

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



موسسه آموزش عالی انرژی

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

مهندسی سیستم های انرژی - گرایش تکنولوژی انرژی

عنوان:

**تحلیل تکنواکونومیک و بهره برداری از نیروگاه
زباله سوز بر پایه شاخص های قابلیت
اطمینان (مطالعه موردی شهر همدان)**

استاد راهنما:

دکتر یوسف یاسی

دکتر رضا علایی

دانشجو:

حامد روحی

زمستان 95

منشور اخلاق پژوهش

با یاری از خداوند سبحان و اعتقاد به این که عالم محضر خداست و همواره ناظر بر اعمال انسان و به منظور پاس داشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظر به اهمیت

جایگاه دانشگاه در اعتلای فرهنگ و تمدن بشری، ما دانشجویان و اعضاء هیات علمی واحدهای دانشگاه آزاد اسلامی متعهد می‌گردیم اصول زیر را در انجام

فعالیت های پژوهشی مد نظر قرار داده و از آن تخطی نکنیم:

- 1- اصل برائت: التزام به برائت جویی از هر گونه رفتار غیر حرفه ای و اعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به مثابه های غیر علمی می‌آلایند.
- 2- اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از هر گونه جانب داری غیر علمی و حفاظت از اموال، تجهیزات و منابع در اختیار.
- 3- اصل ترویج: تعهد به رواج دانش و اشاعه نتایج تحقیقات و انتقال آن به همکاران علمی و دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد.
- 4- اصل احترام: تعهد به رعایت حریم ها و حرمت ها در انجام تحقیقات و رعایت جانب نقد و خودداری از هر گونه حرمت شکنی.
- 5- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهیدگان (انسان، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق.
- 6- اصل رازداری: تعهد به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمان ها و کشور و کلیه افراد و نهادهای مرتبط با تحقیق.
- 7- اصل حقیقت جویی: تلاش در راستای پی جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از هر گونه پنهان سازی حقیقت.
- 8- اصل مالکیت مادی و معنوی: تعهد به رعایت کامل حقوق مادی و معنوی دانشگاه و کلیه همکاران پژوهش.
- 9- اصل منافع ملی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن پیشبرد و توسعه کشور در کلیه مراحل پژوهش.

تقدیم به:

مقدس‌ترین واژه‌ها در لغت نامه دلم، مادر مهربانم که زندگیم را مادیون مهر و عطوفت آن

می‌دانم.

پدر، مهربانی مشفق، بردبار و حامی.

همسر دلسوزم یار همراه همیشگی و پشتوانه‌های زندگیم

تشکر و قدردانی

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم . از اساتید فاضل و اندیشمند آقایان دکتر رضا علائی و دکتر یوسف یاسی به عنوان اساتید راهنما که همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند ، کمال تشکر را دارم .

چکیده

طی سالهای اخیر به دلیل افزایش قیمت نفت و هم چنین به اتمام رسیدن این سوخت در سالهای آتی نزدیک تصمیم به جایگزینی این سوخت با منابع دیگر انرژی گرفته شده که در این راستا زباله های شهری (urban wastes) به عنوان یک منبع بالقوه شناسایی گردیده که در صد بالایی از این زباله ها قابل احتراق بوده که می توان از آنها به عنوان منبع انرژی حرارتی استفاده نمود و از سوی دیگر با توجه به اینکه حفظ منابع طبیعی و محیط زیست یکی از دغدغه های اصلی کشورهای پیشرفته و در حال توسعه می باشد که مدیران شهری سعی در یافتن راهکارهای جدید و مناسب برای مدیریت پسماند را دارند که در این مسیر تولید انرژی یکی از راهکارهای منتخب و مناسب می باشد.

در دنیای امروز تولید برق از زباله های شهری رو به پیشرفت بوده و رشد قابل توجهی داشته است. در این پایان نامه سعی شده یکی از روشهای تولید انرژی از زباله ، نیروگاه زباله سوز در شهر همدان بررسی شود.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول مقدمه	
1-1- توضیح مختصر مساله و سابقه تحقیق.....	2
2-1- فرضیات.....	8
فصل دوم مبانی نظری پژوهش	
1-2- مقدمه.....	10
2-2- زباله جامد شهری و ویژگی های آن.....	11
3-2- روش های استحصال انرژی از زباله.....	13
4-2- بخش های فرآینده یک واحد زباله سوزی (با استحصال انرژی).....	18
5-2- دریافت زباله و مدیریت آن.....	19
6-2- سیستم تغذیه.....	21
7-2- تصفیه حرارتی.....	22
8-2- بازیافت انرژی.....	24
9-2- تصفیه گازهای حاصل از احتراق.....	25
1-9-2- مدیریت، تصفیه و دفع مواد برجای مانده.....	26
10-2- اقتصاد زباله سوزی.....	27
1-10-2- بر آورد هزینه ها.....	27
2-10-2- هزینه های سرمایه گذاری.....	28
3-10-2- هزینه کلی زباله سوزی.....	29
4-10-2- هزینه خالص زباله سوزی.....	30
5-10-2- تأمین مالی.....	31
6-10-2- درآمد حاصل از پرداخت های (بهای خدمات).....	31
7-10-2- درآمد حاصل از فروش انرژی.....	32
8-10-2- یارانه های عمومی.....	33
11-2- مزایا و معایب زباله سوزی.....	34

36	12-2- روشهای ارزیابی قابلیت اطمینان.....
36	1-12-2- روشهای بهسازی قابلیت اطمینان.....
37	2-12-2- اطلاعات قابلیت اطمینان.....
37	13-2- محاسبه شاخص های قابلیت اطمینان.....
38	14-2- تعریف سیستم و انواع سیستم ها.....
40	15-2- نقش تعمیرات در قابلیت اطمینان.....
41	16-2- خطاهای گذرا در ارزیابی قابلیت اطمینان.....
42	17-2- شاخص های بار، انرژی، محاسبات اقتصادی.....
42	1-17-2- شاخص محدودیت تداوم بار.....
44	2-17-2- شاخص میانگین خاموشی یا قطع بار.....
	فصل سوم روش پژوهش
45	1-3- مقدمه.....
46	2-3- انواع زباله سوز.....
46	1-2-3- زباله سوز توده سوز.....
47	2-2-3- زباله سوز مدولار.....
48	3-2-3- زباله سوز با بستر سیال.....
49	4-2-3- زباله سوز کوره دوار.....
51	5-2-3- زباله سوز با کوره ثابت.....
51	3-3- اجزاء زباله سوزها.....
53	4-3- ارزش حرارتی زباله.....
54	1-4-3- پارامترهای مهم تاثیر گذار بر ارزش حرارتی زباله ها.....
55	2-4-3- محاسبه ارزش حرارتی زباله.....
55	3-4-3- تبدیل به گاز کردن زباله (Gasification).....
	4-4-3- تبدیل به گاز زباله با استفاده از فن آوری جدید پلاسما (تصفیه
58	حرارتی).....
58	5-3- پلاسما چیست؟.....
59	1-5-3- اجزاء سیستم زباله سوز پلاسما.....
60	2-5-3- فرآیند زباله سوز پلاسما و نحوه عملکرد آن.....

61	3-5-2- واکنشهای انجام شده در فرآیند پلاسما
63	3-5-3- اجزاء اصلی راکتور پلاسما
63	3-5-4- سایر اجزاء راکتور پلاسما
64	3-5-5- اجزاء اصلی راکتور پلاسما
65	3-5-6- سایر اجزاء راکتور پلاسما
66	3-6- مزایای فنی و اقتصادی استفاده از راکتورهای زباله سوز پلاسما
68	3-7- اثرات زیست محیطی استفاده از راکتورهای زباله سوز پلاسما
	فصل چهارم طراحی نیروگاه زباله سوز
69	4-1- مقدمه
71	4-2- وضعیت حال حاضر تکنولوژیهای زباله سوزی
71	4-3- بررسی کمی و کیفی زباله های شهری همدان
73	4-4- معرفی فرآیند و طراحی ارایه شده برای مجتمع نیروگاه زیست توده
73	4-5- محاسبه توان الکتریکی نیروگاه زیست توده سازگار با سوخت زباله شهری
75	4-6- برآورده توان الکتریکی قابل استحصال در طرح نیروگاهی زیست توده
76	4-7- محصولات و مدیریت خاکسترها
77	4-7-1- منافع زیست محیطی (معادل ریالی)
78	4-7-2- منافع ریالی حاصل از فروش برق به شبکه
78	4-8- نوع کوه زباله سوز
81	4-9- کنترل آلودگی و حذف ذرات
82	4-10- بازیابی حرارت بصورت بخار یا الکتریسیته
83	4-11- بررسی اقتصادی استفاده از کوره زباله سوز جهت بازیافت حرارت
84	1-11-1- آنالیز زباله
85	نتیجه گیری
87	شبیه سازی نیروگاه زیست توده شهر همدان با نرم افزار منابع HOMER
90	منابع

فهرست جداول

صفحه

عنوان

جدول 1-1	ظرفیت های زباله سوزی گزارش شده در اروپا.....	5
جدول 1-2	عمده ترین استفاده کنندگان از زباله سوز در آمریکا.....	6
جدول شماره 1-3	برآورد تولید برق از زباله های شهری در شهرهای بالای 100 هزار نفر جمعیت.....	6
جدول 1-2	بازده فناوریهای تبدیل انرژی.....	15
جدول 2-2	درصد کاهش وزنی زباله پس از پردازش.....	16
جدول 1-3	عملکرد انواع مختلف کوره ها در کارخانجات زباله سوز شهری.....	53
جدول 2-3	اجزاء تشکیل دهنده و مقدار رطوبت در زباله های شهری.....	55
جدول 3-3	انواع Gasifier و ویژگی آنها.....	57
جدول 3-4	مقایسه هزینه نیروگاه زباله سوز با تکنولوژی پلاسما و سایر نیروگاهها(13).....	68
جدول 3-5	میزان تولید آلاینده ها در راکتور پلاسما و مقایسه آن با سایر روشهای زباله سوزی.....	69
جدول 1-4	مقایسه مقادیر درصد جرمی اجزای زباله شهری در کشور و کالیفرنیا....	70
جدول 2-4	مقادیر جرمی ترکیبات شیمیایی زباله شهری بر اساس 100kg نمونه (برحسب کیلو گرم).....	70
جدول 3-4	ترکیبات اجزاء تشکیل دهنده پسماند شهر همدان.....	72
جدول 4-4	اطلاعات مربوط به میزان زائدات.....	72
جدول 5-4	موازنه جرمی زباله سوز(براساس 100lb زباله ورودی).....	80
جدول 6-4	موازنه حرارتی کوره برای زباله حرارت ورودی(btu).....	80
جدول 7-4	حرارت خروجی(Btu).....	80
جدول 8-4	موازنه حرارتی برای محفظه اسپری آب.....	81
جدول 9-4	توزیع ذرات معلق در محصولات احتراق زباله سوز نمونه (tons/day)	82

(250)

- جدول 4-10- مقایسه اقتصادی سیستم زباله سوز و بویلر مشعل دار برای تولید 100 تن
بخار و 50 درجه سوپر 84
- جدول 4-11- ارزش حرارتی بالای زباله بر حسب درصد رطوبت زباله 84

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل 1-1: طرح ساده CHP از زباله سوز.....	7
شکل 1-2- جریان فرآیندی زباله سوز.....	8
شکل 1-3- طرح نمونه ای از توربین.....	8
شکل 1-2- فرآیندها و ورودیها و خروجیهای یک واحد زباله سوزی.....	19
شکل 2-2- چاله ذخیره و جرثقیل سقفی در واحدهای توده سوزی زبالهی جامد شهری.....	21
شکل 2-3- طرح شماتیک کوره و سیستم تغذیه در واحدهای توده سوزی.....	22
شکل 2-4- هزینه های سرمایه گذاری واحدهای زباله سوزی (برآورده شده در سال 1998).....	29
شکل 2-5- هزینه های کلی واحدهای زباله سوزی در سال (برآورده شده در سال 1998).....	30
شکل 1-3- دو نوع از زباله سوزهای بستر سیال.....	49
شکل 2-3- شماتیک یک راکتور گاز ساز Up draft.....	57
شکل 3-3- شماتیک یک راکتور زباله سوز.....	59
شکل 3-4- شماتیک سیستم تولید نیرو در یک نیروگاه زباله سوز سیکل ترکیبی با راکتور پلاسما.....	63
شکل 3-5- شماتیک اجزاء یک نیروگاه زباله سوز با راکتور پلاسما.....	64
شکل 3-6- شماتیک واکنش های انجام شده در یک پیل سوختی اکسید جامد.....	68

فصل اول

مقدمه

۱-۱- توضیح مختصر مساله و سابقه تحقیق:

فناپذیری سوختهای فسیلی، تنوع بخشی به منابع انرژی، توسعه پایدار و ایجاد امنیت انرژی، مشکلات زیست محیطی ناشی از مصارف انرژی فسیلی از یک طرف و تجدیدپذیر بودن منابع انرژیهای نو از طرف دیگر باعث توجه جدی جهانیان به توسعه و گسترش استفاده از انرژیهای تجدیدپذیر و افزایش سهم این منابع در سبد انرژی جهانی شده است. توسعه و گسترش به کارگیری انرژیهای تجدیدپذیر باعث تحقق اهداف توسعه اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی کشور میشود. به نحوی که استفاده از انرژیهای نو می تواند باعث کاهش وابستگی به منابع فسیلی و کاهش انتشار گازهای آلاینده و گازهای گلخانه‌ای که تاثیر اساسی بر گرمایش جهانی دارند، شود. در این میان میتوان از بیوماس (زیست توده) به عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر با اهمیت و جالب توجه نام برد که با اندک تمهیدات می توان از آن استفاده کرد. برای مثال چین بیش از 100 پروژه بیوگاز تولید برق بزرگ و متوسط دارد و با این وضع موجود بیش از 68٪ زباله های شهری چین از طریق محل دفن زباله ها دور انداخته می شود(1)

عموماً سه روش کلی برای تبدیل زباله به انرژی (برق و حرارت) وجود دارد که هر کدام به چند تکنولوژی تقسیم می شود:

الف- روش های احتراق:

1- چوب سوز

2- احتراق زباله (زباله سوزی)

3- کرینزه کردن

ب - روش های ترموشیمیایی:

1- گازسازی

2- روش پلاسما

3- آتشکافت یا پیرولیز

ج - روش های بیوشیمیایی: که با تولید بیوگاز دنبال می شود که شامل

1- فناوری هضم بی هوازی

2- دفنگاه یا لندفیل

3- تولید سوخت زباله

تولید انرژی از زباله سوز های شهری جذاب ترین مقوله ها از نظر فنی، اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی در میان سایر روش های امحای پسماندهای شهری باشد. در حال حاضر در سطح جهان توجه خاصی به بحث تولید انرژی از زباله های شهری می شود و ظرفیت تولید برق اروپا از این منبع در طی چند سال گذشته به بیش از دو برابر افزایش یافته است. همچنین اغلب طرح های (CDM Carbon Development Mechanisms مکانیزم توسعه پاک تحت پروتکل کیوتو) نیز حامی پروژه های تولید انرژی از زباله های شهری است. پیش بینی می شود که سهم تولید برق و انرژی از پسماندهای شهری افزایش خواهد یافت، زیرا سیاست اغلب کشورهای پیشرفته از امحاء زباله، تولید انرژی از زباله چرخش یافته است. بر اساس آمار آژانس بین المللی انرژی (IEA)، سهم زباله های شهری از تامین انرژی اولیه جهان 1/2٪ کل انرژی های تجدید پذیر (16/22 میلیون تن معادل نفت خام) می باشد که این رقم 1/5 برابر سهم باد و 4 برابر سهم مجموع انرژی های خورشیدی و دریائی در آن سال است. از همین جا اهمیت بحث زباله های شهری و جایگاه آن در تامین انرژی اولیه جهان معلوم می شود. همچنین بخش تولید انرژی از زباله های شهری از سال 1990 تاکنون رشد متوسط سالانه 7/6٪ را داشته و این در حالی است که رشد کل انرژی های تجدید پذیر در این دوره 1/7٪ و رشد مصرف انرژی اولیه 1/4٪ بوده است. در حال حاضر هزاران مگا وات نیروگاه زباله (بیش از 10000 مگا وات) در سطح جهان نصب شده و آمریکا قصد دارد تا سال 2025 جمعا 12.000 مگا وات ظرفیت جدید تولید برق از زباله های شهری را افزایش دهد که

10.000 مگا وات آن از نوع زباله سوز و 2000 مگا وات آن نیز از نوع مرکز دفن خواهد بود. ژاپن نیز برنامه نصب نیروگاههای زباله خود را تا سال 2010 به میزان 4710 مگا وات اعلام نموده است. در سال 2006 بیش از 1900 زباله سوز، 77٪ زباله های ژاپن را می سوزانند (40 میلیون تن) و فقط 30٪ آنها به واحد تولید برق مجهزند. ظرفیت تولید برق ژاپن از زباله های شهری در حال حاضر بیش از 1600 مگا وات می باشد.

