گرمای محفظه احتراق بین ۴۱۰۰ تا ۷۹۰۰ کیلووات تغییر می‌کند، همچنین مقدار گرمایی که از دودکش نیروگاه قابل بازیابی می‌باشد نیز نمایش داده شده است که با افزایش سوخت ورودی پتانسیل قابل بازیابی از دودکش نیروگاه نیز افزایش پیدا می‌کند.

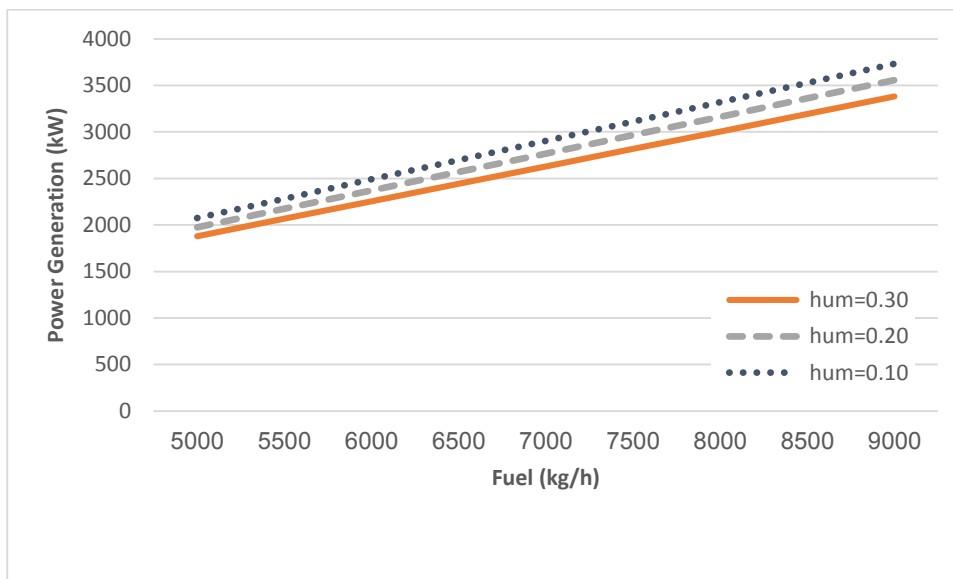
در فرایند احتراق سوخت، مقدار گرمایی که از احتراق به دست می‌آید صرف تولید بخار داغ با فشار بالا می‌شود، که توسط بویلر نیروگاه این بخار تأمین می‌شود و پس‌از آن وارد توربین بخار شده و تولید توان می‌کند. در بخش تولید توان هر چه گرمای محفظه احتراق را افزایش داد به نسبت آن، توان تولیدی نیز افزایش پیدا می‌کند در جدول (۴-۵) تغییرات سوخت و گرمای هر بخش را می‌توان مشاهده کرد.

جدول ۴-۵. تغییرات سوخت ورودی و گرمای حاصل

۹۰۰۰	۸۵۰۰	۸۰۰۰	۷۵۰۰	۷۰۰۰	۶۵۰۰	۶۰۰۰	۵۵۰۰	۵۰۰۰	سوخت مصرفی kg/h
۷۸۴۵	۷۴۰۹	۶۹۷۳	۶۵۳۷	۶۱۰۱	۵۶۶۶	۵۲۳۰	۴۷۹۴	۴۳۵۸	گرمای، محفظه احتراق (kW)
۳۸۰۹	۳۵۹۸	۳۳۸۶	۳۱۷۵	۲۹۶۳	۲۷۵۱	۲۵۴۰	۲۳۲۸	۲۱۱۶	گرمای، بازیابی در سیستم (CCHP)
۳۷۳۳	۳۵۲۵	۳۳۱۸	۳۱۱۱	۲۹۰۳	۲۶۹۶	۲۴۸۹	۲۲۸۱	۲۰۷۴	توان، تولیدی (kW)

روند تغییرات گرما افزایشی بوده که با ثابت نمودن مقدار زباله ورودی و تغییرات میزان رطوبت موجود در زباله‌ها می‌توان حالت‌های صعودی و نزولی را در واحد تولید توان نیروگاه ایجاد کرد.

علاوه بر تأثیر افزایش و کاهش میزان سوخت ورودی به نیروگاه در تولید گرما، رطوبت موجود در زباله‌ها نیز نقش مهمی را در تغییرات دمای محفظه احتراق ایفا می‌کند. مشکل رطوبت زباله‌ها را می‌توان با سیستم پیش‌گرمایش که انرژی خود را از تلفات حرارتی در دودکش نیروگاه تأمین نماید برطرف ساخت به این صورت که گازهای حاصل پس از عبور از یک مبدل حرارتی با سیال کاری هوا سبب افزایش دمای هوا شد و سپس هوای داغ را به محفظه نگهداری زباله‌ها تزریق نمود و رطوبت زباله‌ها را کاهش داد و موجب افزایش در راندمان نیروگاه گردید.

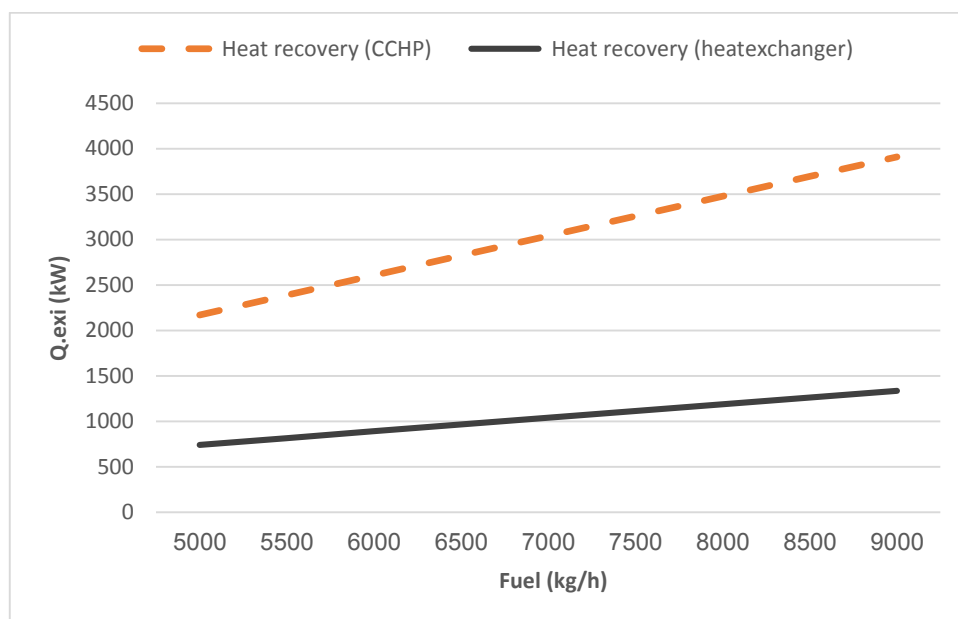


شکل (۴-۶): میزان توان تولیدی نیروگاه با توجه به تغییر در مقدار سوخت مصرفی و رطوبت

زباله‌های ورودی به محفظه احتراق به دلیل ترکیبات مختلفی از جمله (پلاستیک، منسوجات، چوب، لاستیک و...) دارای رطوبت بالا می‌باشند که برای کاهش مقداری از رطوبت به مدت ۵ الی ۷ روز هوادهی می‌شود، سپس وارد محفظه احتراق گردیده و فرایند تولید گرما صورت می‌گیرد. گرمای تولیدشده به مقدار و درصد رطوبت زباله بستگی دارد، با مشاهده شکل (۴-۶) می‌توان به این نکته پی برد که برای بالا بردن توان تولیدی از نیروگاه به ازای مقدار سوخت ثابت رطوبت زباله‌ها را کاهش داد. در حالت اول رطوبت زباله‌ها را به ۳۰٪ رسانده و مقدار توان تولیدی به ازای ۵۰۰۰ تا ۹۰۰۰ کیلوگرم در هر ساعت از ۲۰۰۰ تا ۳۵۰۰ کیلووات ساعت افزایش می‌یابد، در حالت دوم رطوبت زباله‌ها را به ۲۰٪ کاهش داده و توان تولیدی از ۱۸۰۰ تا ۳۳۰۰ کیلووات ساعت تغییر می‌کند. در حالت سوم رطوبت زباله‌ها را به ۱۰٪ تغییر داده و بیشترین بازده تولید از ۲۱۰۰ تا ۳۸۰۰ کیلووات ساعت با توجه به افزایش سوخت تغییر می‌کند.

در نیروگاه فعلی پس‌ازاینکه، گرمای حاصل از واکنش احتراق زباله‌ها باعث ایجاد توان الکتریسیته گردید قصد خارج شدن از دودکش نیروگاه را دارند که در سیستم تولید هم‌زمان این میزان گرما برای CCHP مورد

استفاده قرار می‌گیرد. در شکل (۷-۴) مقدار پتانسیل گرمایی که از محصولات احتراق بجای می‌ماند نمایش داده می‌شود.



شکل (۷-۴): گرمای قابل بازیابی برای استفاده در سیستم تولید هم‌زمان از گازهای داغ حاصل با توجه به تغییر در مقدار سوخت

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار سوخت ورودی به نیروگاه با دبی ۵۰۰۰ تا ۹۰۰۰ کیلوگرم بر ساعت، بازیابی حرارت از تلفات خارج‌شده دودکش بین ۲۲۰۰ تا ۴۰۰۰ کیلووات است که این مقدار گرما نیاز سیستم تولید هم‌زمان حرارت و سرما را برطرف می‌سازد، هراندازه مقدار سوخت را افزایش داد گرمایی که از تلفات دود به دست می‌آید نیز افزایش پیدا می‌کند. همچنین میزان گرمای دریافتی در مبدل حرارتی نیز مشخص شده است، در نتیجه دود خروجی برای استفاده در مبدل حرارتی برای ایجاد گرمایش و در چیلر جذبی برای ایجاد سرمایش می‌تواند استفاده شود.