باتوجه به اینکه سهم بسیار بالایی از سموم منتشره نظیردی اکسیداززباله سوزها ناشی میشود، استانداردهای اروپا، آمریکا و ژاپن بسیار سخت گیر میباشندواین سخت گیری به حدی رسیده که هزینه سرمایه گذاری اولیه سیستم های تصفیه وپالایش دودازکُل مجموعه نیروگاه بالاتر می باشد. در اوائل سال 2006 استانداردهای اروپائی و EPA آمریکا تغییر یافته و سخت گیرانه تر شده و باعثشده تا تعداد زیادی از زباله سوزهای موجود قابلیت ادامه فعالیت را نداشته واز فعالیت آنها ممانعت به عمل می آید.

عمده ترین تکنولوژی زباله سوزی که در حال حاضر بیشترین استفاده را دارد، توده سوز است، و این به دلیل سادگی و هزینه پایین اجرای آن است. در این سیستم کلیه پسماندهای شهری به صورت مخلوط در کوره زباله سوز ریخته شده و سوزانده می شود. هم اکنون ظرفیت زباله سوزی توده سوز شبکه ای نصب شده با این روش چیزی حدود 59 میلیون تن در سال می باشد. این نوع زباله سوزها در تناژهای بالا تولید شده و مناسب شهرهایی با میزان تولید بالا می باشد.

زباله سوزی یکی از روشهای شناخته شده و مطرح در امحاء زباله است و در اروپا و آمریکا سالانه میلیونها تن زباله با این روش امحای می شود. در اروپا بیش از 40 میلیون تن زباله در سال بیش از 11.322 میلیون کیلووات ساعت برق تولید می کنند و در آمریکا نیز سالانه بیش از 25 میلیون تن زباله سوزانده شده و بیش از 7000 میلیون کیلو وات ساعت برق تولید می کنند. همچنین در اروپا معادل 6000 مگاوات حرارتی نیز گرما تولید می شود. در جدول 1 میزان زباله سوزی در اروپا به

تفکیک کشورهای مختلف و در جدول 2 ظرفیت زباله سوزی در آمریکا ارائه شده است. (2)

جدول ۱- ۱ ظرفیت های زباله سوزی گزارش شده در اروپا (1)

کشور	تن در سال	کیلو گرم سرانه	حرارت تولیدی (گیگاژول)	برق تولید شده (گیگاژول)
اتریش	450000	56	3053000	131000
دانمارک	2562000	477	10543000	3472000
فرانسه	10984000	180	32303000	2164000
آلمان	12853000	157	27190000	12042000
مجارستان	352000	6	2000	399000
ایتالیا	2169000	137	3354000	2338000
هلند	4818000	482	-	9130000
نروژ	220000	49	1409000	27000
پرتغال	322000	32	1000	558000
اسپانیا	1039000	26	-	1934000
سوئد	2005000	225	22996000	4360000
سوئیس	1636000	164	8698000	2311000
انگلستان	1074000	18	1000	1895000
مجموع	40.484.000	154/5 (متوسط)	109.550.000	40.761.000 (معادل 2500 مگا وات نیروگاه)

جدول ۱ - ۲- عمده ترین استفاده کنندگان از زباله سوز در آمریکا (1)

ایالت	تعداد نیروگاهها	ظرفیت (تن در روز)
کانکتیکات	6	6500
نیویورک	10	11100
نیوجرسی	5	6200
پنسیلوانیا	6	8400
ویرجینا	6	8300
فلوریدا	13	19300
مجموع	53	69600 (معادل 1500 مگا وات نیروگاه)

مطالعه پتانسیل تولید انرژی از زباله های شهری ایران در سال 1380 توسط وزارت

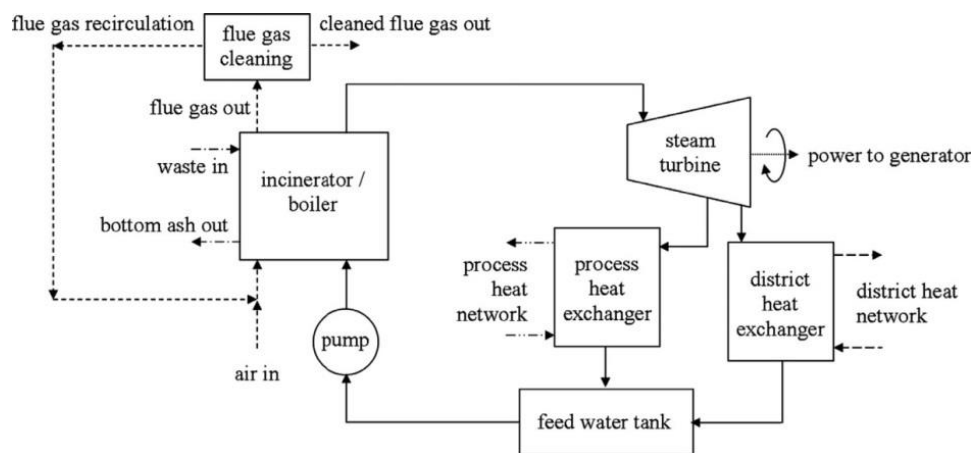
نیرو صورت گرفته که نتایج خلاصه آن در جدول-3 ارائه شده است.

جدول شماره ۱-۳- برآورد تولید برق از زباله های شهری در شهرهای بالای ۱۰۰ هزار نفر جمعیت (2)

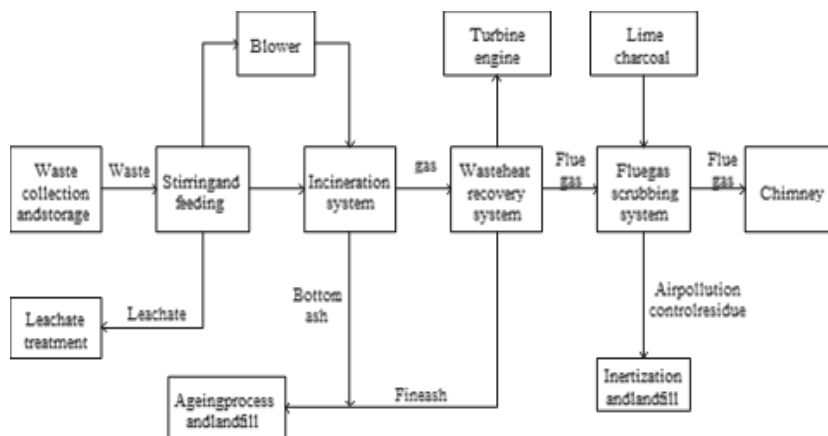
شرح	واحد	مقدار
حجم زباله های شهری (شهرهای بالاتر از 100000 نفر)	میلیون تن	11
انرژی ناخالص کل	10^6 بشکه معادل نفت خام	15
درصد از انرژی اولیه کشور	%	2/15
متان قابل تولید سالانه	10^6 مترمکعب	1023/2
% از گاز طبیعی مصرفی نیروگاه های کشور در 1382	%	1/47
برق قابل تولید با راندمان 18٪ معادل 220 Mw نیروگاه فسیلی	Gwh	1800
برق قابل تولید با راندمان 25٪ معادل 305 Mw نیروگاه فسیلی	Gwh	2500
برق قابل تولید با راندمان 35٪ معادل 430 Mw نیروگاه فسیلی	Gwh	3500
کاهش در انتشار گازهای گلخانه ای - معادل CO ₂ (سالانه)	Ton	7,200,000
کاهش در آلودگی زیست محیطی - SO ₂	Ton	1200

زباله سوزی مزایای متعددی دارند که برخی از آنها عبارتند از:

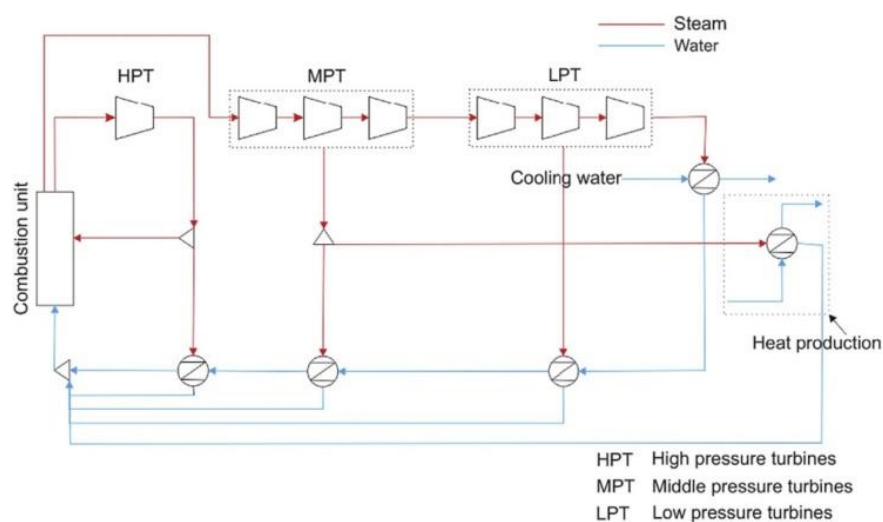
1. کاهش حجم نیروگاه
 2. کاهش سریع حجم زباله (در حدود 95٪ کاهش حجم دارد)
 3. یکی از موثرترین روشهای دفع زباله های خطرناک
 4. کاهش هزینه ها
 5. از بین رفتن خطر آلودگی آبهای سطحی
 6. از میان رفتن بو
 7. کاهش میزان گازهای گلخانه‌ای
 8. کاهش میزان آلاینده‌های هوا
 9. از بین رفتن زیستگاه جانوران موذی
- طرح ساده ای از یک زباله سوز در شکل 1-1 و جریان فرآیندی در یک زباله سوز در شکل 1-2 و نمونه ای از توربین مورد استفاده در نیروگاه های زباله سوز در شکل 1-3 آمده است



شکل 1-1: طرح ساده CHP از زباله سوز



شکل 1-2- جریان فرآیندی زباله سوز



شکل 1-3- طرح نمونه ای از توربین

۱-۲- فرضیات

1- نرخ تولید زباله های شهری برای سالهای مختلف مقدار ثابتی در نظر گرفته

خواهد شد؟

1-3- اهداف:

1- آنالیز پسماند شهری

2- پتانسیل سنجی پسماند شهری

3- تعیین ارزش حرارتی

4- ارزیابی فنی و اقتصادی احداث نیروگاه های زباله سوز

5- نحوه به کار گیری نیروگاه زباله سوز در شبکه

و- روش پژوهش و مرحله انجام پایان نامه:

با توجه به جمع آوری و همچنین تفکیک زباله در شهر همدان توسط اداره پسماند شهری در یک منطقه بیرون شهر می توان با بدست آوردن ارزش حرارتی پسماندها از طریق عملیات آزمایشگاهی در مرحله اول ترکیب زباله را مشخص کرد و ارزش حرارتی آن را برآورد نمود و در مرحله دوم تجزیه و تحلیل فرآیند احتراق به منظور ارزیابی پتانسیل انرژی زباله ها و اقدام به احداث نیروگاه زباله سوز نمود.

فصل دوم

مبانی نظری پژوهش

۲-۱- مقدمه

در هر جامعه مدرن، مهندسان و مدیران فنی، مسئول برنامه ریزی، طراحی، ساخت و بهره برداری از ساده ترین محصول تا پیچیده ترین سیستم ها هستند از کار افتادن محصول ها و سیستم ها موجب وقوع اختلال در سطوح مختلفی می شود و می تواند حتی بعنوان تهدیدی شدید برای جامعه و محیط زیست نیز تلقی شود به همین خاطر مصرف کنندگان و بطور کلی مردم جامعه انتظار دارند که محصول ها و سیستم ها، پایا، اطمینان بخش و ایمن باشند شیوه های ارزیابی قابلیت اطمینان از نظر تاریخچه پیدایش، ابتدا در ارتباط با صنایع هوا - فضا و کاربردهای نظامی شکل گرفت ولی سریعاً توسط سایر صنایع مانند صنایع هسته ای که تحت فشار شدیدی جهت تضمین ایمنی و قابلیت اطمینان راکتورهای هسته ای در تامین انرژی الکتریکی می باشند، مورد توجه و کاربرد قرار گرفت در تمام این زمینه ها شاهد وقوع مشکلات و حوادث شدیدی در سالهای اخیر بوده ایم منجمله در صنایع هوا - فضا در سال 1986 و حادثه ای که برای فضا پیمای چلنجر پیش آمد این رخدادها بویژه فشار فزاینده ای برای لزوم توجه به قابلیت اطمینان، ایمنی و احتمال خطر ایجاد کرده است یک سیستم قدرت سه بخش تولید، انتقال و توزیع را در بر می گیرد از آنجایی که نیروگاهها از اهمیت و حساسیت ویژه ای برخوردارند و دارای هزینه های سرسام آوری هستند، انتخاب بهترین طرح با بررسی شاخص های قابلیت اطمینان امری ضروری است قابلیت اطمینان نیروگاه به قابلیت اطمینان دستگاهها و آرایش آنها بستگی دارد فاکتورهای اساسی در تعیین نوع دستگاهها شامل قابلیت اطمینان، سرویس دهی مداوم، قابلیت انعطاف در بهره برداری، سادگی، محدود کردن جریان اتصال کوتاه، تعمیر دستگاهها، توسعه در آینده، استاندارد بودن، هزینه و غیره می باشند

جهت انجام یک طراحی خوب پس از بررسی های علمی و فنی می بایست طرح را از نظر اقتصادی نیز مورد توجه قرار داد و در بین طرح های قابل اجرا طرح بهینه را انتخاب نمود که این امر را می توان با ارزیابی قابلیت اطمینان طرح ها انجام داد برای نیل به این هدف شاخص های قابلیت اطمینان هر طرح را محاسبه کرده و با استفاده از محاسبات

اقتصادی می توان طرح بهینه را مشخص نمود یکی دیگر از کاربردهای ارزیابی قابلیت اطمینان، اصلاح طرح های اجرا شده می باشد که می توان با اتخاذ تدابیری یا ایجاد تغییراتی، قابلیت اطمینان سیستم را افزایش داد برخی از عناصر تاثیر قابل توجهی بر روی قابلیت اطمینان نیروگاه دارند و با بهبود قابلیت اطمینان این عناصر می توان قابلیت اطمینان نیروگاه را به نحو مطلوبی افزایش داد بنابراین این عناصر باید مورد توجه قرار گیرند که با کمترین هزینه بتوان به بهترین نحو ممکن قابلیت اطمینان را افزایش داد. (5)

۲-۲- زباله جامد شهری و ویژگی های آن

زباله جامد شهری به صورتی فراگیر و جهان شمول تعریف نشده و ممکن است محتوای آن از کشوری به کشور دیگر تغییر کند. سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (EPA) آن را این چنین توصیف می کند: «زباله جمع آوری شده از اماکن عمومی، واحد های مسکونی، تجاری، موسساتی و صنعتی؛ شامل کاغذ، چوب، زباله باغچه و حیاط^۱، پسماندهای غذایی، پلاستیک و دیگر مواد قابل احتراق و یا غیر قابل احتراق، نظیر فلز، شیشه و سنگ» (4) طبق این تعریف، لوازم خانگی، تایر های اتومبیل، روزنامه ها، جعبه های بسته بندی و پاکت ها، مواد قابل جمع شدن از سفره، کاغذهای باطله مدارس و دفاتر، تخته های چوب، و زباله های رستوران ها، از اجزای زباله جامد شهری به حساب می آیند. اما، مواردی نظیر نخاله های ساختمانی، بدنه اتومبیل، لجن و فاضلای شهری، خاکستر حاصل از احتراق، و پسماندهای فرآیندهای صنعتی، زباله جامد شهری محسوب نمی شوند؛ حتی اگر به همراه زباله جامد شهری در دفنگاه دفن و یا در زباله سوز سوزانده شوند.