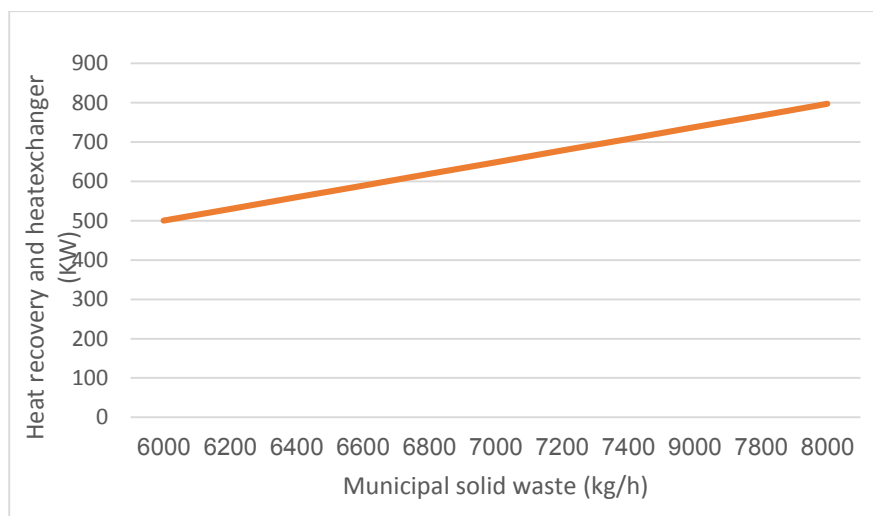
۴-۲-۴- مبدل حرارتی متناسب با نیاز نیروگاه

پس از محاسبه گرمای دود خروجی از نیروگاه مبدل حرارتی در مسیر قرار می‌گیرد، برای جایگزینی مبدل در مسیر ابتدا باید به این نکته توجه داشت که دمای گازهای خروجی از مبدل را در حد مجاز پایین آورد تا از تشکیل باران اسیدی جلوگیری شود.

جدول ۴-۶. مشخصات بخش‌هایی از مبدل حرارتی

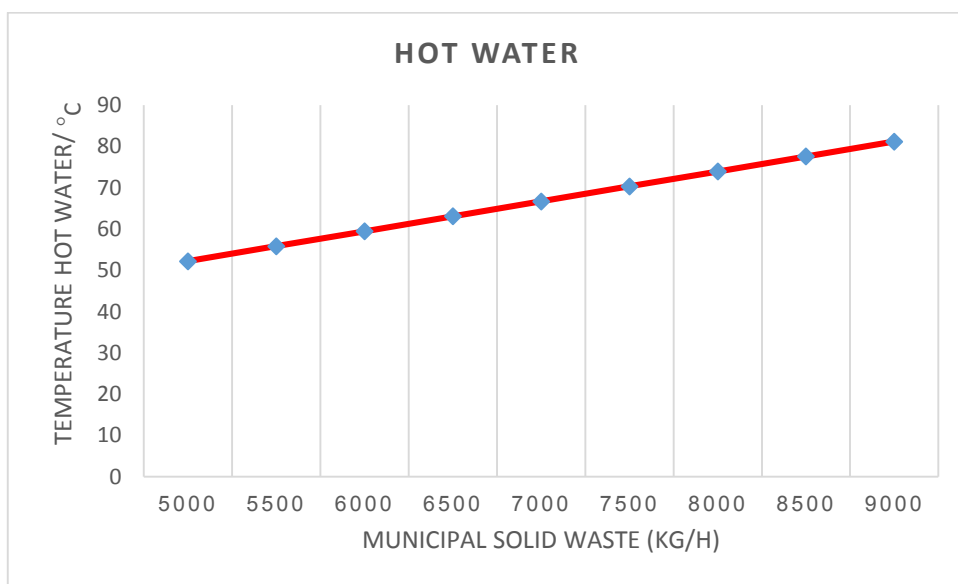
نوع مبدل	سیال کاری	دبی سیال ورودی	دمای سیال ورودی	دمای سیال خروجی	مساحت مبدل	فشار کاری
پوسته لوله	آب	5 kg/s	$35 \text{ }^\circ\text{C}$	$76 \text{ }^\circ\text{C}$	25 m^2	0.16 mPa

مقدار گرمایی که از محصولات احتراق برای استفاده در مبدل حرارتی استفاده می‌شود طبق رابطه (۳-۱۷) و (۳-۱۸) به دست می‌آید و در شکل (۴-۸) نمایش داده شده است.



شکل (۴-۸): گرمای بازیابی شده در مبدل حرارتی از محصولات احتراق با دبی ۱۸ کیلوگرم بر ثانیه با توجه به تغییر در مقدار سوخت ورودی

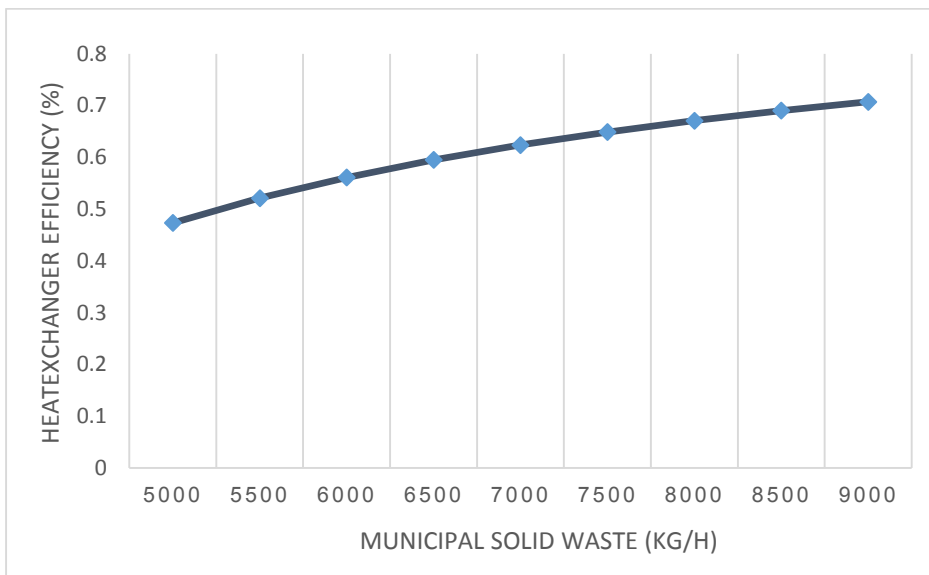
بخشی از دود تلف شده از دودکش نیروگاه وارد مبدل حرارتی می شود تا تبادل حرارتی بین سیال درون مبدل و گازهای احتراق صورت گیرد، سیال مورد استفاده در مبدل حرارتی آب می باشد. در شکل (۴-۸) مقدار گرمای دریافتی از گازهای احتراق توسط مبدل حرارتی نمایش داده شده است همچنین دبی سیال وارد شده به مبدل حرارتی ۵ کیلوگرم بر ثانیه است. با افزایش مقدار سوخت ورودی به نیروگاه دمای گازهای حاصل از احتراق افزایش یافته و سبب افزایش گرمای دریافتی در مبدل می شود که با تغییر سوخت ورودی بین ۶۰۰۰ تا ۸۰۰۰ کیلوگرم متناسب با آن گرمای دریافت شده در مبدل بین ۵۰۰ تا ۸۰۰ کیلووات تغییر می کند. هر اندازه دبی سیال ورودی به مبدل حرارتی را افزایش داد موجب کاهش دما در سیال خارج شده از مبدل می شود.



شکل (۴-۹): مقدار سوخت مصرفی و تغییرات دمای آب گرم خروجی از مبدل حرارتی

در شکل (۴-۹) مقدار گرمایی که مبدل حرارتی از محصولات احتراق دریافت می کند و سپس به صورت آب داغ خارج می شود نمایش داده شده است، متناسب با آن دمای سیال خروجی از مبدل تغییر می کند. به ازای گرمای دریافتی به میزان ۶۰۰ کیلووات در مبدل حرارتی دمای آب گرم خروجی از مبدل حرارتی به ۶۰ درجه سانتی گراد می رسد. با تغییر در سوخت ورودی به نیروگاه گرمای مبدل از ۵۰۰ تا ۸۰۰ کیلووات و

دمای آب خروجی از ۵۰ به ۷۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، اگر سطح مبدل حرارتی را افزایش داد دمای سیال خروجی از مبدل کاهش پیدا می‌کند.

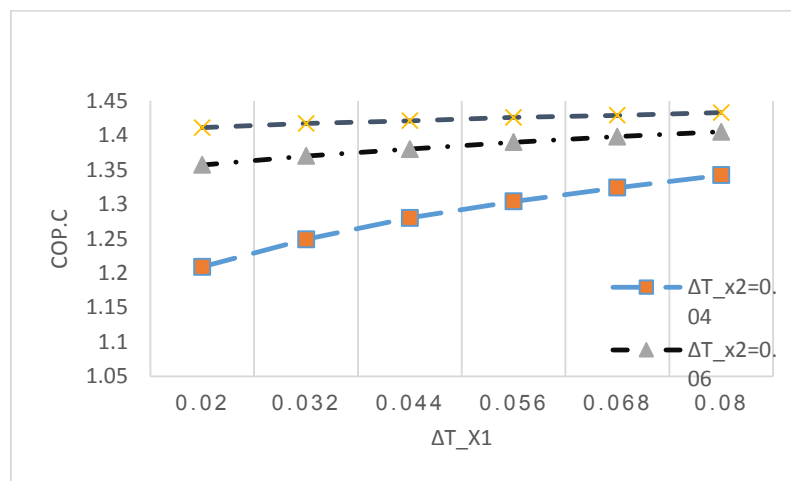


شکل (۴-۱۰): میزان سوخت مصرفی و تغییرات راندمان مبدل حرارتی به ازای دبی دود ۱۸ کیلوگرم بر ثانیه

پس از جایگذاری مبدل حرارتی با توجه به ظرفیت موردنیاز نیروگاه، راندمان مبدل حرارتی نیز، مدنظر قرار می‌گیرد. در شکل (۴-۱۰) راندمان مبدل حرارتی نمایش داده شده است به ازای مقدار سوخت ورودی از ۵۰۰۰ تا ۹۰۰۰ کیلوگرم به ازای ثابت بودن دمای خروجی از مبدل، راندمان حرارتی در مبدل از ۵۰ درصد تا ۷۰ درصد تغییر می‌کند، هر میزان سوخت ورودی به نیروگاه را افزایش داد به‌موجب آن دمای گازهای داغ حاصل از احتراق بالا می‌رود و گرمایی که مبدل حرارتی نیز دریافت می‌کند افزایش پیدا می‌کند در نتیجه راندمان حرارتی بالا می‌رود و هر مقدار راندمان مبدل افزایش پیدا کند مبدل حرارتی شرایط کاری بهتری را طی می‌کند و نیاز گرمایشی بیشتری را فراهم می‌سازد.

۴-۲-۵- چیلر جذبی دو اثره آمونیاک- آب

سیستم سرمایش ارائه شده در این تحقیق چیلر جذبی از نوع آمونیاک- آب است که سیال درون سیکل آمونیاک و مایع جاذب آب می باشد با استفاده از قوانین ترمودینامیک و با استفاده از معادلات حاکم در فصل سوم مدل سازی گردیده است. در مرحله اول روابط (۳-۲۹) تا (۳-۳۹) در نرم افزار EES نوشته شده و با قرار دادن مقدار گرمای حاصل شده از دود خروجی نیروگاه در ژنراتور ۱ و سپس ژنراتور ۲ موجب تغییر در دما، فشار، کیفیت و آنتالپی سیال درون سیکل یا همان آمونیاک شده و باعث جریان افتادن و حرکت سیال در داخل سیکل جذبی می شود پس از عبور سیال از کندانسور^{۱۹} دمای سیال به ۳۵ درجه سانتی گراد کاهش می یابد و وارد اواپراتور^{۲۰} شده و توسط پمپ وارد رکتی فایر^{۲۱} می شود، برای افزایش دمای سیال آمونیاک و به جریان افتادن درون سیکل وارد ژنراتور گردیده و سپس وارد جاذب شده تا سیال آمونیاک از آب جدا گردد. با توجه به شکل (۴-۱۱) با تغییر اختلاف کیفیت آمونیاک در ژنراتور ۱ و ژنراتور ۲ می توان مشاهده کرد که ضریب عملکرد چیلر متناسب با آن تغییر می کند.



شکل (۴-۱۱): نمودار تغییرات ضریب عملکرد چیلر متناسب با تغییرات کیفیت آمونیاک

¹⁹ Condenser

²⁰ Evaporator

²¹ Rectifier

در شکل (۴-۱۱) می‌توان مشاهده کرد که با تغییر کیفیت آمونیاک در نقطه ۱ به ازای ۰/۰۲ تا ۰/۰۸ باعث تغییر در ضریب عملکرد چیلر گردید، این در حالی است که پارامتر سوخت ورودی به نیروگاه ثابت در نظر گرفته می‌شود. کار انجام‌شده در مقالات [۳۱،۳۲] به مدل‌سازی چیلر جذبی آمونیاک دو اثره پرداخته است، با تغییر در کیفیت آمونیاک ضریب عملکردهای مختلفی به دست می‌آید و با داده‌هایی که از نتایج مدل‌سازی در طرح فعلی صورت گرفته مقایسه شده و در جدول (۴-۶) ذکر گردیده است.

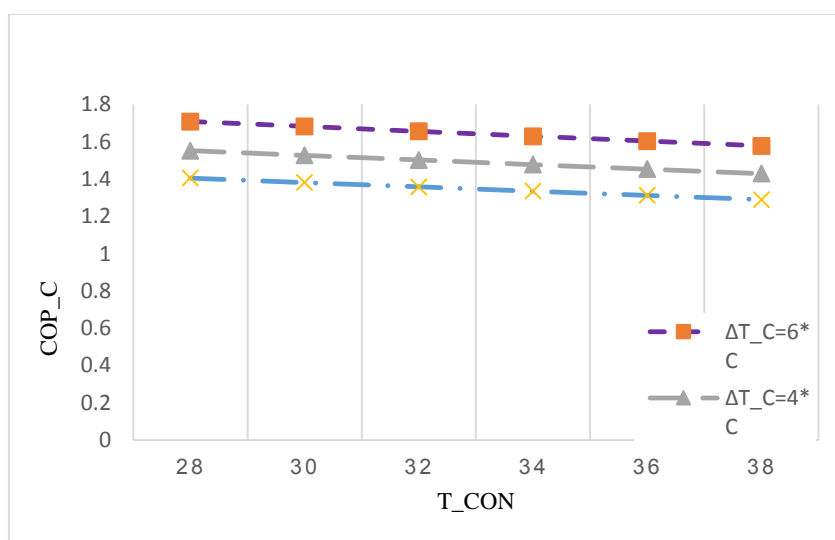
جدول ۴-۷. جزئیات مربوط به تغییرات کیفیت آمونیاک با ΔX مختلف در روش مدل‌سازی و مقالات

ΔX_2	ΔX_2	ΔX_2	ΔX_1		ΔX_2	ΔX_2	ΔX_2	ΔX_1	
0.08	0.06	0.04			0.08	0.06	0.04		
COP_c	COP_c	COP_c			COP_c	COP_c	COP_c		
۱/۴۰۰	۱/۳۳۸۳	۱/۳۵	۰/۰۴	نتایج مقالات [۳۱،۳۲]	۱/۴۲۰	۱/۳۷	۱/۲۸	۰/۰۴	نتایج مدل‌سازی
۱/۴۱۸	۱/۳۸۸	۱/۳۷	۰/۰۵		۱/۴۲۵	۱/۳۸	۱/۳۰	۰/۰۵	
۱/۴۲۵	۱/۴۰۰	۱/۳۷۶	۰/۰۶		۱/۴۳۰	۱/۳۹	۱/۳۲	۰/۰۶	
۱/۴۳۸	۱/۴۱۷	۱/۳۸۲	۰/۰۸		۱/۴۴۰	۱/۴۰	۱/۳۴	۰/۰۸	

همان‌طور که در جدول (۴-۶) مشاهده می‌شود با تغییر کیفیت آمونیاک در نقطه ΔX_1 و ΔX_2 و ایجاد اختلاف دما در آمونیاک موجب افزایش سرعت چرخش سیال آمونیاک در داخل سیکل گردیده، در نتیجه ضریب عملکرد چیلر افزایش می‌یابد. برای طرح فعلی کیفیت از ۰/۰۴ تا ۰/۰۸ موجب تغییر در ضریب عملکرد چیلر جذبی از ۱/۲ تا ۱/۴ می‌شود که در مورد بررسی شده در مقاله این ضریب عملکرد به‌ازای همان تغییر در کیفیت از ۱/۳۵ تا ۱/۴۳ برای چیلر آمونیاک-آب متغیر می‌باشد. با مقایسه ضریب عملکرد چیلر با کیفیت مختلف می‌توان مشاهده کرد که هر چه کیفیت سیال درون سیکل چیلر جذبی را افزایش داد موجب می‌شود، ضریب عملکرد افزایش یابد به گونه‌ای که برای مقادیر اختلاف کیفیت ۰/۰۴ و ۰/۰۶ و ۰/۰۸ این افزایش نشان داده شده است.

همچنین با تغییر دمای آمونیاک در کندانسور نیز می‌توان تغییرات، در ضریب عملکرد چیلر را مشاهده کرد که هر چه میزان دمای کندانسور را کاهش داد موجب افزایش اختلاف دما در سیکل شده و طبق قوانین ترمودینامیک هر چه اختلاف دمای سیکل را افزایش داد راندمان سیکل نیز افزایش پیدا می‌کند.

در شکل (۴-۱۲) با تغییر دمای کندانسور و ایجاد اختلاف دما در سیکل می‌توان تغییرات ضریب عملکرد چیلر را مشاهده کرد.



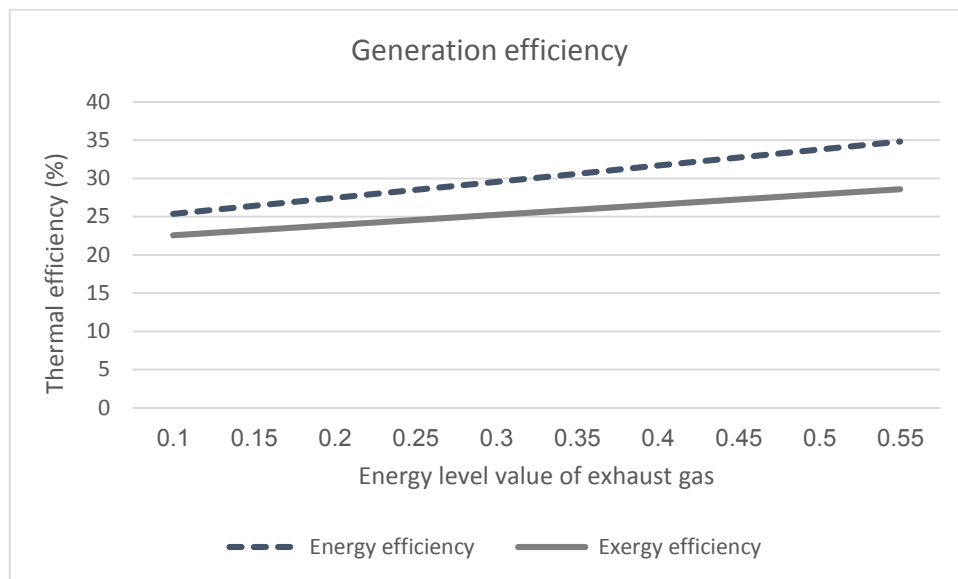
شکل (۴-۱۲): تغییرات دمای اواپراتور و تغییر در ضریب عملکرد چیلر

در شکل (۴-۱۲) تغییرات دمای کندانسور و ضریب عملکرد نمایش داده می‌شود با ایجاد اختلاف دما در اواپراتور بین ۲ و ۴ و ۶ درجه سانتی‌گراد و با تغییر دمای کندانسور، ضریب عملکرد نیز تغییر می‌کند. در حالت اول دمای اواپراتور ۲ درجه سانتی‌گراد بوده و دمای کندانسور نیز از ۲۸ تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند و مشاهده می‌شود که ضریب عملکرد کاهش می‌یابد و این برای حالت‌های دیگر نیز به همین ترتیب می‌باشد.

پس از طراحی مبدل حرارتی و چیلر جذبی متناسب با نیاز نیروگاه، گازهای خروجی بخش زیادی از انرژی خود را از دست داده است و به محیط وارد می‌شود. طراحی در بخش مبدل و چیلر به گونه‌ای انجام گرفته است که جنبه‌های زیست‌محیطی از جمله تشکیل قطرات آب و ترکیب آن با سایر گازهای خروجی و ایجاد باران اسیدی در نظر قرار گیرد گازهای داغ حاصل از احتراق با دمای ۲۱۷ درجه سانتی‌گراد برای استفاده در چیلر جذبی آمونیاک-آب دو اثره قرار می‌گیرد. به این ترتیب پس از تأمین نیاز حرارتی سیستم (CCHP) ، درجه حرارت گازهای حاصل به ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و توسط دودکش از نیروگاه خارج می‌شود.