ترکیب زباله و ارزش حرارتی آن، همین طور نرخ تولید زباله، از عوامل تعیین کننده در امکان سنجی استحصال انرژی از سوزاندن زباله می باشند. ترکیب زباله جامد شهری، بستگی به عوامل تعیین کننده در امکان سنجی استحصال انرژی از سوزاندن زباله می باشند. ترکیب زباله جامد شهری، بستگی به عواملی نظیر موقعیت جغرافیایی، شرایط اقلیمی، شرایط اجتماعی - اقتصادی، درجه مدنیت، سطح فرهنگ و میزان صنعتی بودن منطقه جمع آوری

¹ -yard waste

زباله دارد. در کشورهای در حال توسعه، درصد مواد قابل تجزیه زیستی در زباله جامد شهری، بیشتر از کشورهای توسعه یافته است. در این کشورها، معمولاً از سبزی ها و مواد غذایی اولیه برای تهیه غذا در منازل استفاده می شود. در حالی که، در کشورهای توسعه یافته اغلب از غذاهای آماده استفاده می کنند؛ که این خود سبب کاهش میزان پسماندهای غذایی در این کشورها، و در مقابل، افزایش میزان مواد بسته بندی می گردد. بسته به نشو و نموهای گیاهان، محتوای مواد آلی زباله از شهری به شهر دیگر تغییر می کند. هم چنین، در مناطقی که نگهداری حیوانات معمول است (مانند روستاها)، میزان پسماندهای غذایی کاهش می یابد علاوه بر شرایط منطقه ای، ترکیب زباله با تغییر فصل نیز تغییر می کند. ضمن آن که، با رشد اقتصادی و ترقی سطح فرهنگ منطقه نیز، ممکن است ترکیب زباله تغییر کند. (6)

ارزش حرارتی یا محتوای انرژی زباله جامد شهری به وسیله مواد زیادی تأمین می گردد، که در این میان بیشترین مشارکت را کاغذ، مقوا، پلاستیک ها و منسوجات دارند، که از محتوای انرژی نسبتاً بالایی برخوردار می باشند. با افزایش میزان این مواد و کاهش محتوای رطوبت، ارزش حرارتی زباله افزایش می یابد. با افزایش در آمد، میزان کاغذ، مقوا و پلاستیک موجود در زباله، و در نتیجه، ارزش حرارتی زباله افزایش می یابد. علاوه بر این میزان مواد فساد پذیر، و به تبع آن، محتوای رطوبت زباله جمع آوری شده از مناطق پُر در آمد نیز، به طور نوعی کمتر است. به همین سبب، ارزش حرارتی زباله خانگی در کشورها و یا مناطق با در آمد بیشتر، بالاتر است.

با توجه به تغییر ترکیب زباله (محتوای رطوبت و نسبت اجزاء آن) در فصول مختلف سال، ارزش حرارتی زباله نیز که تابعی از ترکیب آن است، ثابت نبوده و در طول سال تغییر می کند. بدیهی است که در فصل بارندگی محتوای رطوبت زباله بیش تر، ارزش حرارتی آن کم تر است.

بررسی ها نشان داده است که مقدار زباله تولیدی یک شهر (یا ناحیه) متناسب با میزان جمعیت و میانگین در آمد مردم آن شهر/ ناحیه است. علاوه بر این، ممکن است عوامل دیگری نظیر شرایط اقلیمی، روش های امرار معاش، تراز تحصیلات، باورهای فرهنگی- مذهبی، و رفتار های اجتماعی نیز در مقدار و ترکیب زباله تأثیر بگذارد.

رشد صنعتی عامل مهمی در بالا بردن درآمد سرانه و میزان رفاه مردم، و در نتیجه، تولید بیش‌تر زباله است. با بالا رفتن درجه توسعه اقتصادی، سرانه تولید نیز افزایش می‌یابد. چرا که، با افزایش درآمد، تراز مصرف بالاتر رفته، میزان خرید کالاها، و در نتیجه، تولید زباله نیز افزایش می‌یابد. چرا که، با افزایش درآمد، تراز مصرف بالاتر رفته، میزان خرید کالاها، و در نتیجه، تولید زباله بیشتر می‌شود. به همین سبب، در داخل یک کلان شهر نیز، ممکن است نرخ تولید زباله از منطقه‌ای به منطقه دیگر، به مقدار زیادی تغییر کند. در کل، می‌توان گفت: سرانه تولید زباله در مناطق پُر درآمد، بیش تراز مناطق کم درآمد و یا با درآمد متوسط است. (7)

۲-۳- روش‌های استحصال انرژی از زباله

فن آوری‌های موجود برای بازیافت انرژی از زباله را میتوان در دو دسته کلی فرآیندهای ترموشیمیایی (یا سیستم‌های حرارتی) و فرآیندهای بیوشیمیایی (یا سیستم‌های بیولوژیکی) دسته‌بندی نمود. فرآیندهای بیوشیمیایی نیاز به زباله جامد با محتوای رطوبت کم‌تر بهتر عمل می‌کنند.

مزیت اصلی روش‌های ترموشیمیایی (یا تصفیه حرارتی)، کاهش قابل ملاحظه حجم زباله‌ها، و تولید سریع‌تر و بیش‌تر انرژی است. از دیگر مزایای آن‌ها امکان انهدام مواد سمّی و گندزائی و سترون ساختن زباله‌های بیماری‌زا (بیمارستانی) است. فن آوری‌های مختلفی برای تصفیه حرارتی زباله‌ها بسط یافته است که گسترده‌ترین آن‌ها زباله سوزی، آن‌هم از نوع توده سوزی است؛ که در آن زباله‌ها بدون هرگونه پیش‌پرداختی، مستقیماً به درون زباله سوز خورنده می‌شوند. روش‌های دیگر، پیرولیز، گازی کردن و پلاسما می‌باشند که در آن‌ها زباله جامد شهری تبدیل به گازها و/یا مایعات قابل احتراقی می‌شود که می‌توانند برای تولید حرارت و یا اکتريسيته مورد استفاده قرار گیرند. روش‌های پیرولیز و گازی کردن نیازمند پیش‌پردازش زباله‌های هسته‌ای را می‌توان به این روش پردازش نمود.

زباله‌سوزی، احتراق کامل زباله با تامین اکسیژن اضافی برای دی‌کسید کربن، بخار آب، و خاکستر است. پیرولیز یک فرآیند احتراق جزئی است که در دماهای متوسط و در نبود هوا صورت گرفته و معمولاً یک گاز قابل احتراق و یک جامد بر جا مانده (زغال) تولید می‌کند. گازی کردن در دماهای بالاتر و در حضور یک مقدار کنترل شده هوا یا اکسیژن صورت گرفته و پیشتر مواد جامد را به گاز قابل احتراق تبدیل می‌کند. فناوری پلاسما نیز، در واقع، یک سیستم گازی‌کننده است که در آن، حرارت مورد نیاز برای پیشبرد فرآیند گازی کردن، توسط مشعل پلاسما ایجاد می‌شود.

فناوری بیوشیمیایی (یا بیولوژیکی) نسبت به فن آوری های ترموشیمیایی، در دماهای پایین تر، و با سرعت های کم تری عمل می‌کند. خوراک این فرایندها مواد آلی قابل تجزیه زیستی است. خوراک‌های با محتوای زطوبت بیشتر، عموماً گزینه های بهتری برای فرآیندهای بیوشیمیایی هستند. مواد آلی غیر قابل تجزیه زیستی مانند پلاستیک ها، توسط فرآیندهای بیوشیمیایی قابل تبدیل نمی‌باشند. دو روش متداول استحصال انرژی از زباله به طریق بیوشیمیایی (یا بیولوژیکی) عبارتند از: استفاده از گاز متان تولید شده در دفنگاه زباله. هضم بی‌هوازی یک فرآیند تخمیر باکتریایی است که طی آن مواد آلی قابل تجزیه زیستی، در غیاب اکسیژن توسط باکتری های ویژه ای (که تنها در غیاب اکسیژن زنده می‌مانند) تجزیه شده، تولید یک گاز سوختی می‌نمایند.

این فرآیند در محیط‌های مساعد برای رشد باکتری های بی‌هوازی، نظیر باتلاق ها، شالیزار های برنج، دفنگاه های زباله، تأسیسات تصفیه فاضلاب و غیر نیز، به طور طبیعی اتفاق می‌افتد. گاز سوختی حاصل که بیوگاز نامیده می‌شود، عمدتاً متشکل از گازهای متان و دی‌اکسید کربن بوده و بعد از تمیز شدن می‌تواند به عنوان یک سوخت در موتورهای احتراق داخلی، توربین های گازی، پیل های سوختی فوایلرها و گرمکن های صنعتی، و یا در ساخت مواد شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد.

تباهی مواد فساد پذیر زباله مدفون در دفنگاه، فرآیندی است که به طور طبیعی، در اثر هضم بی‌هوازی صورت می‌گیرد. گاز دفنگاه (یا همان بیوگاز) محصول جانبی اجتناب ناپذیر این فرآیند است که می‌بایست برای حفظ سلامت عمومی و رعایت الزامات زیست

محیطی، از انتشار آن به اتمسفر ممانعت به عمل آید. با جمع آوری و استفاده از این گاز، نه تنها از انتشار آن به اتمسفر جلوگیری می شود، بلکه بعنوان یک منبع انرژی تجدید پذیر و ارزان مورد استفاده نیز قرار می گیرد.

فن آوری های بیوشیمیایی و ترمو شیمیایی در مقایسه با یکدیگر، دارای مزایا معایبی هستند. بازده تبدیل انرژی (انرژی تولید به ازای واحد وزن زباله ورودی)، میزان کاهش در مقدار زباله دفن شونده، و میزان انتشار الاینده ها، سه جنبه ی اصلی در مقایسه فنی روش های موجود استحصال انرژی از زباله می باشند. بازده تولید الکتریسیته در هر یک از این روش ها، بسته به ترکیب زباله ورودی و فن آوری به کار گرفته شده تغییر می کند. محدوده این تغییرات برای روش های موجود استحصال انرژی از زباله، جهت مقایسه، در جدول 1-2 درج شده است (6)

جدول ۱-۲- بازده فناوری های تبدیل انرژی (۶و۵)

فناوری	بازده تبدیل انرژی
احتراق مستقیم	470 تا 930
گازی کردن	400 تا 650
پیرولیز	450 تا 530
گازی کردن با قوس پلاسما	400 تا 501
هضم بی هوازی	75 تا 150
گاز دفنگاه	41 تا 84

اما، به کار گیری فن آوری های استحصال انرژی از زباله صرفاً برای تولید الکتریسیته نبود، بلکه هدف اصلی، کاهش حجم زباله و تبدیل آن به موادی بی ضرر است. انرژی تولیدی نیز صرفاً یک محصول جانبی آن محسوب می شود میزان کاهش در مقدار زباله ای که پس از پردازش توسط هر یک از فن آوری ها، به دفنگاه ارسال می گردد نیز به ترکیب زباله ورودی وابسته است. درصد کاهش وزنی زباله پردازش شونده توسط فن آوری های مختلف، جهت مقایسه، در جدول 2 ارائه شده است (9)

جدول ۲-۲- درصد کاهش وزنی زباله پس از پردازش (۵)

کاهش وزنی زباله (%)	فناوری
75	احتراق مستقیم
94 تا 100	گازی کردن
72 تا 95	پیرولیز
95 تا 100	گازی کردن با قوس پلاسما
0	گاز دفنگاه

از آنجایی که فرآیند هضم بی هوازی تنها بخش فسادپذیر زباله را پردازش می کند، میزان کاهش مقدار زباله در این فرآیند نسبتاً اندک است. علاوه بر این، یک مقدار قابل ملاحظه ای جامدات هضم نشدنی با محتوای رطوبت بالا باقی می ماند که دفع آن مستلزم به کارگیری دیگر روش های دفع است.

اثرات زیان بار فرآیندهای ترموشیمیایی، عمدتاً بر انتشار آلایندها به هوا متمرکز است. فناوری های حرارتی گازی کردن، پیرولیز و قوس پلاسما در طی فرآیند تولید گاز مخلوط از زباله، آلاینده ای منتشر نمی سازند. اما، سوختن این گاز مخلوط در یک بویلر، توربین گازی، و یا موتور احتراق داخلی برای تولید الکتریسیته، منجر به انتشار آلاینده های استاندارد مرتبط با احتراق می گردد. البته، ترازهای کلی انتشار در این موارد، در این مقایسه با زباله سوزی، به طور نوعی پایین تر است. چرا که، سوزاندن یک سوخت گازی، آلاینده های کمتری منتشر می سازد تا سوزاندن یک سوخت جامد مانند زباله جامد شهری، به علاوه، در بعضی از فن آوری ها، گاز مخلوط قبل از آن که به عنوان سوخت مورد استفاده قرار گیرد، تصفیه شده و از برخی آلاینده ها نظیر گوگرد پاک می شود. با جایگزینی سوخت های فسیلی و کاهش انتشار گاز متان دفنگاه، بی شک اثرات این فناوری ها در کاهش انتشار گازهای گلخانه ای نیز قابل ملاحظه خواهد بود. (10)

فناوری های هضم بی هوازی در طی فرآیند تولید بیو گاز آلاینده ای منتشر نمی سازند اما، سوزاندن بیو گاز در یک بویلر، توربین گازی، و یا موتور احتراق داخلی، منجر به انتشار

آلاینده های استاندارد مرتبط با احتراق می گردد. البته، در مقایسه با زباله سوزی، ترازهای کلی انتشار آلاینده ها در این موارد، به طور نوعی پایین تر است. زیرا، (همان طور که پیش تر نیز گفته شد) سوزاندن یک سوخت گازی آلاینده های کم تری منتشر می سازد تا سوزاندن یک سوخت جامد، مانند زباله جامد شهری. میزان انتشار آلاینده ها الی و فلزات سنگین از این فناوری، در مقایسه با زباله سوزی، کمتر است. در واقع، طبیعت فرآیند هضم بی هوازی به گونه ای است که شرایط مورد نیاز برای تشکیل آلاینده های آلی در آن وجود ندارد. فلزات سنگین موجود در زباله نیز نمی توانند به بیوگازی راه یابند که برای سوختن مورد استفاده قرار می گیرد. اما اظهار نظر درباره انتشار جیوه، بررسی بیش تری می طلبد.

سیستم های تسخیر گاز دفنگاه در مقایسه با زباله سوزی، تراز های بسیار پایین تری از آلاینده های آلی و جیوه منتشر می سازند، اما در عین حال، میزان انتشار آلاینده های دیگری نظیر SO_x و NO_x در آنها بیش تر است. همچنین، مقدار قابل ملاحظه ای گاز متان نیز همچنان به اتمسفر رها خواهد شد.

با توجه به مطلب فوق، به نظر می رسد که استفاده از فن آوری های پیرولیز و گازی کردن (معمولی و با قوس پلاسما) کاربردهای ایده آلی برای دفع زباله جامد شهری باشند. اما، این فناوری ها برای کاربرد در مقیاس تجارتي هنوز با موانع فنی مواجه بوده و تأسیسات ساخته شده از آنها صرفاً تأسیساتی برای نشان دادن طرز کار می باشند. گازی کردن، تنها در مقیاس کوچک مقرون به صرفه است. و در مقیاس بزرگ، از نظر اقتصادی، هنوز با زباله سوزی قابل رقابت نیست. بزرگ ترین مانع در به کار گیری پیرولیز در مقیاس های تجارتي، دشواری حذف اکسیژن از زباله جامد شهری، به منظور حفظ و تداوم یک واکنش قوی است. گازی کردن با قوس پلاسما نیز هنوز به اندازه ی کافی بسط نیافته و برای کاربرد در مقیاس تجارتي با موانع فنی مواجه می باشد (5)

همانطور که پیش تر نیز اشاره شد، دفن در دفنگاه و زباله سوزی، دو روش اثبات شده و فراگیر دفع زباله جامد شهری می باشند. مطابق جدول 2-1، میزان استحصال انرژی از زباله به روش زباله سوزی به مراتب بیش تر از (حدود 10 برابر) مقدار آن در صورت دفن زباله در دفنگاه و استفاده از گاز دفنگاه برای تولید انرژی است. ضمن آن که، این برتری با

کاهش قابل ملاحظه حجم زباله نیز همراه می باشد. اما از دیدگاه اقتصادی، هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری از واحدهای زباله سوزی به مراتب بیش تر است.(11)

۲-۴- بخش های فرآیندهای یک واحد زباله سوزی (با استحصال انرژی)

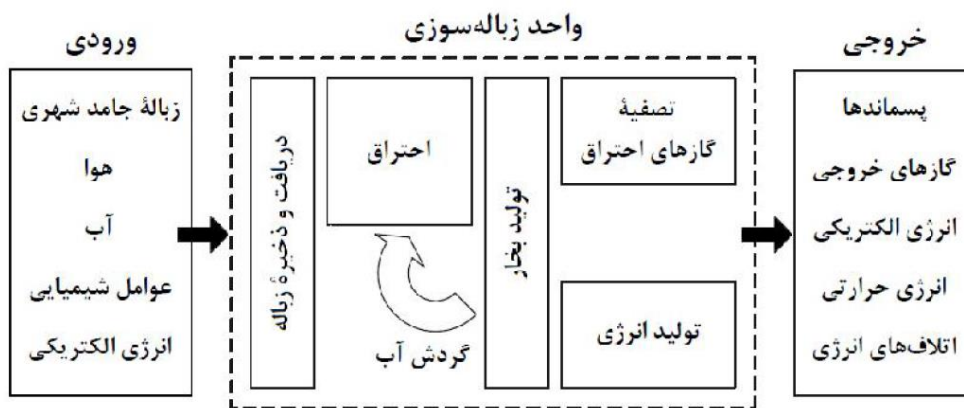
در یک واحد زباله سوزی، برای تصفیه حرارتی و استحصال انرژی از زباله جامد شهری، مراحل گوناگونی طی می شود. این مراحل از تحویل زباله به واحد شروع شده و به تصفیه و/یا دفع مواد برجای مانده از زباله سوزی خاتمه می یابد. زباله ممکن است به همان صورت دریافتی (پردازش نشده) و یا پس از پردازش (پردازش نشده) و یا دفع مواد برجای مانده از زباله سوزی خاتمه می یابد. زباله ممکن است به همان صورت دریافتی (پردازش نشده) و یا پس از پردازش (به صورت سوخت مشتق از زباله^۱) مورد استفاده قرار گیرد. واحدهای توده سوز^۲، زباله را به همان صورت دریافتی (پردازش نشده) مورد استفاده قرار می دهند؛ در حالی که، واحدهای با سوخت مشتق از زباله، نیازمند تأسیسات جداگانه ای برای پردازش زباله و تولید RDF می باشند. واحدهای مَدولار^۳ نیز، که از نظر نوع زباله مصرفی، در حقیقت نوعی واحد توده سوز با سیستم احتراق متفاوت محسوب می شوند ف برای ظرفیت های اندک مورد استفاده قرار می گیرند. از این رو، انتخاب نوع زباله، سوزی، نه تنها به نوع زباله ای که باید سوزانده شود، بلکه به عوامل دیگری نظیر، ظرفیت واحد، الزامات عملکردی مدنظر، بازیافت حرارت و غیر نیز بستگی دارد.

تولید انرژی حرارتی از سوزاندن زباله، تبدیل آن به انرژی الکتریکی، تصفیه گازهای حاصل از احتراق، و تصفیه و یا دفع مواد برجای مانده از زباله سوزی، از دیگر مراحل طی شونده در این واحدها می باشند. ورودی ها و خروجی های یک واحد زباله سوزی، همین طور فرآیندهای نوعی صورت گیزنده در آن ها در شکل 2-3 مشخص شده است.(10)

¹ - REFUSE – DERIVED FUEL (RDF)

² - MASS BURN

³ - MODULAR



شکل ۲-۱- فرایندها و ورودی‌ها و خروجی‌های یک واحد زباله‌سوزی (۹)

واحدهای فرآیندی یک واحد زباله جامد شهری با استحصال انرژی را می‌توان در بخش‌های زیر دسته‌بندی نمود:

۲-۵- دریافت زباله و مدیریت آن

فرآیند زباله‌سوزی با تحویل سوخت به واحد آغاز می‌شود. زباله توسط کامیون‌های جمع‌آوری به تأسیسات ممدیریت (و احتمالاً تفکیک) زباله تحویل می‌شود. برای جلوگیری از آلودگی زیست‌محیطی، تفکیک، تفکیک زباله می‌بایست در شرایط کنترل شده انجام گیرد. مواد قابل بازیافت ممکن است در این شرایط کنترل شده انجام گیرد. مواد قابل بازیافت ممکن است در این مرحله برداشته شوند؛ اگر چه مواد فلزی اغلب بعد از احتراق بازیافت می‌شوند.

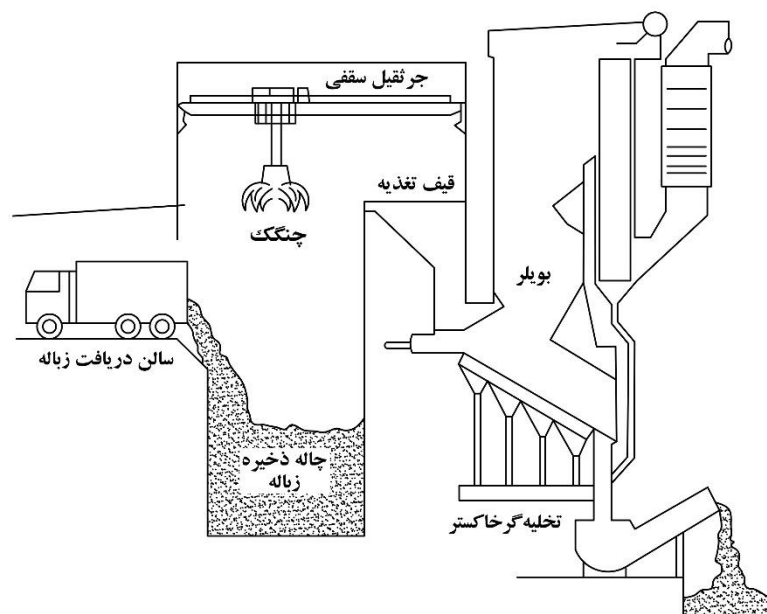
دریافت زباله معمولاً به یکی از سه روش زیر صورت می‌گیرد:

روش اول، چاله ذخیره (یا انبار موقت) و جرثقیل سقفی چنگکی: در این روش، زباله ورودی مستقیماً از کامیون‌های حمل زباله به داخل یک چاله ذخیره تخلیه می‌شود. بعد از برداشت مواد حجیم و غیر قابل احتراق، زباله توسط جرثقیل سقفی چنگکی به قیف منتقل می‌شود. در این روش انجام می‌گیرد. در واحدهای بزرگ توده‌سوزی زباله جامد شهری، روش متداول، استفاده از چاله ذخیره و جرثقیل سقفی است.

روش دوم، سالن دریافت (یا محوطه تخلیه) و نوار نقاله شیب دار: در این روش، زباله‌ی ورودی پس از تخلیه کامیون‌ها، بر روی کف بتونی سالن دریافت (یا محوطه تخلیه)

(تلمبار می شود. در این روش، برای انتقال زباله به قیف تغذیه از نوار نقاله شیب دار استفاده می شود، کار جداسازی مواد حجیم و غیر قابل احتراق، همین طور، قرار دادن زباله بر روی نوار نقاله نیز توسط لودر انجام می گیرد. این روش بیشتر در واحدهای با سوختن مشتق از زباله مورد استفاده قرار می گیرد.

روش سوم مشابه روش دوم است با این تفاوت که در این روش، زباله مستقیماً توسط لودر به داخل قیف تغذیه، که در تراز کف محوطه قرار دارد، تخلیه می گردد. این روش برای تأسیسات کوچکتر از مَدولار، با تغذیه یک جا مناسب است. زباله پس از تخلیه به داخل قیف تغذیه، به طور ثقلی و یا توسط تغذیه گر مکانیکی به داخل کوره خورنده و بر روی شبکه قرار می گیرد.(13)



شکل ۲-۲- چاله ذخیره و جرثقیل سقفی در واحدهای توده سوزی زباله‌ی جامد شهری (۹)

در واحدهای توده سوز که زباله را به همان صورت دریافتی (پردازش نشده) مورد استفاده قرار می دهند، زباله از طریق دریچه (یا درگاه های) موجود بین سالن دریافت و چاله ذخیره، به داخل چاله ذخیره تخلیه می شود. دریچه ها معمولاً قابل بسته شدن می باشند؛ که این می تواند علاوه بر ممانعت از انتشار بو، حفاظت در قبال رخنه آتش و یا سقوط به داخل چاله را فراهم سازد. طراحی چاله ذخیره به گونه ای است که ظرفیت ذخیره

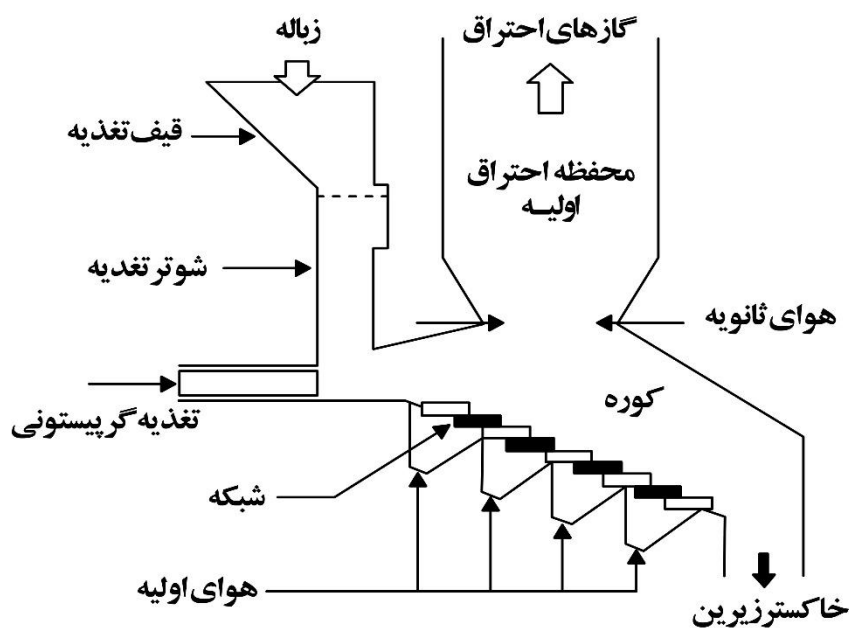
سازی زباله مورد نیاز برای کارکرد دست کم 3 روز واحد، با حداکثر توان پیوسته (mcr) را داشته باشد (10)

در واحدهای با سوخت مشتق از زباله، زباله ورودی ابتدا به واحد تولید rdf ارسال و پس از طی مراحل مختلف پردازش، به صورت سوخت مشتق از زباله، توسط نوار نقاله و یا دیگر وسایل انتقال، به انبار ذخیره و/یا واحد تصفیه حرارتی منتقل می شود.

۲-۶- سیستم تغذیه

تغذیه‌ی زباله سوزهای قدیمی به صورت یک جا و به طوز دستی انجام می گرفت. طراحی این زباله سوزها بر مبنای استفاده‌از شبکه مسطح بود که منجر به سوختن نه چندان کامل زباله و گازهای حاصل از احتراق می شد. در واحدهای توده سوزی جدید، به کارگیری سیستم تغذیه پیوسته، همراه با توسعه شبکه های رفت و برگشتی شیب دار، همین طور، توزیع بهتر هوای اولیه، اصلاح فرآینده احتراق و در نتیجه، بهبود قابل توج عملکرد سیستم توده سوزی را به دنبال داشته است.

امروزه در واحدهای بزرگ توده سوزی، زباله جامد شهری توسط یک جرثقیل سقفی با پُل متحرک و یک چنگک از نوع برگ کاکتوسی یا پوست پرتقالی (به شکل پوستی کنده شده پرتقال) از چاله ذخیره به قیف تغذیه منتقل می شود. برای جلوگیری از بیرون ریختن (سرریز) زباله، قیف تغذیه به اندازه کافی بزرگ و با شیب هایی به اندازه کافی تند (برای جلوگیری از مسدود شدن در اثر ایجاد پُل) در نظر گرفته می شود. قیف تغذیه در بالای شوتر (کانال عمودی) تغذیه، که زباله را به داخل کوره هدایت می کند ظرف قرار می گیرد (شکل 2-3 را ببینید). (14)



شکل ۲-۳- طرح شماتیک کوره و سیستم تغذیه در واحدهای توده سوزی (۹)

زباله جامد شهری از انتهای شوتر تغذیه توسط یک شبکه جابجاشونده، و یا یک تغذیه گریستونی با مکانیزم هیدرولیکی، به داخل کوره منتقل می شود. سیستم پیستونی نسبت به سیستم قدیم تر شبکه ای، امکان کنترل بهتر تغذیه ی زباله به داخل کوره را فراهم می سازد.