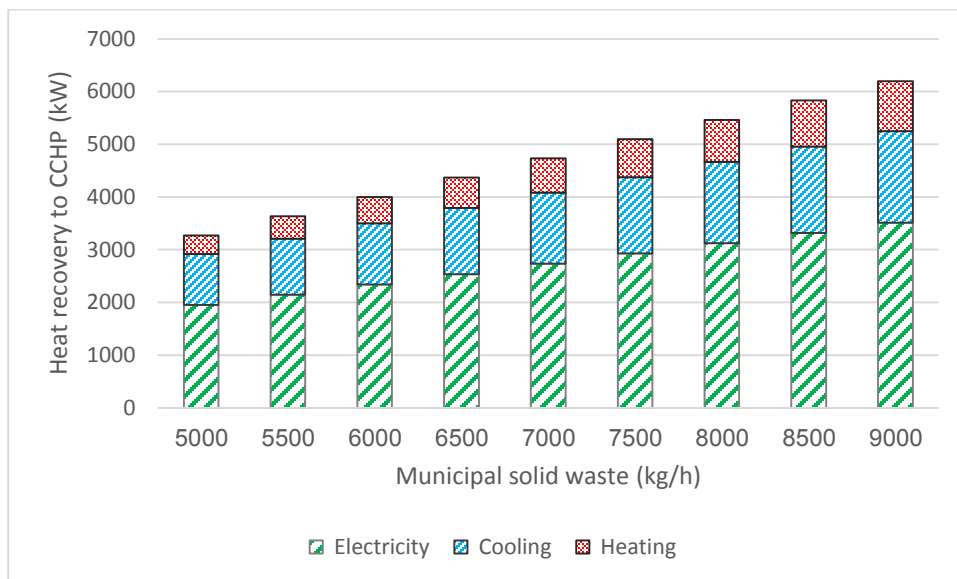
۴-۳- راندمان سیستم تولید هم‌زمان

استفاده هر چه بیشتر از گرمای آزاد شده در حین فرایند سوختن زباله، باعث افزایش بازده انرژی و کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش هزینه‌های مربوط به تأمین انرژی اولیه می‌شود. از گرمای اتلافی بازیابی شده از این سیستم‌ها در بخش قبلی در مبدل حرارتی و چیلر جذبی برای مصارف گرمایشی، سرمایشی مورد استفاده قرار گرفت تولید هم‌زمان برق، حرارت و سرما از سوختن زباله‌ها علاوه بر افزایش بازده و کاهش مصرف سوخت زباله، باعث کاهش انتشار گازهای آلاینده نیز می‌شود. در سیستم CCHP، از انرژی گرمایی تولیدی به‌عنوان منبع انرژی در فرایند تولید هم‌زمان توان، حرارت و سرما استفاده می‌شود. یکی از عواملی که منجر به افزایش و کاهش در راندمان سیستم هم‌زمان می‌گردد ایجاد اختلاف دما در ورودی و خروجی از سیستم CCHP می‌باشد.



شکل (۴-۱۳): مقایسه اختلاف بین راندمان انرژی و انرژی سیکل تولید توان

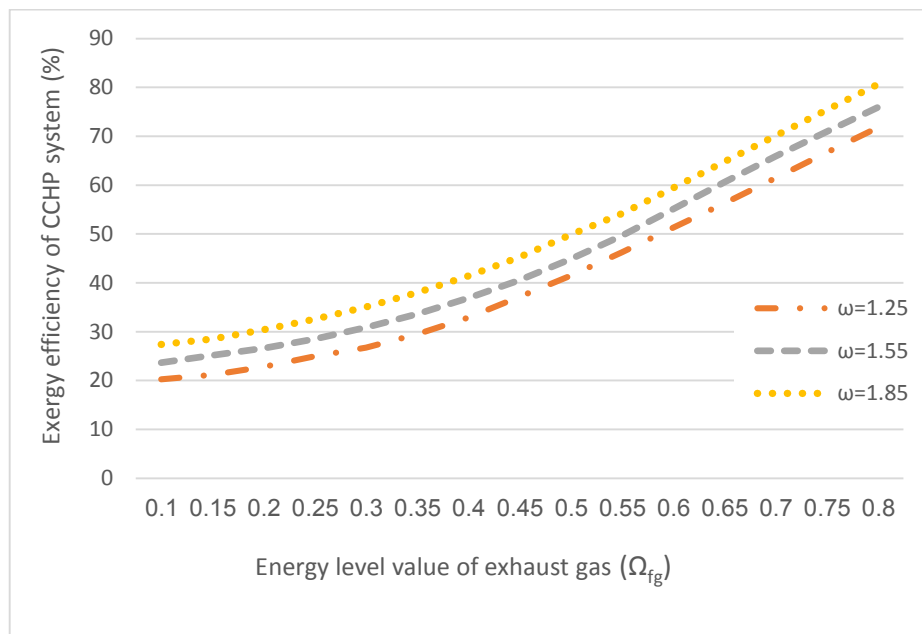
قبل از تبدیل شدن نیروگاه به سیستم تولید هم‌زمان یک مقایسه‌ای از انرژی و انرژی واحد تولید توان، با ایجاد اختلاف دما بین محفظه احتراق و محیط پیرامون و ثابت بودن سوخت و هوای ورودی به نیروگاه صورت گرفته است. شکل (۴-۱۳) اختلاف بین راندمان انرژی و انرژی سیکل تولید توان را نمایش می‌دهد، که محور افقی مقدار سطح انرژی از گازهای خروجی از محفظه احتراق و محور عمودی نیز راندمان تولید است. با افزایش نسبت ۰/۱ تا ۰/۵۵ از Ω_{fg} راندمان انرژی و انرژی به علت افزایش اختلاف دمای گازهای محفظه احتراق با محیط پیرامون به صورت صعودی تغییر کرده و توان تولیدی نیز افزایش می‌یابد.



شکل (۴-۱۴): گرمای دریافتی حاصل از احتراق زباله‌ها در سه بخش تولید توان، سرمایش و گرمایش

در شکل (۴-۱۴) میزان گرما برای تولید توان، سرمایش و گرمایش سیستم تولید هم‌زمان نمایش داده شده است که محور افقی میزان سوخت مصرف شده برحسب (kg/h) و محور عمودی گرمای دریافتی در سیستم CCHP برحسب (kW) می‌باشد در مرحله اول برای نسبت ۵۰۰۰ کیلوگرم سوخت الکتریسیته تولیدی در حدود (kW) ۲۰۰۰ و سرمایش ایجاد شده (kW) ۹۰۰ و گرمایش نیز (kW) ۱۵۰ است و همچنین برای نسبت سوخت بالاتر افزایش گرمای دریافت شده در سه بخش مشاهده می‌شود.

پس از اینکه سیکل CCHP کامل گردید و گرمای دریافت شده در هر سه بخش تولید قدرت، سرمایش و گرمایش محاسبه شد، در نتیجه راندمان نیروگاه CCHP برای درک بهتر از مزایای نیروگاه سیکل ترکیبی مورد بررسی قرار می‌گیرد که در شکل (۴-۱۵) نمایش داده شده است.



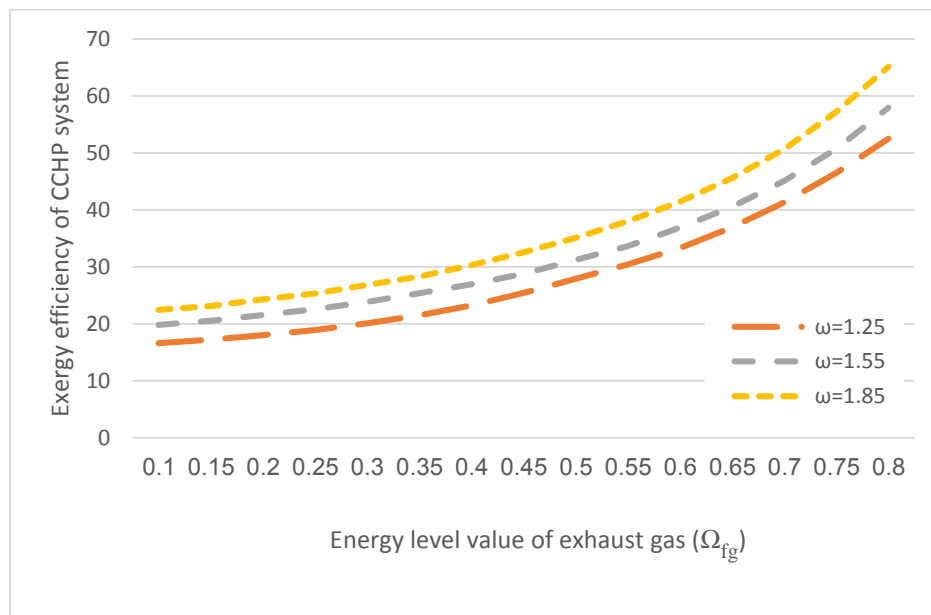
شکل (۴-۱۵): راندمان تولید هم‌زمان با دبی دود خروجی ۱۸ کیلوگرم بر ثانیه با تغییر در ω و Ω_{fg}

همان‌طور که در شکل نمایش داده شده است محور افقی مقدار انرژی از گازهای حاصل از احتراق و محور عمودی راندمان انرژی سیستم CCHP را نشان می‌دهد، افزایش در مقدار Ω_{fg} باعث ایجاد اختلاف بین دمای محیط با گازهای ورودی به سیستم تولید هم‌زمان گردیده که راندمان انرژی افزایش پیدا می‌کند. همچنین با ایجاد اختلاف دمای ورودی و خروجی به سیستم CCHP برای $\omega = 1.25$ به ازای $\Omega_{fg} = 0.8$ راندمان انرژی ۷۰٪ می‌باشد که با افزایش این اختلاف دما راندمان انرژی سیستم نیز حالت صعودی پیدا می‌کند که برای سه حالت ω را تغییر داده و نتایج قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۴-۸. مقایسه راندمان انرژی سیستم تولید هم‌زمان در طرح فعلی و نمونه مشابه مقالات

ω	ω	ω	Ω_{fg}		ω	ω	ω	Ω_{fg}	
1.85	1.55	1.25			1.85	1.55	1.25		
۳۹/۸۰	۳۴/۵	۲۸/۵	۰/۳۰	نتایج مقایسه [۳۳،۴۴]	۳۵/۰۶	۳۰/۸۸	۲۷/۲۵	۰/۳۰	نتایج مدل‌سازی
۵۰/۵	۴۶/۵	۳۷/۱	۰/۴۰		۴۱/۴۳	۳۶/۸۶	۳۳/۳	۰/۴۰	
۵۸/۵	۵۴/۵	۴۶/۵	۰/۵۰		۴۹/۸۴	۴۴/۸۵	۴۱/۴۵	۰/۵۰	
۷۴/۵	۷۰/۱	۶۴/۴۱	۰/۶۰		۶۰/۴۱	۵۵/۱۲	۵۱/۲۸	۰/۶۰	

از نتایج استخراج‌شده در جدول (۷-۴) راندمان انرژی سیستم تولید هم‌زمان نیروگاه فعلی با نتایج مقالات [۳۳،۴۴] مقایسه گردیده شده است. مورد مشابه که در مقالات ذکر شده یک سیستم CCHP با سوخت زباله که پس از پیرو لیز زباله‌ها و استحصال گازهایی از جمله CO , H_2 , CH_4 وارد محفظه احتراق شده و پس از تولید توان گازهای خروجی وارد سیستم تولید هم‌زمان گردیده و سیکل CCHP کامل می‌شود که در جدول (۷-۴) نتایج حاصل از سیکل تولید هم‌زمان نیروگاه فعلی با نتایج مقالات مقایسه گردیده است، اختلاف راندمان بین دو سیستم به دلیل متفاوت بودن چیدمان و آرایش سیکل تولید هم‌زمان می‌باشد. در طرح فعلی گازهای خروجی مستقیم وارد سیستم CCHP گردیده اما در طرح ارائه‌شده در مقالات گاز خروجی وارد بویلر شده و آب گرم، نیاز سیستم را تأمین می‌کند علاوه بر آن دمای گازهای خروجی نیز متفاوت از یکدیگر می‌باشد.