در واحد های با سوخت مشتق از زباله، معمولاً ماده سوختی منتقل شده توسط نوار نقاله، به وسیله یک سیستم هواچرخان به داخل کوره پاشیده می شود. این مواد به طور جزئی، در هنگام معلق بودن، و به طور کامل، پس از فرود بر روی شبکه های واقع در ته کوره می سوزند.

۲-۷- تصفیه حرارتی

روش متداول تصویه حرارتی زباله، سوزاندن مستقیم آن در یک محفظه احتراق (کوره) با شبکه مخصوص است ؛ فرآیندی که اغلب توده سوزی نامیده می شود. روش دیگر استفاده از سیستم احتراق بستر شناور است. از آنجایی که چنین سیستمی برای سوزاندن سوخت های همگن مناسب است، زباله جامد شهری قبل از استفاده در این سیستم، نیازمند پردازشی تبدیل به سوخت مشتق از زباله است، که هم از نظر اقتصادی هزینه بر، و هم از

نظر فنی دشوار است. به همین سبب، این سیستم، کم‌تر برای سوزاندن زباله جامد شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روش دیگر، استفاده از دوار است. از کوره های دوار معمولاً برای سوزاندن زباله با ارزش حرارتی پایین، و یا زباله خطرناک استفاده می‌شود. اما، هنگامی که ارزش حرارتی زباله جامد شهری نسبتاً زیاد (بیشتر از 7 مگاژول بر کیلو گرم) باشد، سوزاندن آن در کوره با شبکه متحرک، را حلی است که هم از نظر فنی و هم از نظر اقتصادی، برای زباله جامد شهری مناسب بوده و به طور فراگیر استفاده می‌شود. در این فن آوری، زباله تخلیه شده توسط جرثقیل سقفی چنگکی به داخل قیف تغذیه، توسط یک پیستون هیدرولیکی (و یا یک سیستم انتقال دیگر)، از انتهای شوتر تغذیه به روی شبکه که محل سوختن آن است، قرار می‌گیرد. (شکل 3 را ببینید) عبور زباله از میان نواحی مختلف کوره، توزیع مناسب هوای اولیه (مطابق با نیازهای احتراق)، و فراهم ساختن امکان کنترل عملکرد کوره، از وظایف اصلی شبکه زباله سوزی است. شبکه، زباله را در یک حرکت توأم با غلتیدن از میان نواحی مختلف کوره عبور می‌دهد. انواع گوناگونی از شبکه وجود دارد که بسته به نوع زباله سوز و زبالل ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرند. (15)

هوای موردنیاز احتراق توسط یک فن (یا فن های) دمنده از محل تخلیه زباله (چاله ذخیره) تأمین می‌شود. بسته به شرایط کوره و درجه حرارت آن، مقداری از هوای احتراق از زیر شبکه (هوای اولیه یا هوای زیر آتش) و مابقی آن از بالای شبکه (هوای ثانویه یا هوای روی آتش) تزریق می‌گردد. منظور از تأمین هوای ثانویه، احتراق کامل گازهای برخیزنده از بستر زباله است.

حاصل این فرآیند، گازهای داغ حاصل از احتراق (اساساً متشکل از دی اکسید کربن و بخار آب) و مواد غیر قابل احتراق بر جامنده به صورت جامد، شامل فلزات، شیشه، سنگ ها و غیره است که همان خاکستر زیرین می‌باشد.

۲-۸- بازیافت انرژی

گازهای حاصل از احتراق زباله، که حامل بیشتر انرژی آزاد شده در کوره می باشند، می بایست قبل از ورود به سیستم کنترل آلودگی هوا، سرد شوند. برای این منظور، معمولاً از بویلر، یک نیاز فنی برای بازیافت انرژی نیز هست. در واحدهای مدولار، معمولاً برای بازیافت انرژی از بویلرهای بازیافت حرارت^۱ و یا مبدل های حرارتی استفاده می شود. در واحدهای بزرگ، این تجهیزات در قالب یک بویلر (مولد بخار)، با کوره زباله سوزی به صورت یک پارچه در نظر گرفته می شوند. به گونه ای که، کوره (یا محفظه ی احتراق) بخشی از بویلر را تشکیل می دهد. نوع بویلر بستگی به شکل انرژی تولیدی داشته و می تواند به صورت های زیر باشد:

مولد آب داغ، برای تولید حرارت تنها، مورد استفاده جهت گرمایش محلی (و یا سرد کردن گازها و حذف حرارت اضافی، در صورتی که هیچ بازیافت انرژی ای هم صورت نگیرد)؛

مولد بخار کم فشار، برای تولید بخار فرآیند مورد استفاده در صنایع مختلف، و یا تبدیل به آب داغ برای گرمایش اماکن ؛ و مولد بخار پُر فشار، برای تولید الکتریسیته و یا ترکیبی از الکتریسیته و بخار فرآیندی.

مولد های آب داغ در طراحی، بهره برداری و نگه داری نسبتاً ساده، و هزینه های آن ها نیز نسبتاً کم است. اما اگر یک شبکه ی گرمایش محلی در دسترس نبوده، و در عوض، مصرفی برای بخار فرآیندی وجود داشته باشد، می توان از یک مولد بخار کم فشار برای بازیافت انرژی استفاده نمود. در صورتی که هدف تولید الکتریسته باشد، باید از یک مولد بخار پُر فشار استفاده کرد.

به سبب بازده بالاتر، بازیافت انرژی از یک مولد بخار پُر فشار می تواند نسبت به یک مولد آب داغ یا بخار کم فشار قابل ملاحظه تر باشد؛ با این حال، به علت طبیعت بسیار خورنده گازهای حاصل از احتراق، رابط مل معکوسی بین پارامتر های بخار تولیدی و قابلیت

^۱ -HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR (HRSG)

اعتماد بویلر وجود دارد؛ به طوری که، معمولاً پارامترهای بخار به یک حداکثر دمای حدود 400 درجه سلسیوس و فشار حدود 40 بار محدود می شوند. (7 و 11)

بخار داغ و پر فشار خروجی از بویلر، می تواند برای تولید الکتریسیته در یک مجموعه توربین - ژنراتور به کار گرفته شود. بخار ورودی به توربین بخار منبسط شده، انرژی حرارتی آن تبدیل به انرژی مکانیکی محور توربین می گردد. توربین بخار نیز به نوبه خود، با به گردش در آوردن مولد برق، تولید الکتریسیته می نماید. بخار تولیدی هم چنین می تواند به عنوان یک منبع حرارتی در فرآیندهای صنعتی و یا گرمایش اماکن، و یا در یک سیستم تولید هم زمان حرارت و الکتریسیته مورد استفاده قرار گیرد.

بخاری داغ و پر فشار با عبور از توربین بخار و از دست دادن بخشی از انرژی خود، تبدیل به بخار کم فشار می گردد.

از آنجایی که فرآیندهای تبدیل انرژی در یک چرخه (یا سیکل) آب - بخار صورت گرفته و سیستم متشکل از یک مدار بسته است، لازم است بخار خروجی از توربین مجدداً تبدیل به آب شده تا امکان پمپ کردن مجدد آن به بویلر فراهم آید. این وظیفه را کندانسور و سیستم خنک کننده بر عهده دارند. (16)

۲-۹- تصفیه گازهای حاصل از احتراق

برای آن که گازهای حاصل از احتراق یک واحد زباله سوزی بتوانند به اتمسفر رها شوند، باید به حدّ کافی تمیز شوند. گازهای حاصل از احتراق زباله جامد شهری، علاوه بر ذرات غیر قابل سوختن (خاکستر معلق)، محتوی گازهای آلاینده، و همین طور، آلاینده های آلی و فلزات سنگین می باشند.

به منظور حذف یا کاهش غلظت آلاینده ها در گازهای حاصل از احتراق، و رساندن آن ها به مقادیر مجازی الزام شده در استانداردهای زیست محیطی زیست محیطی قبل از تخلیه به اتمسفر از طریق دودکش، همه زباله سوزهای جدید مجهز به سیستم های کنترل آلودگی هوا (یا تصفیه گازها) می باشند. سیستم کنترل آلودگی هوا، مجموعه ای است مرکب از تجهیزات (و یا واحدهای فرآیندی) مجزا، که برای فراهم ساختن امکان یک تصفیه کلی

و کار آمد گاز های حاصل از احتراق و حذف یا کاهش غلظت آلاینده ها، در کنار یکدیگر قرار می گیرند. بسته به نوع آلاینده ای که جذب آن محور اصلی فرآینده است، تجهیزات کنترل آلودگی هوا را می توان به صورت زیر دسته بندی نمود(17)

تجهیزات حذف ذرات معلق

تجهیزات حذف گازهای اسیدی

تجهیزات حذف اکسید نیتروژن

تجهیزات حذف ترکیبات آلی و فلزات سنگین

معرفی این تجهیزات در ادامه خواهد آمد.

برای جبران افت های ناشی از عبور گازهای حاصل از احتراق از تجهیزات کنترل آلودگی هوا، همین طور، برای تأمین هوای احتراق، ممکن است نیاز به یک فن مکند¹ باشد. گازها توسط فن مکند¹ از میان بویلر و واحد تصفیه گاز مکیده شده، به دودکش هدایت، و از طریق آن به اتمسفر تخلیه می شوند. انتشار گازهای تصفیه شده، دائماً توسط تجهیزات ویژه ای مورد پایش قرار می گیرد. این پایش، امکان قرائت پیوسته انتشار آلاینده ها و سنجش آن ها با حدود مجاز را فراهم می سازد. در صورت وجود مغایرتی در تراز آلاینده ها، علائم هشدار دهنده فعال شده و اقدامات اصلاحی صورت می گیرد.(18)

۲-۹-۱- مدیریت، تصفیه و دفع مواد برجای مانده

محصولات نهایی احتراق، علاوه بر گازهای حاصل، مواد جامد بر جای مانده ای است که شامل خاکستر زیرین و خاکستر معلق می باشند. خاکستر زیرین، متشکل از مواد غیر قابل احتراق برجای مانده از سوختن زباله است که از انتهای کوره خارج می شوند. مواد معدنی، سرامیک، شیشه، و فلزات آهنی و غیر آهنی، محفظه احتراق را به صورت خاکستر زیرین ترک می کنند. مقدار معینی از نمک ها، مانند کلرایدهای فلزات قلیایی، همین طور، سولفات ها هم در خاکستر برجای مانده یافت می شود.

¹ - INDUCED DRAFT FAN

چنانچه خاکستر زیرین به قدر کافی بی خطر باشد، پس از بازیافت فلزات آهنی و احیاناً غیر آهنی، نظیر آلومینیم، می تواند بدون اعمال هرگونه فرآیند تصفیه یا پایدار سازی، مستقیماً در دفن‌گاه دفن، و یا پس از انجام عملیاتی بر روی آن، به عنوان عنوان مصالح ساختمانی (سنگ دانه)، در احداث جاده ها مورد استفاده قرار گیرد.

ذرات ریز جامدی را که از کوره گریخته و با گاز های حاصل از احتراق خارج می شوند، خاکستر معلّق می نامند. این ذرات ریز اغلب حاوی ترازهای بالای فلزات سمی بوده و لازم است قبل از خروج از دودکش تسخیر شده و در یک دفن‌گاه ویژه دفن گردند. (19)

۲-۱۰-۱- اقتصاد زباله سوزی

زباله سوزی رویکردی پُرهزینه در مدیریت زباله جامد شهری است. احداث یک واحد زباله سوزی مستلزم صرف هزینه های بالای سرمایه گذاری است که در صد بالایی از آن می بایست به صورت ارزی تأمین شود. کلاً این هزینه ها مربوط به زمان احداث واحد بوده و باید قبل از شروع بهره برداری صرف گردد. بهره برداری از واحد و حفظ و نگهداری آن به صورت فعال و کارا هم نیازمند صرف هزینه است. از طرف دیگر، با اتمام طول عمر طراحی شده واحد، یا می بایست با یک سرمایه‌گذاری مجدد برای تجهیزاتی که طول عمر مفید آن ها به سرآمده، واحد را فعّال نگه داشت؛ و یا با صرف هزینه های لازم، اقدام به توقّف واحد و برچیدن تجهیزات آن نمود. (21)

۲-۱۰-۱- بر آورد هزینه‌ها

در سیستم‌های مدیریت زباله جام شهری، یکی از نیازهای اساسی برای طرح ریزی اولیه، و یا مقایسه تحلیلی سیستم های جایگزین، برآورد هزینه هاست. اطلاعات انتشار یافته در زمینه هزینه های مدیریت زباله جامد شهری، اغلب پراکنده و منعکس کننده موارد خاص می باشد. ضمن آن که، این هزینه ها ثابت نبوده و ممکن است بسته به سیاست های مدیریت و تصفیه زباله، از منطقه ای/کشوری به منطقه/کشور دیگر به طور فاحشی تغییر کند

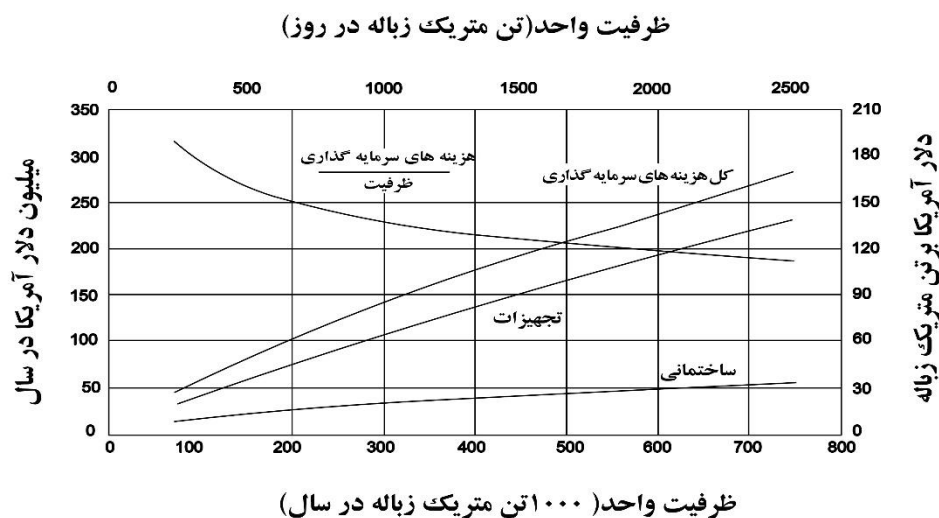
در الزامات انتشار، تفاوت در هزینه های اداری و حقوق کارکنان و غیره نیز اختلاف های قابل توجهی را موجب می گردند. (20)

۲-۱۰-۲- هزینه های سرمایه گذاری

هزینه های سرمایه گذاری، هم هزینه های مربوط به فعالیت های مقدماتی، شامل مکان-یابی، ارزیابی زیست محیطی، بررسی آب های سطحی و زیر زمینی، تصرف زمین، و طراحی واحد؛ و هم هزینه های مربوط به عملیات احداث، شامل تسطیح زمین، انجام گودبرداری ها، احداث پی ها (فونداسیون ها) و ساختمان ها و دیگر کارهای ساختمانی، تهیه، نصب و راه اندازی تجهیزات و ماشین آلات، تأمین تجهیزات جانبی (برای حمل و پیش پردازش زباله) و تأمین امکانات زیر بنایی (مانند احداث جاده های دسترسی، آب رسانی، سیستم فاضلاب، ارتباط با شبکه برق، و غیره) را در برمی گیرد.