شکل (۴-۱۶): راندمان اگزرژی سیکل تولید هم‌زمان با دبی دود خروجی ۱۸ کیلوگرم بر ثانیه با تغییر در ω و Ω_{fg}

با مشاهده شکل (۴-۱۶) و با دقت در خطوط ترسیم‌شده روی شکل می‌توان پی برد که با افزایش در نسبت Ω_{fg} به مقدار ۰/۸ به ازای $\omega = 1.25$ ، $\omega = 1.55$ ، و $\omega = 1.85$ راندمان اگزرژی به صورت صعودی تغییر می‌یابد. در شکل بالا ω در سه حالت تغییر می‌یابد که نسبت به آن می‌توان رفتار نمودار راندمان اگزرژی را مشاهده کرد.

افزایش راندمان اگزرژی با ایجاد اختلاف دمای ورودی به سیستم CCHP با محیط پیرامون حاصل می‌گردد. افزایش در نسبت Ω_{fg} باعث ایجاد اختلاف دمای محیط با سیستم CCHP شده و افزایش در نسبت ω موجب افزایش در اختلاف دمای ورودی و خروجی از سیستم CCHP می‌شود، در نتیجه طبق قانون ترمودینامیک افزایش راندمان تابعی از دمای منبع سرد (محیط پیرامون) و منبع گرم (دمای ورودی CCHP) است و سبب افزایش راندمان اگزرژی سیستم می‌شود.

پس از تبدیل شدن نیروگاه به یک سیستم تولید هم‌زمان و بررسی راندمان نیروگاه سیکل ترکیبی مهم‌ترین مسئله‌ای که حائز اهمیت است آیا اجرای این طرح با توجه به هزینه‌های تجهیزات استفاده‌شده در طراحی سیستم و نوع آرایش و چیدمان سیکل از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه می‌باشد که در نتایج حاصل از تحلیل اقتصادی بیان شده است.

۴-۴- نتایج اقتصادی

در ارزیابی اقتصادی یک طرح در واقع برای تصمیم‌گیری در مورد میزان مطلوبیت، فرایند وزن دهی به مزایا و معایب صورت می‌پذیرد. این شیوه ارزیابی به مقایسه هزینه‌ها و منافع گزینه‌های متفاوت در تصمیم‌گیری می‌پردازد، به همین دلیل این شیوه، ابزاری کارآمد برای کمک به انتخاب خردمندان از میان پروژه‌های موجود و اجرای بهینه‌ی آن‌هاست، دلیل اهمیت ارزیابی اقتصادی آن است که این نوع ارزیابی اساساً ابزاری جهت تعیین وضعیت تخصیص مناسب منابع در موقعیت تصمیم‌گیری و کاهش منابع است.

برای تحلیل اقتصادی طرح موردنظر نیاز به کاتالوگ هزینه‌های تجهیزات داریم که در آن قیمت اولیه تجهیزات و همچنین هزینه‌های نصب و راه‌اندازی علاوه بر آن هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات ذکر شده است. با قرار دادن هزینه‌ها در روابط (۳-۴۰) تا (۳-۴۷) بخش اقتصادی موردبررسی قرار می‌گیرد. مهم‌ترین پارامترهایی که نشان‌دهنده توجیه اقتصادی طرح می‌باشد، سود خالص سالیانه حاصل از گرمایش و سرمایش به ازای مقدار هزینه‌های سرمایه‌گذاری و همچنین هزینه‌های جاری در طول سال و کوتاه بودن دوره بازگشت سرمایه است.

۴-۴-۱- هزینه‌های سرمایه‌گذاری

هزینه سرمایه یک شرکت، نرخ متوسط بازده موردنظر سرمایه‌گذارانی است که در اوراق بهادار شرکت سرمایه‌گذاری کرده‌اند. به عبارت دیگر، میانگین موزون هزینه تأمین مالی سرمایه‌گذاری‌های شرکت را هزینه سرمایه می‌نامند. منابع تأمین مالی سرمایه‌گذاری‌های شرکت، شامل بدهی‌های بلندمدت، سهام عادی و ممتاز می‌باشد. هزینه سرمایه به عنوان یک عامل اساسی در ارزیابی طرح‌های سرمایه‌گذاری شرکت می‌باشد. بدین معنی که، هنگام محاسبه ارزش فعلی طرح‌های سرمایه‌گذاری از نرخ هزینه سرمایه به عنوان نرخ تنزیل جریان‌ات نقدی طرح استفاده می‌شود.

هزینه‌های سرمایه‌گذاری در این طرح شامل دو بخش هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثانویه می‌باشد. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه شامل آن دسته از هزینه‌هایی است که به صورت ثابت و با پرداخت یک‌مرتب‌ه این هزینه‌ها به اتمام می‌رسد، مانند هزینه خرید چیلر و تجهیزات مربوط به آن اعم از پمپ‌ها، شیرها و... و هزینه خرید مبدل حرارتی و تجهیزات جانبی آن و همچنین هزینه‌های مربوط به نصب و راه‌اندازی سیستم که مجموع این هزینه‌ها هزینه اولیه را در برمی‌گیرد. هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثانویه نیز شامل هزینه‌هایی است که پس از خرید و نصب و راه‌اندازی سیستم اعمال می‌گردد، مانند هزینه ناشی از مصرف سوخت، هزینه نیروی کار انسانی، هزینه نگهداری و تعمیرات و سایر هزینه مربوط به آن، که این هزینه‌ها با توجه به سال جاری متغیر می‌باشند. و در جدول (۴-۷) و (۴-۸) ذکر شده است.

جدول ۴-۹. هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای چیلر جذبی [۴۵].

پارامتر طراحی	سیستم						
	تک اثره			دو اثره			
	آب گرم		بخار(فشار پایین)	بخار(فشاربالا)		اگزوز	
ظرفیت نامی سرمایش (تن)	۵۰	۴۴۰	۱۳۲۰	۳۳۰	۱۳۲۰	۳۳۰	۱۰۰۰
هزینه تجهیزات (دلاربرتن)	۲۰۱۰	۹۳۰	۸۲۰	۱۱۹۰	۱۰۰۰	۱۳۳۰	۹۳۰
هزینه ساخت و راه‌اندازی (دلاربرتن)	۳۹۹۰	۱۳۷۰	۹۸۰	۱۸۱۰	۱۲۰۰	۱۹۷۰	۱۰۷۰
هزینه نصب (دلاربرتن)	۶۰۰۰	۲۳۰۰	۱۸۰۰	۳۰۰۰	۲۲۰۰	۳۳۰۰	۲۰۰۰
هزینه تعمیر و نگهداری (سنت بر دلار-ساعت)	۰/۶	۰/۲	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۰/۳	۰/۱

جدول ۴-۱۰. درصد هزینه‌های سرمایه‌گذاری شده برای مبدل حرارتی [۴۶].

درصد	پارامتر
۳۵/۴۲	۱- هزینه خرید
۵/۴۸	۲- هزینه نصب
۵۰/۵۵	۳- هزینه نیروی کار
۳/۶۱	۴- هزینه توان
۱/۱۷	۵- هزینه سرویس و نگهداری
۳/۷۶	۶- هزینه‌های بهبود سازی تعمیر و نگهداری
۸/۸	۷- سایر هزینه‌ها
۱۰۰	کل هزینه‌ها

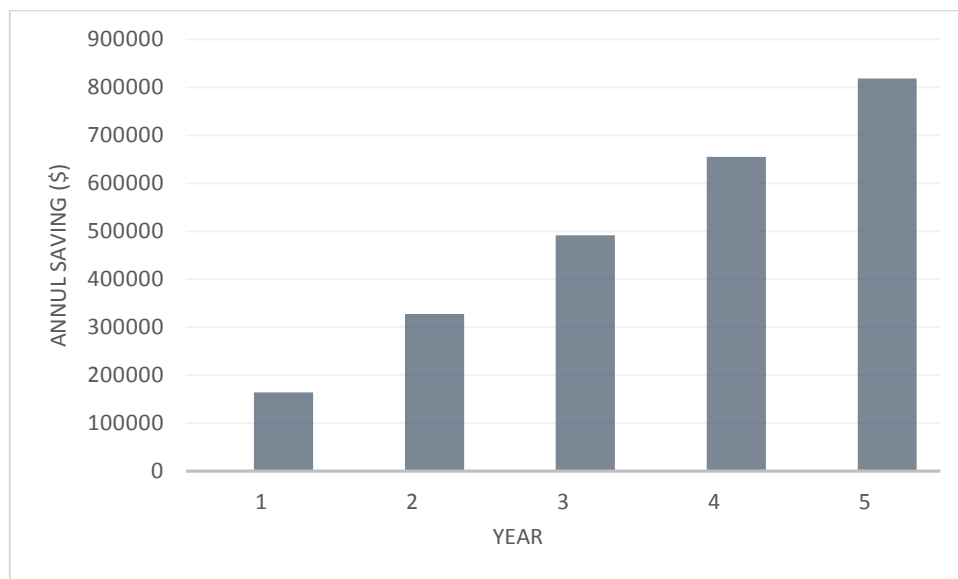
۴-۴-۲ سود خالص

سود خالص به باقیمانده مجموع درآمدها پس از کسر هزینه‌های عملیاتی، مالی و مالیات گفته می‌شود.