هزینه های سرمایه گذاری یک واحد زباله سوزی، به عوامل زیادی، به ویژه، به ظرفیت واحد، و ارزش حرارتی پایین زباله ورودی بستگی دارد. میزان هزینه های سرمایه گذاری به ازای هر تن ظرفیت، برای واحدهای کوچک (با ظرفیت پایین)، بیش تر از مقدار ان برای واحد های بزرگ (با ظرفیت بالا) است.

شکل 2-1 هزینه های سرمایه گذاری واحدهای زباله سوزی را به صورت تابعی از ظرفیت سالانه (و یا روزانه) واحد نشان می دهد. در این برآوردها، که توسط بانک جهانی و براساس اطلاعات سال 1998 به عمل آمده، ارزش حرارتی پایین 9 مگاژول بر کیلوگرم، به عنوان مبنای طراحی، برای زباله ورودی در نظر گرفته شده است. (21)



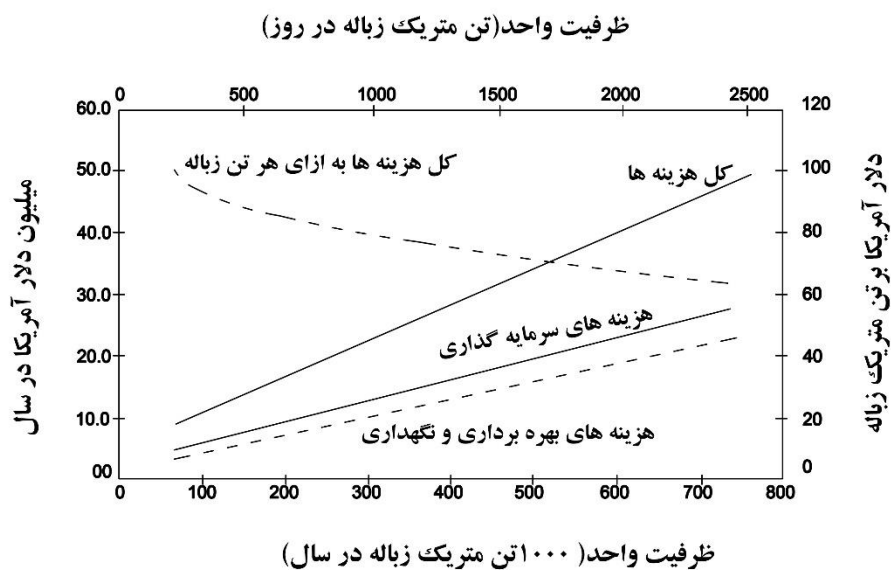
شکل ۲-۴- هزینه‌های سرمایه‌گذاری واحدهای زباله‌سوزی (برآورده شده در سال ۱۹۹۸) (۷)

۲-۱۰-۳- هزینه کلی زباله سوزی

اگر هزینه سرمایه‌گذاری عامل بسیار مهمی در ارزیابی اقتصادی است؛ اما، هزینه کلی سالانه واحد، که همه هزینه‌های بهره‌برداری را نیز شامل می‌شود، معیار قاطع‌تری در بررسی اقتصاد زباله‌سوزی به دست می‌دهد. هزینه کلی سالانه یک واحد زباله‌سوزی، در حقیقت، مجموع هزینه‌های زیر است:

- هزینه‌های بهره‌برداری و نگه‌داری
- استهلاک سرمایه (بر مبنای طول عمر مفید واحد و تجهیزات)
- سهم سالانه هزینه‌های لازم برای برچیدن واحد

شکل ۲-۲ هزینه‌های کلی واحدهای زباله‌سوزی را به صورت تابعی از ظرفیت سالانه (و یا روزانه) واحد نشان می‌دهد. در این برآوردها، که توسط بانک جهانی بر اساس اطلاعات سال ۱۹۹۸ به عمل آمده، ارزش حرارتی پایین ۹ مگاژول بر کیلوگرم، به عنوان مبنای طراحی، برای زباله ورودی در نظر گرفته شده است. محاسبه هزینه کلی زباله‌سوزی نیز با احتساب نرخ بهره واقعی ۶٪ و طول عمر ۱۵ سال برای واحد صورت گرفته است. (۲۱)



شکل ۲-۵- هزینه‌های کلی واحدهای زباله‌سوزی در سال (برآورده شده در سال ۱۹۹۸) (۷)

۲-۱۰-۴- هزینه خالص زباله سوزی

هزینه خالص زباله سوزی، حاصل جمع جبری هزینه‌ها و برآمدهای حاصل از دفع زباله به روش زباله سوزی است. چنانچه در آمده بالقوه حاصل از فروش انرژی مواد بازیافتی، از هزینه کلی زباله سوزی کسر گردد، هزینه خالص زباله سوزی به دست خواهد آمد.

هزینه خالص دفع زباله به روش زباله سوزی، در مقایسه با روش جایگزین (معمولاً، دفن) بالاتر است. هزینه خالص دفع زباله به روش زباله سوزی، بسته به هزینه‌های واقعی واحد (که متأثر از ظرفیت آن است) و منافع حاصل از فروش انرژی، طبق برآورده‌های بانک جهانی، به طور معمول بین ۲۵ تا ۱۰۰ دلار آمریکا (با میانگینی حدود ۵۰ دلار آمریکا) به ازای هر تن زباله‌ای است که سوزانده می‌شود. در حالی که، محدوده تغییرات هزینه خالص دفن زباله، بسته به کیفیت دفن‌گاه (برای مثال تعداد لایه‌های پوششی و وضعیت تصفیه شیرابه)، ۱۰ تا ۴۰ دلار آمریکا به ازای هر تن زباله می‌باشد. با توجه به هزینه خالص دفع زباله، یک مورد بحرانی در اجرای واحدهای زباله سوزی محسوب می‌شود. (۷)

۲-۱۰-۵- تأمین مالی

منابع اصلی تأمین مالی تأسیسات زباله سوزی، درآمد خالص از پرداخت های مردم استفاده کننده (بهای خدمات)، در آمد حاصل از فروش انرژی (الکتریکی و یا حرارتی) و مواد بازیافتی، و یارانه های عمومی است. این صورت های تأمین مالی مانع الجمع نبوده و معمولاً توأم باهم استفاده می شوند.

تأسیسات زباله سوزی، ممکن است به صورت خصوصی و یا عمومی تأمین مالی گردند. تأسیساتی که به صورت خصوصی اداره و بهره برداری می شوند، نیازمند یک جریان پایدار زباله، با یک «بهای تخلیه»^۱ تضمین شده می باشند. چرا که، سرمایه سرمایه گذار، برای مدت در نظر گرفته شده به عنوان عمر مفید واحد به یک فناوری خاص، آن هم طرحی با ویژگی ها و شرایط مختص خود گره می خورد از این رو لازم است هزینه های سرمایه گذاری، بهره برداری و سود سرمایه گذار، با تحویل یک مقدار ثابت و مشخص زباله، و یا جریمه نقدی، در صورت عدم تأمین مناسب آن، تضمین گردد.

تأمین مالی عمومی زمانی است که یک یا چند شهرداری اقدام به سرمایه گذاری در این خصوص می نمایند. دولت نیز ممکن است با صدور الزاماتی، موجبات کاهش هزینه ها را فراهم آورد و یا برای تأمین مالی پروژه، اقدام به افزایش مالیات ها و عوارض نماید. اگر چه در این حالت، دیگر قراردادهای تضمینی مطرح نیست؛ اما، لزوم تأمین زباله کافی، با محتوای انرژی مناسب، روی یک زوال پایدار (در طول عمر پیش بینی شده)، برای تأسیسات زباله سوزی، همچنان به قوت خود باقی است. (22)

۲-۱۰-۶- درآمد حاصل از پرداخت های (بهای خدمات)

^۱ - «بهای تخلیه» (TIPPING FEE)، یا «بهای دم در» (GATE FEE)، شارژ یا بهای تعیین شده برای دریافت یک مقدار معین (برای مثال، یک تن) زباله، در یک واحد پردازش آن است.

ساختار تأمین مالی باید امکان ارائه خدماتی را فراهم سازد که دریافت کننده های این خدمات می توانند و مایل هستند هزینه آن را پرداخت نمایند. اگرچه تعرفه های متوسط نباید از معیارهای قابل قبول استطاعت عمومی فراتر رود. چنانچه مردم آن را فراتر از استطاعت خود ببینند. در پی جایگزین های نامناسب دفع زباله بر خواهند آمد. بانک های توسعه بین-المللی، حداکثر تراز قابل قبول برای بهای زباله را 3 یا 4 درصد در آمد خانواده می دانند. از این رو، انجام بررسی ها و پیش بینی های طویل المدت بر روی درآمد خانواده ها و وضعیت مالی صنایع محلی، به منظور تعیین میزان استطاعت مردم، ضروری است. (27)

۲-۱۰-۷- درآمد حاصل از فروش انرژی

با توجه به هزینه ها (سرمایه گذاری و بهره برداری) بالای تأسیسات زباله سوزی و بازه الکتریکی نسبتاً پایین آن ها، بهای تمام شده الکتریسیته تولیدی به رو زباله سوزی، در مقایسه با دیگر روش های متداول تولید انرژی الکتریکی، بسیار زیاد است. اما، هدف اصلی از تأسیس یک واحد زباله سوزی، کاهش حجم زباله و تبدیل آن به موادی بی ضرر بوده و انرژی تولیدی صرفاً یک محصول جانبی آن محسوب می شود؛ که فروش آن (حتی با بهایی معادل نرخ بازار) می تواند هزینه های سالانه تأسیسات را به طور قابل ملاحظه ای کاهش دهد. اما بهای تمام شده الکتریسیته تولیدی به روش زباله سوزی، در چه حدی است؟

به فرض آن که هدف اصلی از تأسیس نیروگاه زباله سوز تولید الکتریسیته باشد. با توجه به هزینه های سرمایه گذاری و کلی ارائه شده در شکل های 2-1 و 2-2، برای یک واحد زباله سوزی با ظرفیت 500 تن در روز زباله جامد شهری با ارزش حرارتی 9 مگاژول بر کیلو گرم، و بازده الکتریکی 20٪، هزینه سرمایه گذاری اولیه حدود 8,000 دلار آمریکا به ازای هر کیلو وات توان تولیدی، و هزینه کلی بهره برداری حدود 175 دلار آمریکا به ازای هر مگا وات ساعت انرژی الکتریکی تولید خواهد بود. این در حالی است که، طبق

گزارش به روز شده آژانس بین المللی انرژی^۱ در سال ۲۰۰۵ میلادی، هزینه احداث نیروگاه های با سوخت گاز طبیعی، بین ۴۰۰ تا ۸۰۰ دلار آمریکا به ازای هر کیلووات توان الکتریکی تولیدی؛ نیروگاه های با سوخت زغال سنگ، بین ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ دلار آمریکا به ازای هر کیلووات توان الکتریکی تولیدی؛ و نیروگاه های با سوخت هسته ای بین، ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ دلار آمریکا به ازای هر کیلووات توان الکتریکی تولیدی است. هزینه کلی تولید الکتریسیته (با احتساب هزینه های سرمایه گذاری اولیه، بهره برداری و نگه داری، سوخت، و بازگشت سرمایه) نیز در نیروگاه های با سوخت گاز طبیعی، با احتساب نرخ بهره ۵ درصد، بین ۳۷ تا ۶۰ دلار آمریکا به ازای هر مگاوات ساعت انرژی الکتریکی تولیدی؛ در نیروگاه های با سوخت زغال سنگ، بین ۲۵ تا ۵۰ دلار آمریکا به ازای هر مگاوات ساعت انرژی الکتریکی تولیدی؛ و در نیروگاه های با سوخت هسته ای، بین ۲۱ تا ۳۱ دلار آمریکا به ازای هر مگاوات ساعت انرژی الکتریکی تولیدی است. (۴۰)

ولی همان طور که پیش تر نیز گفته شد، هدف اصلی از احداث واحد های زباله سوزی تولید الکتریسته نیست. بلکه الکتریسته تولیدی صرفاً یک محصول جانبی آن محسوب می شود که درآمد حاصل از فرو آن می تواند بخشی از هزینه های واحد را پوشش دهد.

۲-۱۰-۸- یارانه های عمومی

یارانه های عمومی که به شکل های گوناگونی از حکومت محلی (دولت) و یا سازمان های اعطا کننده دریافت می شوند، می توانند میزان تعرفه مربوط به استفاده کننده ها را کاهش دهند. این یارانه ها در قالب تأمین مالی بلاعوض، اعطای وام برای خرید تجهیزات واحد، و یا وضع مالیات های عمومی و عوارض ارائه می گردند. تأمین مالی یارانه ها، معمولاً از بودجه و یا از مالیات ها و عوارض زیست محیطی مربوط صورت می گیرد.

^۱ -INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA)

در پروژه هایی که با کاهش انتشار گازهای گلخانه ای همراه می باشند، می توان از دریافت اعتبار کربن^۱ و فروش آن نیز برای تأمین مالی پروژه استفاده نمود. اعتبار کربن یک سند یا مجوز تجاری، بیانگر حق انتشار یک تن متریک دی اکسید کربن معادل است، که می تواند مورد خرید فروش واقع شود. (23)

۲-۱۱- مزایا و معایب زباله سوزی

مزیت اصلی زباله سوزی، کاهش حدود 90٪ حجم زباله جامد شهری، حدود 70٪ وزن آن است. علاوه بر این، به دلیل گازی کردن و تخریب مواد آلی (مه در غیر این صورت می بایست تحت تجزیه بیولوژیکی در دفنگاه قرار گیرند)، مواد برجامانده از زباله سوزی به لحاظ فیزیکی پایدار می باشند. هم چنین، دمای بالای فرآیند، با تخریب کامل همه ارگانیسم-هایی که در صورت دفع زمینی سبب بروز بیماری ها می گردند، موجب ضد عفونی شدن در جریان زباله می شود. فرآیند احتراق همه مواد انتشار دهنده بو در زباله را از بین برده، خاکستر زیرین و خاکستر معلق آن، بعد از خنک شدن، سترون بی بو هستند.