سود خالص می‌تواند مثبت یا منفی باشد که در صورت منفی بودن به آن زیان خالص گفته می‌شود.

همان‌گونه که در مورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری ذکر گردید پس از نصب و راه‌اندازی سیستم محصولاتی که از سیستم خارج می‌شود علاوه بر توان الکتریکی سرمایش و گرمایش است. هرکدام می‌تواند برای انواع مختلف مصرف مورد استفاده قرار گیرد، به‌عنوان مثال از سرمایش می‌توان برای تأمین نیاز سرمایشی یک ساختمان یا یک سردخانه و از گرمایش نیز در بخش گرمایشی ساختمان استفاده کرد.

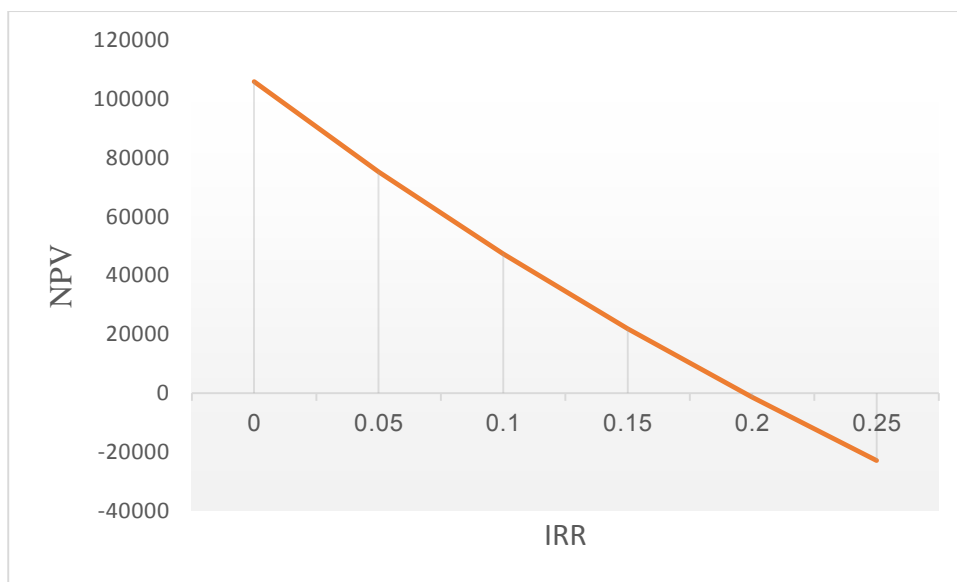
برای محاسبه مقدار سود خالص سالانه باید هزینه خرید هر کیلووات ساعت سرمایش و گرمایش از نیروگاه را به دست آورد، سپس مقدار هزینه‌هایی که در طول سال جاری یا همان هزینه‌های متغیر را از سود سالانه کم کرد تا میزان سود خالص سالانه برای سیستم به دست آید.



شکل (۴-۱۷): سود خالص سالانه

ارزش فعلی خالص^{۲۲} یا به اختصار NPV تفاوت بین ارزش فعلی جریان نقدی ورودی و ارزش فعلی جریان نقدی خروجی است NPV برای بودجه بندی سرمایه مورد استفاده قرار می گیرد تا احتمال سرمایه گذاری محاسبه شده یا پروژه را تحلیل کند، یکی از اصلی ترین کاربردهای ارزش خالص فعلی، مطالعات اقتصاد مهندسی و ارزیابی توجیه فنی و اقتصادی پروژه ها است.

با توجه به شکل (۴-۱۸) می توان نمودار ارزش حال خالص و نرخ بازگشت داخلی^{۲۳} یا IRR را مشاهده کرد.



شکل (۴-۱۸): نرخ بازگشت داخلی و جریان نقدینگی

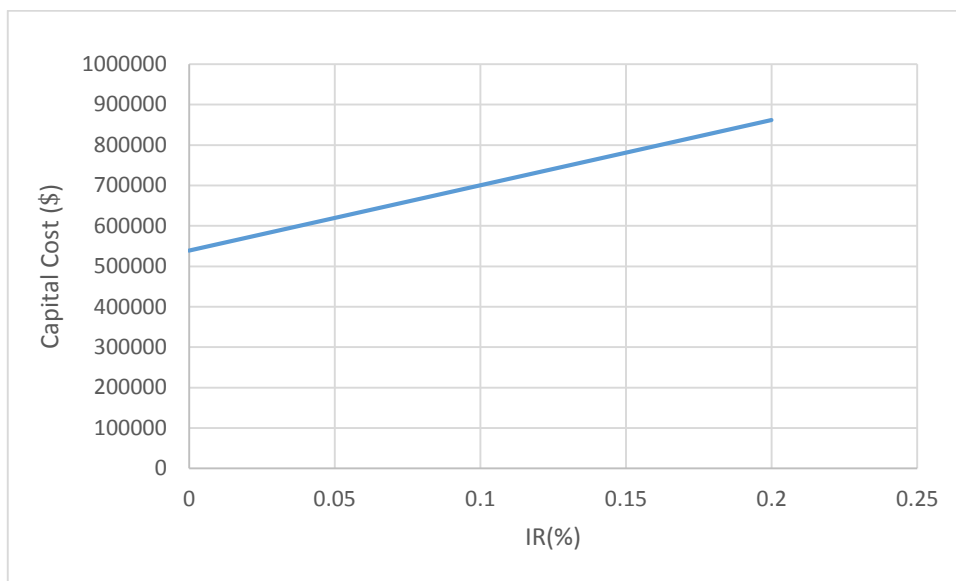
۴-۳-۴- نرخ بهره

عبارت است از مقدار بهره ای که بابت وام دریافت شده از بانک برای خرید تجهیزات سیستم پرداخته می شود. در شرایط متعارف بازار، به منظور جبران فرصت های سرمایه گذاری وام دهنده، ممکن است مبلغی به عنوان حداقل سود مورد انتظار وام دهنده به این نرخ اضافه گردد. در طرح فعلی با تغییر در مقدار نرخ بهره

²² Net Present Value

²³ Internal Rate of Return

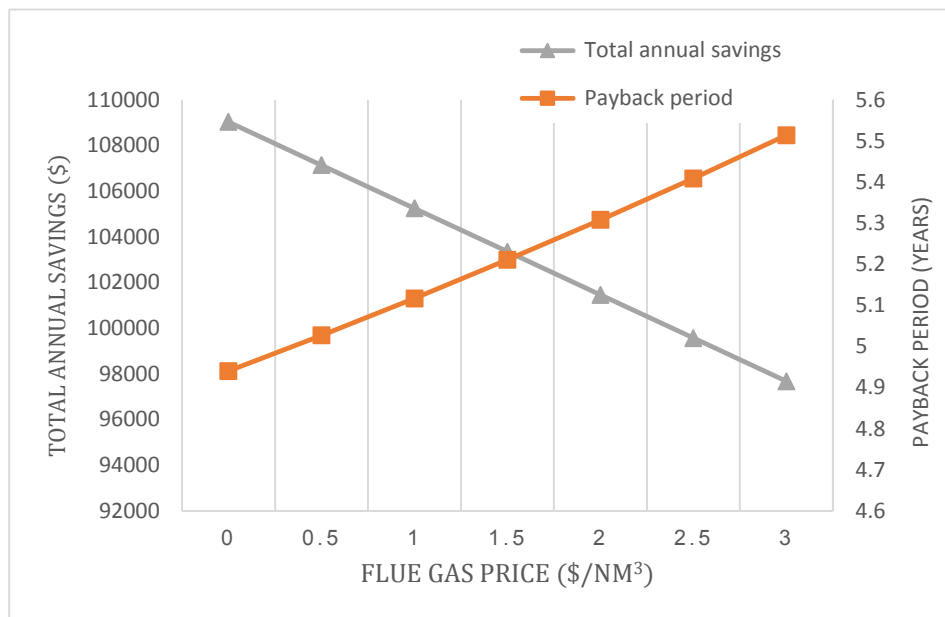
افزایش بهای پرداختی بابت هزینه‌های سرمایه‌گذاری را می‌توان مشاهده کرد. در شکل (۴-۱۹) نرخ بهره و هزینه بازپرداخت نمایش داده شده است.



شکل (۴-۱۹): نرخ بهره و هزینه سرمایه‌گذاری.

۴-۴-۴ دوره بازگشت سرمایه

برای محاسبه دوره بازگشت سرمایه می‌بایست هزینه‌های اولیه را تقسیم بر جریان نقدینگی برای مدت یک سال کرد سپس مقدار زمانی که طول می‌کشد سرمایه‌های اولیه جبران شود مشخص می‌شود. که این بستگی به ارزش محصول و ظرفیت سیستم طراحی شده و همچنین هزینه‌های اولیه دارد که هراندازه هزینه‌های اولیه و سوخت افزایش پیدا کند دوره بازگشت سرمایه نیز افزایش می‌یابد. در شکل (۴-۲۰) مقدار سود خالص و هزینه‌های سالانه مانند هزینه پرداختی برای خرید دود خروجی از نیروگاه و دوره بازگشت سرمایه نشان داده شده است.



شکل (۴-۲۰): جریان نقدینگی و هزینه‌ها و دوره بازگشت سرمایه.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار هزینه‌های پرداختی بابت خرید دود خروجی مقدار سود خالص سالانه کاهش می‌یابد و زمانی که سود خالص و هزینه‌های پرداختی در یک نقطه به هم می‌رسند دوره بازگشت سرمایه مشخص می‌شود. هر چه دوره بازگشت سرمایه در این طرح کاهش یابد، ارزش طرح فعلی افزایش بیشتری می‌یابد. طرح‌های با دوره بازگشت سرمایه کوتاه‌تر جذابیت بیشتری نسبت به طرح‌هایی با دوره بازگشت بلندتر دارند. این روش بخصوص در هنگام مقایسه دو یا چند طرح با یکدیگر کاربرد دارد.

در این روش ارزش زمانی پول در نظر گرفته نشده و به این منظور، گونه اصلاح شده‌ای از این روش بکار می‌رود که در آن کل هزینه‌ها و درآمدها به مانند روش ارزش خالص فعلی تنزیل می‌گردند.