به علاوه، دیدیم که تولید الکتریسته از سوزاندن زباله جامد شهری می تواند منجر به یک کاهش خالص انتشار گازهای گلخانه ای گردد. البته، استفاده از گاز دفنگاه برای تولید الکتریسته نیز با کاهش میزان متان منتشر به اتمسفر، کاهش انتشار گازهای گلخانه ای را به همراه دارد. اما، به علت نا کار آمدی نسبی در تسخیر کامل گاز دفنگاه، به هر حال، مقدار قابل ملاحظه ای گاز متان همچنان به اتمسفر رها خواهد شد. (25)

در کل، مزایای قابل توجه زباله سوزی را میتوان به اختصار چنین بیان نمود:

- حجم و جرم زباله به کسری از مقدار اولیه آن کاهش می یابد؛
- کاهش زباله بلادرنگ بوده و به زمان های طویل واکنش های بیولوژیکی تخریب بستگی ندارد؛
- تخریب مواد آلی و سمی، موجب پایداری فیزیکی و ضد عفونی (سترون) شدن جریان زباله می شود؛

¹ - CARBON CREDIT

- در صورت بازیات حرارت، می توان با فروش انرژی، هزینه بهره برداری را تا حدودی جبران نموده؛
 - انتشار آلاینده ها (به هوا، آب و خاک) می تواند برای رسیدن به حدود مجاز زیست محیطی کنترل گردد؛
 - میزان انتشار گازهای گلخانه ای کاهش می یابد؛
 - هزینه های حمل و نقل کاهش می یابد؛ (تأسیسات زباله سوزی می توانند در فاصله نزدیک تری به مناطق جمع آوری زباله احداث شوند.) و
 - سبب ایجاد فرصت های شغلی، با مهارت های فنی و دستمزد های بالا می گردد.
- از طرف دیگر، زباله سوزی یک گزینه هزینه بر است؛ هم در سرمایه گذاری، و هم در بهره برداری به طوری که در برخی موارد، به علت زیاد بودن هزینه سرمایه گذاری اولیه، ممکن است راه حل عاقلانه ای به نظر نرسد. علاوه بر این، به علت هزینه های زیاد سرمایه گذاری و درجه بالای وابستگی شهر به در دسترس بودن مداوم و کارآمد واحد برای رفع نیازهای مدیریت زباله، ریسک موردی بسیار حائز اهمیت در پروژه های زباله سوزی است. معایب زباله سوزی (که طبیعتاً انتقادهایی هم به دنبال دارد) را می توان به اختصار برشمرد:
- نیاز به هزینه سرمایه گذاری بالا و بهره برداران آموزش دیده، که منجر به هزینه های نسبتاً زیاد بهره برداری می گردد؛
 - به علت هزینه سرمایه گذاری بالا و نیاز به در دسترس بودن مداوم و کارآمد آن برای دفع زباله، با مخاطرات (ریسک های) فنی و اقتصادی همراه می باشد؛
 - با توجه به شرایط حاکم بر واحدهای زباله سوزی، نیاز به ایجاد انگیزه و حفظ کارکنان است؛
 - برای نیل به دماهای بالای مورد نیاز جهت احتراق زباله، در شرایطی نیاز به سوخت کمکی می باشد؛
 - برای دفن پسماندهای بر جای مانده (به ویژه ؛ خاکستر معلق و پسماندهای تصویه گازها) نیاز به دفنگاه اختصاصی است صویه گازها (نیاز به دفنگاه اختصاصی است؛

- بهتر است برخی از مواد سوزانده نشوند؛ زیرا آنها : برای بازیافت. با ارزش تر می باشند
غیر قابل احتراق می باشند و یا محصولات جانبس احتراق آن ها می توانند انتشار
آلاینده ها را افزایش دهند؛(26)
- عملکرد ضعیف واحد و حضور کلر در زباله جامد شهری می تواند منجر به انتشار
دی اکسین ها و فوران ها گردد؛
- برای زباله های غیرآلی محتوی فلزات سنگین، نظیر آرسنیک، کادمیوم، کرم، مس، سرب،
جیوه، نیکل و غیره، ممکن است کنترل انتشار فلزات دشوار باشد.

۲-۱۲- روشهای ارزیابی قابلیت اطمینان

با توجه به اینکه در هر مسئله ای شاخص مناسبی در بیان قابلیت اطمینان سیستم،
منطبق بر مفاهیم کاربردی آن بکار می رود، روش های ارزیابی مختلفی در ارتباط با شاخص
های مناسب مسائل نیز وجود دارد بطور کلی دو روش عمده برای ارزیابی قابلیت اطمینان
مطرح می باشد (26)

1-روش تحلیلی

2-روش شبیه سازی

۲-۱۲-۱- روشهای بهسازی قابلیت اطمینان

راههای اصلی بهسازی قابلیت اطمینان در یک سیستم بصورت کلی عبارتند از :

1- کیفیت

2- تجربه نیروی انسانی

3- کاربرد عناصر مازاد

4- ایجاد تنوع یا عضوهای مازاد

5- نگهداری یدکی و اجرای تعمیرات پیشگیرانه

وقتی که کاربرد مازاد برای یک سیستم در نظر گرفته می شود اگرچه اجزاء مشابه
مزایایی دارد ولی توصیه می شود از سازندگان مختلف تامین گردد یا اینکه از اجزاء غیر

مشابه استفاده شود منطق حاکم این توصیه بر احتراز از تکرار نقاط ضعف اجزاء ضعیف تر مبتنی است

۲-۱۲-۲- اطلاعات قابلیت اطمینان

گردآوری اطلاعات از دو راه میسر است:

1- آزمایشات تجربی

2- اطلاعات ضمن بهره برداری

روش دوم در سایر موقعیت ها بایستی استفاده شود این اطلاعات در مرورهای بعدی در طراحی، با ایجاد حلقه بازگشت اطلاعات و برای بهسازی قابلیت اطمینان به کار می روند مطالعه روند تغییرات قابلیت اطمینان در یک سیستم در حال کار و گردآوری اطلاعات مناسب، دارای منافع متعددی از قبیل ارزیابی عملکردهای قبلی و کاربرد آن برای پیش بینی آینده است. (29)

۲-۱۳- محاسبه شاخص های قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان یک احتمال است که بصورت زیر تعریف می شود:

" قابلیت اطمینان یک وسیله یا یک سیستم عبارتست از احتمال اینکه آن وسیله یا سیستم تحت شرایط معینی در مدت زمان معین t عملکرد موفقیت آمیزی داشته باشد و دچار خطا نشود " زمان t را یک سال در نظر می گیرند.

تابع چگالی احتمال خرابی

احتمال اینکه متغیر تصادفی پیوسته بروز خطا T در فاصله زمانی بین t_1 و t_2 باشد بصورت زیر تعریف می شود:

$f(t)$ تابع چگالی احتمال خرابی سیستم می باشد.

$$P(t_1 < T < t_2) = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt \quad (1-2)$$

تابع توزیع خرابی

احتمال اینکه سیستم در زمان t و یا کمتر از آن دچار خطا شود را تابع توزیع عدم قابلیت اطمینان یا توزیع خرابی می نامند.

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(t)dt \quad (2-2)$$

تابع قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان بصورت زیر تعریف می شود:

$$R(t) = 1 - f(t)dt = \int_t^\infty f(t)dt \quad (2-3)$$

تابع نرخ خرابی

نرخ خرابی عبارتست از نرخ بروز خطا در فاصله زمانی بین t_1 و t_2 و به صورت زیر تعریف می شود:

$$\lambda(t) = -\frac{R(t+h) - R(t)}{hR(t)} = \frac{1}{R(t)} \left[-\frac{d}{dt} R(t) \right] = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2-4)$$

۲-۱۴- تعریف سیستم و انواع سیستم ها

سیستم، وسیله یا دستگاهی است که برای انجام کاری ساخته شده است. سیستمی سالم است اگر کارش را به خوبی انجام دهد و خراب است اگر نتواند وظیفه اش را ایفا کند. در تئوری قابلیت اطمینان می توان سیستم ها را به دو دسته زیر تقسیم کرد (31)

1- سیستم قابل تعمیر

2- سیستم غیر قابل تعمیر

در سیستم های قابل تعمیر، متوسط زمان تا خرابی است که آنرا با m یا MTTF نشان می دهند. در سیستم قابل تعمیر، متوسط زمان تا تعمیر را با r یا MTTR نشان می دهند که را نرخ تعمیرات گویند.

$$MTTE = m = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} = \frac{1}{\lambda} \quad (2-5)$$

$$MTTR = r = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n} = \frac{1}{\mu} \quad (2-6)$$

جهت ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های قابل تعمیر از «دسترس پذیری سیستم» استفاده می شود «دسترس پذیری سیستم عبارت است از احتمال اینکه سیستم در هر لحظه از زمان سالم باشد، وقتی که تحت شرایط معینی کار می کند» دسترس پذیری سیستم را با A و عدم دسترس پذیری سیستم را با U نشان می دهند و رابطه ریاضی آنها بصورت زیر است:

$$A = \frac{m}{T} = \frac{m}{m+r} = \frac{\mu}{\lambda+\mu} \quad (2-7)$$

$$U = \frac{r}{T} = \frac{r}{m+r} = \frac{\lambda}{\lambda+\mu} \quad (2-8)$$

قابلیت اطمینان سیستم های سری

سیستمی را که شامل n عنصر است در نظر بگیرید، این سیستم را سری گویند هرگاه خراب شدن هر یک از عناصر آن باعث خرابی سیستم شود اگر عناصر سیستم مستقل از زمان باشند:

$$\lambda_{ss} = \sum_{i=1}^n \lambda_i U_{ss} = \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i \quad (2-9)$$

قابلیت اطمینان سیستم های موازی

سیستمی را که شامل n عنصر است در نظر بگیرید، سیستم را موازی گویند هرگاه خراب شدن تمام عناصر باعث خرابی سیستم شود شرط سالم بودن سیستم آن است که حداقل یکی از عناصر سالم باشند با فرض دو عنصر داریم:

$$\lambda_{pp} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)}{1 + \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2} r_{pp} = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \quad (2-10)$$

۲-۱۵- نقش تعمیرات در قابلیت اطمینان

در بیشتر اوقات تعمیرات دوره ای می توانند از خرابی کامل و غیر قابل پیش بینی قطعه جلوگیری کند و یا حداقل نرخ خرابی آن را کاهش دهد بدین جهت ضروری است که عناصر سیستم قدرت قبل از خرابی کامل یا برنامه ریزی مشخصی تعمیر شوند تعمیرات را می توان به دو دسته تقسیم کرد:

1- تعمیرات جزئی و دوره ای

شامل "تعمیرات هماهنگ" و "تعمیرات غیر هماهنگ"

2- تعمیرات اساسی

تعمیرات دوره ای هماهنگ

در این نوع تعمیرات با خارج کردن واحد از مدار کلیه دستگاههایی که نیاز به تعمیر داشته باشند را بررسی و تعمیر می کنند که مسلماً "مستلزم مدت زمان زیاد و تعداد افراد زیادی است از محاسن این گونه تعمیرات کاهش تعداد خطاها می باشد.

تعمیرات دوره ای غیر هماهنگ

در این نوع تعمیرات تعداد خروج دستگاهها زیاد ولی مدت زمان تعمیرات کوتاه تر است و به افراد کمتری نیاز می باشد برای دو عنصر موازی شاخص های قابلیت اطمینان ناشی از تعمیرات بصورت زیر محاسبه می شوند:

$$\lambda_{pm} = [\lambda_1''(\lambda_2 r_1'') + \lambda_2''(\lambda_1 r_2'')] / 8760 \quad (2-11)$$

$$U_{pm} = \left[\lambda_1''(\lambda_2 r_1'') \frac{r_1'' r_2''}{r_1'' + r_2''} + \lambda_2''(\lambda_1 r_2'') \frac{r_1'' r_2''}{r_1'' + r_2''} \right] / 8760 \quad (2-12)$$

$$r_{pm} = \frac{U_{pm}}{\lambda_{pm}} \quad (2-13)$$

که در روابط فوق λ_1'' با نرخ تعمیرات دوره ای عنصر i ام و r_1'' متوسط زمان تعمیرات دوره ای عنصر i ام می باشد. (32)

۲-۱۶- خطاهای گذرا در ارزیابی قابلیت اطمینان

خطاهای گذرا و ماندگار کلاً به دو صورت زیر قابل بررسی می باشند:

1- خطاهای مرتبه 1

2- خطاهای مرتبه 2

خطاهای مرتبه 2 را میتوان بدو صورت تحلیل نمود:

خطای گذرا یا موقت با خطای ماندگار

این حالت فقط برای شبکه ها با عناصر موازی معنی پیدا می کند در این حالت جهت محاسبه شاخص های قابلیت اطمینان از روابط زیر استفاده نمود:

$$\lambda_{pt} = [\lambda_2(\lambda_{t1}r_2) + \lambda_1(\lambda_{t2}r_1)]/8760 \quad (2-14)$$

$$U_{pt} = [\lambda_{t1}\lambda_2r_{t1}r_2 + \lambda_1\lambda_{t2}r_1r_{t2}]/8760 \quad (2-15)$$

خطای گذرا یا موقت با تعمیرات دوره ای

در این حالت می توان روابط زیر را بکار برد:

$$\lambda_{tm} = [\lambda_1''(\lambda_{t2}r_1'') + \lambda_2''(\lambda_{t2}r_2'')]/8760 \quad (2-16)$$

$$U_{tm} = \left[\lambda_1''(\lambda_{t2}r_1'') \frac{r_1''r_2}{r_1'' + r_2} + \lambda_2''(\lambda_{t2}r_2'') \frac{r_1r_2''}{r_1 + r_2''} \right] / 8760 \quad (2-17)$$

خطاهای فعال در ارزیابی قابلیت اطمینان

1- خطای غیر فعال:

خطایی را که منجر به عملکرد سیستم های حفاظتی کلیدها و دستگاهها نشود ؛ خطای غیر فعال می نامند

2- خطای فعال:

خطایی را که منجر به عملکرد سیستم های حفاظتی اطراف خود دستگاه و یا کلید می شود خطای فعال می نامند

الف - خطای فعال با خطای ماندگار:

$$\lambda_{ap} = [\lambda_1^a(\lambda_2s_1) + \lambda_2^a(\lambda_1^ar_2)]/8760 \quad (2-18)$$

$$r_{ap} = \frac{s_1r_2}{s_1 + r_2} \quad (2-19)$$

ب - خطای فعال یا تعمیرات دوره ای:

$$\lambda_{am} = [\lambda_2''(\lambda_1^a r_2) + \lambda_2''(\lambda_1 r_2'')]/8760 \quad (2-20)$$

$$r_{am} = \frac{s_1 r_2''}{s_1 + r_2''} \quad (2-21)$$

با در نظر گرفتن کلیه شرایط فوق شاخص های اساسی قابلیت اطمینان بصورت زیر درخواستند آمد:

$$\lambda = \lambda_{pp} + \lambda_{pm} + \lambda_{pt} + \lambda_{tm} + \lambda_{ap} + \lambda_{am} \quad (2-22)$$

$$r = \frac{U}{\lambda} \quad (2-23)$$

$$U = \lambda_{pp} \cdot r_{pp} + \lambda_{pm} \cdot r_{pm} + \lambda_{pt} \cdot r_{pt} + \lambda_{tm} \cdot r_{tm} + \lambda_{ap} \cdot r_{ap} + \lambda_{am} \cdot r_{am} \quad (2.24)$$

۲-۱۷- شاخص های بار، انرژی، محاسبات اقتصادی

با استفاده از روابط ذکر شده می توان شاخص های اساسی قابلیت اطمینان را برای یک واحد تولیدی حرارتی محاسبه کرد این شاخص ها به تنهایی قادر به بیان کامل قابلیت اطمینان نیستند، چون این شاخص ها، اولاً توانایی بیان حالت های محدودیت بار را ندارند و ثانياً برای تحلیل های اقتصادی نمی توان مستقیماً از این شاخص ها استفاده کرد برای رفع این نقایص می توان از شاخص های بار و انرژی کمک گرفت. (34)

۲-۱۷-۱- شاخص محدودیت تداوم بار

در یک واحد حرارتی با خروج بعضی از دستگاهها از مدار، ممکن است که کل واحد از مدار خارج نشود و بقیه قسمت ها همچنان در مدار باقی بمانند اما واحد از نظر تولید توان، محدود شود.

λ_e : نرخ بروز خروج دستگاه مورد نظر است.

r_e : مدت زمانی است که عنصر مورد نظر خراب است.

μ_e : معکوس r_e است.

L_s : ماکزیمم توان محدودیت

P : احتمال اینکه توان بزرگتر از L_s باشد.

r_H : مدت زمانی است که توان از L_s بیشتر است.