در طرح حاضر دوره بازگشت سرمایه در حدود ۵/۲ سال بوده و عمر هرکدام از تجهیزات سیستم ۱۵ سال برآورد شده است. سیستم‌های تولید هم‌زمان برق، حرارت و سرما به علت نرخ بازگشت داخلی بالا، بازگشت سرمایه کوتاه مدت را دارا می‌باشند.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به خصوصیت CCHP در تامین هم‌زمان برق، سرما و حرارت، طراحی سیستم مستلزم شناخت مناسبی از مجموعه مورد نظر بوده و در آن بایستی تغییرات دیماندر برقی و حرارتی یک مجموعه تعیین شده و ظرفیت سیستم بر اساس آن طراحی شود. افزایش سایز سیستم منجر به کارکرد آن در ظرفیت پایین‌تر از ظرفیت نامی می‌شود که سبب طولانی‌تر شدن زمان بازگشت سرمایه می‌گردد. همچنین با توجه به اینکه با افزایش سایز سیستم هزینه خرید آن بصورت متناسب با ظرفیت افزایش نیافته و کاهش می‌یابد، کوچک شدن سایز آن نیز باعث کاهش صرفه اقتصادی سیستم می‌گردد. از این رو طراحی نوع سیستم CCHP نقش ویژه‌ای در تعیین صرفه اقتصادی طرح دارد.

۵-۱- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به بررسی و تحلیل فنی، اقتصادی و زیست محیطی استفاده از سیستم‌های تولید هم‌زمان برق، حرارت و سرما با استفاده از محرک اولیه نیروگاه زباله‌سوز پرداخته شد. در ابتدا میزان ترکیبات زباله‌های جامد شهری تهران شناخته شد که در این میان مواد قابل تبدیل الی، کاغذ و مقوا و پلاستیک بیشترین ترکیبات زباله را شامل شد و از نظر درصد عناصر موجود در زباله‌ها کربن، اکسیژن، هیدروژن و رطوبت بیشترین حجم زباله‌ها را در بر می‌گیرد برای مصرف در نیروگاه زباله‌سوز هر مقدار درصد کربن موجود در زباله‌ها بالاتر باشد راندمان کاری نیروگاه افزایش بیشتری پیدا می‌کند سپس ارزش حرارتی زباله محاسبه تا با استفاده از آن فرایند احتراق و گرمای حاصل برای استفاده در بخش تولید توان صورت گیرد. ارزش حرارتی زباله‌ها به میزان رطوبت موجود در زباله‌ها بستگی دارد، هرچه رطوبت بیشتری در ترکیبات زباله وجود داشته باشد. ارزش حرارتی زباله‌ها کاهش بیشتری را به همراه دارد. برای زباله‌های نیروگاه فعلی ارزش حرارتی $9800 \frac{kJ}{kg}$ محاسبه شد. در بحث تولید گرما در محفظه احتراق تغییرات دمای حاصل از محصولات احتراق به نسبت سوخت ورودی به محفظه بستگی دارد که هر میزان افزایش در نسبت سوخت

صورت گیرد، متناسب با آن تغییر در گرمای حاصل از احتراق ایجاد می‌شود در فرایند واکنش احتراق کربن نقش به‌سزایی را ایفا می‌کند.

با کمک اطلاعاتی که از نیروگاه در بخش تحلیل زیست محیطی تحت اختیار قرار گرفت، مهم‌ترین پارامتری که نقطه امنیتی نیروگاه را از نظر انتشار آلاینده‌ها مورد تهدید قرار می‌دهد درصد انتشار دی‌اکسید و فلوران از نیروگاه می‌باشد که بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکروگرم بر تن بوده در حالی که استاندارد انتشار ۴۵۰ میکروگرم بر تن می‌باشد و انحراف از حد استاندارد به نوع ترکیب زباله و فیلترهای تصفیه منجر می‌شود.

همچنین نیروگاه زباله‌سوز عامل انتشار بیش از ۲۰ نوع مختلف آلاینده می‌باشد که مقدار انتشار به دلیل ترکیبات گوناگون زباله‌ها می‌باشد. مقدار دبی گازهای خروجی نیروگاه ۱۸ کیلوگرم بر ثانیه با دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد است، و برای تامین نیاز گرمای مبدل حرارتی و چیلر جذبی مناسب می‌باشد. برای هر ساعت کارکرد نیروگاه مقدار گرمایی که از مبدل حرارتی برای تامین نیاز گرمایشی محاسبه گردید ۸۴۸ کیلووات است. این مقدار گرما می‌تواند آب گرم مصرفی با دمای ۷۶ درجه سانتی‌گراد و دبی ۵ کیلوگرم بر ثانیه جهت نیاز آب گرم فراهم سازد.

در بخش تولید سرمایش به دلیل این‌که گازهای خروجی بخشی از انرژی خود را در مبدل حرارتی از دست داده‌اند دمای محصولات احتراق کاهش یافته، که استفاده از چیلر جذبی آمونیاک-آب دو اثره مناسب این شرایط می‌باشد. با محاسبات صورت گرفته در چیلر جذبی مقدار سرمایشی حاصل شده، برابر با ۱۶۴۰ کیلووات ساعت می‌باشد، که نیازهای سرمایشی را تامین می‌سازد. گازهای خروجی نیروگاه پس از تامین نیاز حرارتی در مبدل و چیلر جذبی، در نهایت با دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد سیستم را ترک می‌کند و پس از حذف برخی آلاینده‌ها از دودکش نیروگاه خارج می‌شود.

راندمان تولید در سیکل هم‌زمان برای نیروگاه زباله‌سوز برابر با ۷۰ درصد محاسبه گردید. در نتیجه می‌توان گفت که گازهای خروجی از نیروگاه زباله‌سوز کهریزک می‌تواند پتانسیل استفاده در سیستم تولید هم‌زمان را دارا باشد.

نتایج حاصل از تبدیل نیروگاه زباله‌سوز به یک سیستم تولید هم‌زمان برق، حرارت و سرما باعث شد که مزایای زیر را به همراه داشته باشد:

- هزینه‌های سرمایه‌گذاری در مولدهای تولید پراکنده (نیروگاه زباله‌سوز) نسبت به روش‌های متداول کاهش می‌یابد.

- هزینه‌های تولید در فناوری‌های تولید پراکنده نسبت به روش‌های متداول کاهش می‌یابد.

- فناوری‌های تولید پراکنده می‌تواند در کنار نیروگاه‌های متمرکز مانند نیروگاه زباله‌سوز بسیار مفید باشد.

- راندمان تولید انرژی در این روش نسبت به روش‌های متداول بسیار بیشتر است.

- این فناوری‌ها برای تولید کنندگان، مصرف کنندگان، شرکت توزیع برق و جامعه مزایای بسیاری دارد.

اما همانطور که در بخش اقتصادی بیان گردید دوره بازگشت سرمایه این طرح ۵/۲ سال می‌باشد در حالی که در پروژه‌هایی که در بخش تولید هم‌زمان با استفاده از محرک اولیه توربین گاز انجام گرفته دوره بازگشت سرمایه بین ۲ تا ۳ سال بوده است. در ایران به دلیل تغییرات و نوسانات ارزی اجرای این طرح دوره بازگشت سرمایه را افزایش می‌دهد، اما می‌توان به این نتیجه دست یافت در یک نیروگاه زباله‌سوز با در نظر گرفتن جنبه‌های زیست‌محیطی نیروگاه می‌توان از گازهای خروجی برای سرمایش و گرمایش بخش‌هایی از یک ساختمان یا خود نیروگاه، مورد استفاده قرار گیرد.

۵-۲- پیشنهادات

- دمای خروجی از توربین بخار نیروگاه ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد برای کاهش این دما به منظور تکمیل فرآیند سیکل از کندانسور استفاده می‌شود اما می‌توان این دما را برای استفاده در سیستم‌های تولید هم‌زمان مورد بررسی قرار داد.
- همچنین خاکستر حاصل از فرآیند احتراق را در بخش راه‌سازی و تولید آسفالت نیز می‌توان به‌کار برد که محققین و پژوهش‌جویان می‌توانند در این زمینه نیز تحقیق و بررسی کنند.
- همچنین دوغاب حاصل از اسید اسکرابر در این نیروگاه مورد استفاده قرار نمی‌گیرد که دانش-پژوهان نیز با مطالعه و تحقیق می‌توانند از این دوغاب به عنوان نمک خنثی در صنایع رسوب‌زدایی و اسید‌سازی و تولید فراورده‌های جانبی گچ استفاده نمایند.
- در مورد پیشنهاد آخر که می‌توان ذکر کرد با توجه به مصاحبه‌ای که با مدیر نیروگاه انجام گرفت زباله‌ها به مدت ۵ تا ۷ روز در بخشی نگهداری می‌شوند تا از میزان رطوبت آن‌ها کاسته شود اگر راهکاری برای پیش‌گرمایش زباله‌ها صورت گیرد تا راندمان مصرف نیروگاه افزایش یابد و همچنین توجیه اقتصادی نیز داشته باشد همکاری لازم را خواهند نمود.

مراجع

- [1]. کاظمیان، رسولی، خزایی. جایگاه انرژی‌های نو و تجدیدپذیر در زیست پذیرانه کردن شهرها، مطالعه موردی شهر تهران. فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش و برنامه ریزی شهری. ۲۰۱۷.
- [2]. Niessen WR. Combustion and incineration processes: applications in environmental CRC engineering. Press; 2010 Jun 22.
- [3]. Cogeneration and Cogeneration Schematic Archived 2013-12-09 at the Wayback Machine, www.clarke-energy.com, retrieved 26.11.11
- [4]. Mago, P.J. and Smith, A.D., 2015. Combined Cooling, Heating, and Power (CCHP) Handbook of Clean Energy Systems, pp.1-15.
- [5]. Shah, R.K. and Sekulic, D.P., 2003. Fundamentals of heat exchanger design. John Wiley & Sons.
- [6]. Herold, K.E., Radermacher, R. and Klein, S.A., 2016. Absorption chillers and heat pumps. CRC press.
- [7]. Walser, T., Limbach, L.K., Brogioli, R., Erismann, E., Flamigni, L., Hattendorf, B., Juchli, M., Krumeich, F., Ludwig, C., Prikopsky, K. and Rossier, M., 2012. Persistence of engineered nanoparticles in a municipal solid-waste incineration plant. Nature nanotechnology, 7(8).p.520.
- [8]. سعادت، مجید، "مروری بر آنالیز فیزیکی زباله خانگی شهر تهران" سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران، تهران، ۷۲.
- [9]. Varma RA. Technology options for treatment of municipal solid waste with special reference to kerala. InKerala Environment Congress 2009.
- [10]. Sebastian RM, Kumar D, Alappat BJ. A technique to quantify incinerability of municipal solid waste.

[11]. El-Fadel M, Findikakis AN, Leckie JO. Environmental impacts of solid waste landfilling. *Journal of environmental management*. 1997 May 1;50(1):1-25.

[12] . عبدلی م. ع. و مجلسی م. (۱۳۷۰)، «مدیریت مواد زاید جامد، اصول مهندسی و مباحث مدیریتی»، شهرداری تهران، سازمان بازیافت و تبدیل مواد، ۸۲۷ صفحه.

[13] Schank RC. Designing world-class e-learning: How IBM, GE, Harvard Business School, and Columbia University are succeeding at e-learning.

[14] Jaakkola MS, Jaakkola JJ. Office equipment and supplies: a modern occupational health concern?. *American journal of epidemiology*. 1999 Dec 1;150(11):1223-8.

[15] Pernick R, Wilder C. The clean tech revolution. The next big growth and investment opportunity. New York. 2007.

[16] " Rawlins J, Beyer J, Lampreia J, Tumiwa F. Waste to energy in Indonesia: Assessing opportunities and barriers using insights from the UK and beyond. United Kingdom: Carbon Trust. 2014 Mar.

[17] L. Makarichi, W. Jutidamrongphan, and K. anan Techato, "The evolution of waste-to-energy incineration: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 91, no. May 2017, pp. 812–821, 2018.

[18] F. Wissing, S. Wirtz, and V. Scherer, "Simulating municipal solid waste incineration with a DEM / CFD method – Influences of waste properties , grate and furnace design," *Fuel*, vol. 206, pp. 638–656, 2017.

[19] Linak WP, Wendt JO. Toxic metal emissions from incineration: mechanisms and control. *Progress in Energy and Combustion Science*. 1993 Jan 1;19(2):145-85.

[20] R. M. Sebastian, D. Kumar, and B. J. Alappat, "Resources , Conservation & Recycling A technique to quantify incinerability of municipal solid waste," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 140, no. May 2018, pp. 286–296, 2019.

[21] Y. Hu, H. Cheng, and S. Tao, "The growing importance of waste-to-energy (WTE) incineration in China ’ s anthropogenic mercury emissions : Emission inventories and

- reduction strategies,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 97, no. April, pp. 119–137, 2018.
- [22] P. Kannan, A. Al Shoaibi, and C. Srinivasakannan, “Process simulation and sensitivity analysis of waste plastics gasification in a fluidized bed reactor,” vol. 84, pp. 153–161.
- [23] S. Cimini, M. Prisciandaro, and D. Barba, “Simulation of a waste incineration process with flue-gas cleaning and heat recovery sections using Aspen Plus,” vol. 25, pp. 171–175, 2005.
- [24] D. M. Y. Maya, A. Lizeth, E. Sarmiento, C. Sales, and E. Lora, “Gasification of Municipal Solid Waste for Power Generation in Brazil, a Review of Available Technologies and Their Environmental Benefits,” no. January 2018, 2016.
- [25] K. Hwang, S. Choi, M. Kim, J. Heo, and K. Zoh, “Emission of greenhouse gases from waste incineration in Korea,” *J. Environ. Manage.*, vol. 196, pp. 710–718, 2017.
- [26] T. Nakakubo, N. Yoshida, and Y. Hattori, “Analysis of greenhouse gas emission reductions by collaboratively updating equipment in sewage treatment and municipal solid waste incineration plants,” *J. Clean. Prod.*, vol. 168, no. September 2016, pp. 803–813, 2017.
- [27] F. Lombardi, E. Lategano, S. Cordiner, and V. Torretta, “Waste incineration in rotary kilns: a new simulation combustion tool to support design and technical change,” 2013.
- [28] R. Sannino, “Thermal characterization of CHP-User Needs interaction and optimized choice of the Internal Combustion Engines in the CHP plants,” vol. 82, pp. 929–935, 2015.
- [29] W. Elsner, M. Wysocki, P. Niegodajew, and R. Borecki, “Experimental and economic study of small-scale CHP installation equipped with downdraft gasifier and internal combustion engine,” *Appl. Energy*, vol. 202, pp. 213–227, 2017.
- [30] N. Mirl, F. Schmid, and K. Spindler, “Case Studies in Thermal Engineering Reduction of the return temperature in district heating systems with an ammonia-water absorption

heat pump,” Case Stud. Therm. Eng., vol. 12, no. May, pp. 817–822, 2018.

[31] R. Gomri and G. Climatique, “Thermal Issues in Emerging Technologies, ThETA 2, Cairo, Egypt, Dec 17-20,” pp. 0–5, 2008.

[32] Iosifescu, C., and V. Damian. "STUDY OF AMMONIA-WATER ABSORPTION TRIPLE EFFECT CYCLE." (2009).

[33] P. Gao, Y. Dai, Y. Tong, and P. Dong, “Energy matching and optimization analysis of waste to energy CCHP (combined cooling , heating and power) system with exergy and energy level,” Energy, pp. 1–14, 2014.

[34] Kong X.Q., Wang R.Z. and Huang X.H. (2004) "Energy efficiency and economic feasibility of CCHP driven by stirling engine" Energy Conversion and Management 45, 9-10, pp 1433-1442.

[35] Costa A., Paris J., Towers M. and Browne T. (2007) "Economics of trigeneration in a kraft pulp mill for enhanced energy efficiency and reduced GHG emissions"Energy, 32, 4, pp 474-481.

[36] Poredoš A., Kitanovski A. and Tuma M. (2002) "The energy efficiency of chillers in a trigeneration plant" Forschung im Ingenieurwesen, 67, 1, pp 40-44.

[37] Calva E.T., Núñez M.P. and Toral M.a.R.G. (2005) "Thermal integration of trigeneration systems" Applied Thermal Engineering, 25, 7, pp 973-984.

[38] Channiwala SA, Parikh PP. A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels. Fuel. 2002 May 1;81(8):1051-63.

[39] Moran MJ, Shapiro HN, Boettner DD, Bailey MB. Fundamentals of engineering thermodynamics. John Wiley & Sons; 2010 Dec 7.

[40] Spencer LC. A comprehensive review of small solar-powered heat engines: Part I. A history of solar-powered devices up to 1950. Solar Energy. 1989 Jan 1;43(4):191-6.

[41] چهارطاقی م، بابایی م. (۱۳۹۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "تحلیل ترمودینامیکی و بهبود عملکرد سیکل ارگانیک رانکین"، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[42] J. Zhang, S. Cao, L. Yu, and Y. Zhou, “Comparison of combined cooling , heating and power (CCHP) systems with different cooling modes based on energetic environmental and economic criteria,” Energy Convers. Manag., vol. 160, no. September 2017, pp. 60.

- [44] G. V. P. Varma and T. Srinivas, "Case Studies in Thermal Engineering design and analysis of a cogeneration plant using heat recovery of a cement factory," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 5, pp. 24–31, 2015.
- [45] C. Heat, P. Technology, and F. S. Series, "Combined Heat and Power Technology Fact Sheet Series Absorption Chillers for CHP Systems," pp. 1–4.
- [46] R. Selbas and M. Reppich, "A new design approach for shell-and-tube heat exchangers using genetic algorithms from economic point of view," vol. 45, pp. 268–275, 2006.

Abstract

In recent years, population growth and community development have increased the volume of waste in many parts of the world, including in Iran. If management measures do not reduce the amount of waste at the surface of the earth, the problem of increased waste will become a major and serious threat to human life. Also, the access of developing countries to a variety of new energy sources is critical to their economic development. And new research has shown that there is a direct relationship between the level of development of a country and its energy consumption. From another perspective, each energy has its own characteristics in terms of manufacturing technology and exploitation, technical features, accessibility, geographical distribution, and other features. Therefore, the diversity of the use of various energies, including waste energy, will place the country in terms of energy supply in a more secure position, and for this purpose, waste incineration plants were constructed that, in addition to reducing waste and generating power, could lead to a system of electric power generation, Heat and cold. Accordingly, in the present study, the research is based on the fact that after measuring, studying and studying the smoke from the garbage plant, which has a significant thermal potential, can be used in the system for generating electricity, heat and cold. Using the Aspen software, an initial model of the Triple Combined Cycle Power Plant was designed to accommodate the layout and arrangement of the simultaneous production cycle at the waste incineration plant. After exiting the combustion gases from the boiler, part of the exhaust fumes is introduced into a heat exchanger designed to provide heating. After exiting the combustion gases from the boiler, part of the exhaust fumes is introduced into a heat exchanger designed to provide heating. The design of the heat exchanger according to the requirements of the power plant is done using the EES software, and the heat exchanger efficiency is 70% changed with the change in the amount of fuel, as well as the temperature of the water introduced into the heat exchanger is 35 ° C and the water outlet temperature 70 ° C with a flow rate of 5 kg / s, which can be changed by changing the fuel ratio parameter. Another part of the exhaust fumes is to provide cooling for the use of absorption chillers. Due to the low temperature of the exhaust gases, an ammonia-water adsorption chiller is used to reduce the need for users to cool down at a lower temperature. Absorption chiller modeling was performed using EES software. After calculating and modeling the cooling value created

in the absorption chiller, the first evaporator was 1111 kW and the second evaporator was 529 kW. The temperature of the exhaust gases after cooling and Heating is 120 ° C and then passed through the filters to the environment. The efficiency of the power generation cycle is 35% and the exergy efficiency of 28%, which increases the efficiency of the simultaneous production by 70% during the conversion of the plant to a simultaneous production system (CCHP).

As a result, the economic justification of the current plan is done using Excel software and the return period is estimated at 5 years. However, simultaneous production systems an important role in energy efficiency, as waste is increasing daily, In this research, the heat and venting of the waste incineration plant in the production system are used in order to utilize the outlet smoke and heat of the garbage power plant in the production system simultaneously can be an innovation in the present research.

Keywords: Waste incineration plant, CCHP, Heatexchanger, Absorbtion chiller, Energy and Exergy efficiency, Return of capital.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mechanical and Mechatronics Engineering

M.Sc. Thesis in Energy Systems Engineering

**Technical - economic and environmental analysis of CCHP systems with
waste incineration power plant as prime mover**

Naser Dahmardeh

Supervisors:

Dr. Majid Hashemian

Dr. Mahmood Chahartaghi

August 2019