λ_H : نرخ توان بزرگتر از L_s به توان کوچکتر یا مساوی آن

r_L : زمانی است که توان کوچکتر یا مساوی L_s است

λ_L : نرخ توان کوچکتر یا مساوی L_s به توان بزرگتر از آن

در این حالت نرخ بروز PLOC از رابطه زیر بدست می آید:

$$\lambda = \lambda_e P + \lambda_e (1 - P) \lambda_L \frac{r_e \cdot r_L}{r_e \cdot r_L} \quad (2 - 25)$$

اکنون شاخص های بار و انرژی را می توان برای هر حالت از روابط زیر بدست آورد:

$$U = \lambda \cdot r \quad E = L \cdot U \quad (2 - 26)$$

$$L = \left[\int_0^1 L(t) dt - L_s \cdot t_1 \right] / t_1 \quad (2 - 27)$$

که در آن $L(t)$ منحنی تداوم بار است.

حالت هایی را که منجر به محدودیت بار می شوند در نظر گرفته و شاخص های r

، λ و L را باری هر یک از این حالات محاسبه می کنند و آنگاه با استفاده از روابط

زیر براحتی شاخص PLOC را محاسبه می شود:

$$E = \sum U_i \cdot L_i \quad (2 - 28)$$

$$U = \sum U_i \quad (2 - 29)$$

L_i : متوسط توان تامین نشده در حالت i ام به KW یا MW.

U_i : خروج سالیانه حالت i ام و E : انرژی متوسط تامین نشده سالیانه ناشی از محدودیت

بار به KWh یا KWh.

شاخص عدم تداوم بار:

بروز برخی خطاها و یا حالات، منجر به خروج واحد می شود که در این حالت واحد

کاملا از مدار خارج میگردد برای محاسبه انرژی تامین نشده در این حالت از شاخص

TLOC استفاده می شود:

۲-۱۷-۲- شاخص میانگین خاموشی یا قطع بار

در حالت پیوسته، LOLE باتوجه به منحنی تداوم بار بصورت زیر بدست می آید:

$$LOLE = \sum_{k=1}^n P_k * t_k \quad (2-30)$$

t_k مدت زمانی است که پیک بار مورد نیاز، از مقدار تولیدی بیشتر شود پس خاموشی وجود دارد و P_k احتمال رویداد k ام، یعنی تفاضل بار و ظرفیت نصب شده سیستم می باشد.

۲-۱۷-۳- شاخص میانگین کسری انرژی

این شاخص در واحد پریونیت بصورت زیر تعریف می شود:

$$LOEE_{pu} = \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{E} * P_k \quad (2-31)$$

که E_k برابر کسری انرژی با احتمال P_k در رویداد k ام می باشد و E برابر کل انرژی مصرفی است باتوجه به این شاخص، شاخص انرژی قابلیت بصورت زیر تعریف می شود:

$$EIR = 1 - LOEE_{pu} \quad (2-32)$$

در یک واحد زباله سوزی، فرآیندهای تصفیه گازها هم ممکن است تولید پسماند نمایند. پسماندهای سیستم کنترل آلودگی هوا نیز می بایست در یک دفن‌گاه کنترل دفن گردند.

روش های مورد برای تصفیه پسماندهای زباله سوزی را می توان در سه دسته کلی جداسازی، جامدسازی/ پایدارسازی، و عملیات حرارتی دسته بندی نمود.

فصل سوم

روش پژوهش

۳-۱- مقدمه

مواد زائد جامد به کلیه مواد جامد و نیمه جامد دور ریز حاصل از فعالیتهای انسانی گفته می شود که در منبع تولید ارزش نگهداری نداشته و دفع این مواد برای سلامت عموم ضروری است. منابع تولید زباله های خانگی مورد بحث در این تحقیق شامل باقیمانده های غذایی و زباله آشپزخانه، کاغذ، مقوا و کارتن، پلاستیک، فلزات آهنی و غیر آهنی، چوب، چرم، لاستیک و غیره می باشد.

بازتاب آلودگی و بیماریهای منتقل شده از زباله موجب شد که علم بهداشت زباله و اصول مهندسی مواد زائد جامد بیش از پیش مورد توجه متخصصان و سیاستمداران قرار گیرد. اگر چه طراحی زمینهای دفن و روشهای آن در سالهای اخیر توسعه قابل توجهی داشته است اما در اکثر موارد، یک راه حل موقتی برای دفع و بدون اطمینان واقعی از مسائل حفاظتی آینده می باشد. راههای متعدد و روشهای مختلفی برای حل مشکل دفع زباله ارائه شده است که هر کدام فرآیند مخصوص به خود و نیز مشکلات عملیاتی خاص خود را دارند. یکی از این روشها کاهش شیمیایی حجم (روش زباله سوزی) می باشد.

زباله سوزی اساساً "شکلی از فرآیندهای شیمیایی است که شامل اکسیداسیون سریع مواد می باشد. به بیان دیگر سوزاندن کنترل شده و صنعتی مواد زائد جامد با اهداف کاهش حجم، احیاء انرژی و گرما را زباله سوزی نامند. نخستین نوع از این تاسیسات در شهر ناتینگهام انگلستان در سال 1874 احداث و راه اندازی شد (1). تا سال 1912 تعداد این واحدها به 300 زباله سوز افزایش یافت. در حال حاضر در بسیاری از کشورها کاربرد زباله سوز رایج است و به عنوان یکی از روشهای دفع انواع زائدات بشمار می رود. بعنوان مثال در ایالات متحده آمریکا نیز 28/6 درصد از زائدات جامد خانگی، 3/5 درصد مواد زائد خطرناک، 6 درصد مواد زائد صنعتی بی خطر، 12 درصد زائدات درمانی و 2 درصد خاکهای آلوده توسط زباله سوزها سوزانده می شوند. اهداف عمده استفاده از سوزاندن زباله ها، تامین گرما برای نیازهای محلی است. آمار نشان می دهد که در سال 1997 سالانه در

ژاپن 4/004 هزار تن زباله در این کشور تولید می شده که حدود 3/361 هزار تن آن در فرایند سوزاندن دفع شده است (4)

۳-۲- انواع زباله سوز

مناسبتترین زباله ها برای سوزاندن در زباله سوزها را می توان به شرح زیر طبقه بندی کرد::

- 1- زائدات خطرناک برای انسان و محیط زیست
- 2- زائدات پایدار در محیط و زایداتی که فرار بوده و یا نقطه اشتعال کمی دارند
- 3- زائداتی که امکان دفن ایمن و بهداشتی آنها وجود ندارد
- 4- زائداتی که قابلیت تصفیه پذیری توسط روشهای مرسوم موجود را ندارند
- 5- زائداتی که حاوی هالوژنهای آلی، فلزات سنگین، نیتروژن، فسفر و یا سولفور می باشند در این گروه قرار دارند.

انواع زباله سوز بر اساس اینکه زباله ها بدون فرآوری سوزانده شوند یا قبل از سوزاندن مورد فرایندهایی قرار گیرند به دو دسته کلی تقسیم می شوند.

در زباله سوزهایی که زباله های فرآوری نشده را می سوزانند، خوراک ورودی بدون انجام فرآیندی وارد زباله سوز می شود و خود به دو دسته توده سوز (Mass Burn) و مدولار (Modular) تقسیم می شوند. زباله سوزهایی که از زباله های فرآوری شده استفاده می کنند در دو نوع عمده زباله سوزهای با بستر سیال و کوره دوار موجود می باشند. (36)

۳-۲-۱- زباله سوز توده سوز

این نوع زباله سوزها، زباله های فرآوری نشده شهری را در محفظه احتراق واحد یا دوتایی با استفاده از هوای اضافی که برای اطمینان از احتراق کامل بکار می رود، می سوزانند. این طراحی این مزیت را دارد که زمان مرده برای تعمیرات به حداقل می رسد و همچنین سبب افزایش زمان عمر تجهیزات می شود. عملیات با تخلیه مواد زائد جامد از کامیونهای

جمع آوری در یک انبار ذخیره سازی شروع می شود. ظرفیت ذخیره به طور متوسط، حجم زباله یک روز می باشد.

چون اکثر زباله های آلی از لحاظ حرارتی ناپایدار هستند، گازهای متعددی هنگام فرآیند احتراق که دما در حدود 760°C می باشد، متصاعد می شود. این گازها و ذرات ریز آلی از یک محفظه که معمولاً "محفظه احتراق نامیده می شود و در دمای بالای 820°C سوزانده می شوند و محصولات بدبوی حاصل از احتراق معمولاً" در دمای بالای 760°C تا 820°C از بین می روند. با توجه به قوانین کنترل آلودگی هوا، باید تجهیزات پاکسازی تدارک دیده شود. برای تامین جریان خوب هوا و غلبه بر افت فشار ناشی از تجهیزات پاکسازی هوا، فن مورد استفاده قرار می گیرد. محصول نهایی سوزاندن زباله، گازهای تمیزی است که از دودکش تخلیه می شود. خاکستر و مواد نسوخته به داخل قیف که در زیر شبکه ها هستند می افتند که به وسیله آب سرد و خاموش می شوند. ذرات خاکستر که در داخل محفظه احتراق نشست می کنند بوسیله دستگاه مخصوص این کار دفع می شوند و باقیمانده نهایی حاصله به مناطق دفع یا واحدهای بازیافت هدایت می شوند (5)

بعنوان نمونه برای بازیافت حرارتی از این سیستم، بویلر (دیگ بخار) بکار می رود که از حرارت گازهای احتراقی که محفظه احتراق را ترک می کنند برای تبدیل آب به بخار استفاده می کند. برای بالا بردن دما و فشار جهت تولید انرژی الکتریکی از یک مبدل حرارتی به نام سوپر هیتر استفاده می شود. سوپر هیترهای تابشی که از حرارت تابشی محفظه احتراق استفاده می کنند در مقابل بویلر نصب می شوند. سپس بخارهای تولید شده به بخش جمع آوری هدیات می شوند. (44)

۳-۲-۲- زباله سوز مدولار

این زباله سوزها واحدهای کوچک با ظرفیت 5 تا 100 تن در روز می باشند. آنها نوعاً دارای دو محفظه احتراق اولیه و ثانویه می باشند. زباله سوزهای مدولار زباله ها را در یک محفظه اولیه عایق شده برای مواد نسوز با هوای کمتر از مقدار استوکیومتری که اکسیژن کافی برای احتراق کامل ندارد، می سوزانند. گازهای احتراق در ابتدا مخلوطی از

منوکسید کربن و آب هستند که وارد محفظه احتراق دوم می شوند و در آن هوای اضافی و سوخت برای احتراق کامل موجود است. انرژی گازهای احتراق با عبور از لوله هایی می تواند برای تولید برق مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۲-۳- زباله سوز با بستر سیال

زباله سوزهای بستر سیال، زباله را در یک بستر آشفته شامل مواد بی اثر داغ نظیر شن و ماسه که بوسیله جریان سریع و رو به بالای هوای اولیه احتراق به صورت سوسپانسیون در آمده اند، خشک می کند. احتراق موثر احتیاج به سوخت همگن دارد که آنها را می توان به صورت مستقیم وارد این زباله سوز نمود ولی زباله های خانگی باید ابتدا فرآوری شده و سپس به این زباله سوز وارد شوند.

در طراحی استاندارد راکتور بستر سیال که بعضی اوقات بستر سال حباب دار^۱ (BFB) نامیده می شود (4)، سرعت هوا 1/5 تا 3 m/s است و بستر در محفظه باقی می ماند. در طراحی دیگر راکتور بستر سیال چرخشی^۲ (CFB) هوا با سرعت 5 تا 10 m/s بکار می رود، در حالیکه مواد بستر و مواد با احتراق ناقص (نیم سوخته) به داخل محفظه برمیگردند. این مواد از جریان گازهای دودکش جدا شده و مجدداً به کوره برمی گردند. هوای احتراق ثانویه به بالای محفظه دمیده می شود. این زباله سوزها این قابلیت را دارند که محدوده وسیعی از سوختها شامل زباله های جامد خانگی و لجن فاضلاب را بسوزانند. از مهمترین مزیت های زباله سوزهای بستر سیال راندمان احتراق بالای 99٪ است که این راندمان برای کاهش انتشار دی اکسید در گازهای دودکش بسیار مهم است. همچنین از مزایایی مانند مصرف کمتر سوخت و تولید کمتر گازهای نظیر NO_x و فلزات برخوردارند. (41)

اجزای اصلی زباله سوز با بستر سیال عبارتند از:

1) محفظه ورودی هوای احتراق

¹ Bubble fluidized-bed

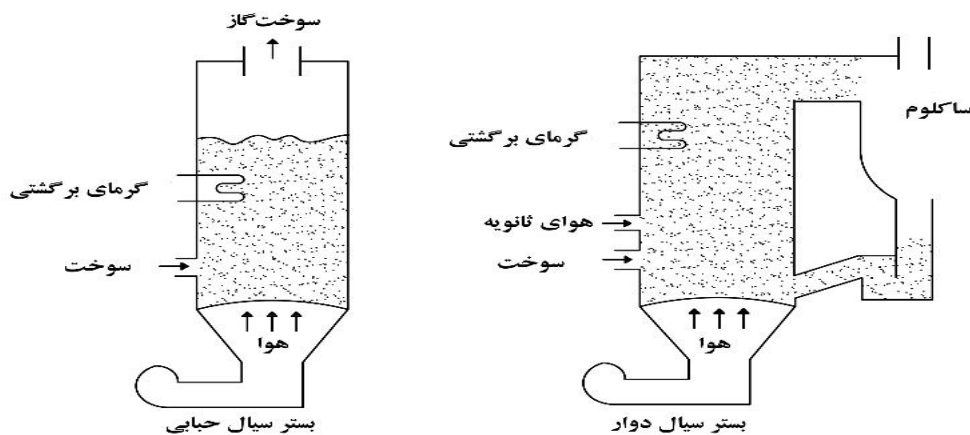
² Circulating fluidized-bed

2) صفحه توزیع هوا که باعث به حرکت در آوردن مواد در محفظه احتراق می شود که و از تراکم آن جلوگیری می کند.

3) بستر سیال که از شن، ماسه و خاکستر حاصل از سوزاندن زائدات قبلی تشکیل شده است.

4) سطح یا صفحه تغذیه بالای بستر سیال

در این سیستم، هوای ورودی و ذرات جامد گداخته با زائدات مخلوط شده و باعث بوجود آمدن سطح انتقال حرارت گسترده ای می شود. ذرات داغ پس از شعله ور شدن با زائدات به صفحه تغذیه انتقال می یابند. در این بخش، ذرات سنگین تر مجدداً به داخل بستر شنی ریزش کرده و دوباره گداخته خواهند شد. در شرایط انباشتگی مواد موجود در بستر، این مواد از دریچه سرریز خارج می گردند (7).



شکل ۳-۱- دو نوع از زباله سوزهای بستر سیال (۷)

۳-۲-۴- زباله سوز کوره دوار

کوره های گردان به دو گروه دمای پایین کمتر از 1000°C و دمای بالاتر از 1000°C تقسیم می شوند. در کوره های با دمای پایین از یک محفظه احتراق ثانویه برای انجام تخریب کامل استفاده می گردد که باعث می شود مواد تبخیر نشدنی و غیر قابل احتراق مانند فلزات، سنگ، شن، ماسه و غیره شکل خاکستر باقی بمانند. تمایز این سیستم با دیگر سیستمهای

زباله سوز، فرآیند اختلاط، حرارت دهی و زمان می باشد. مشخصات کلی فرآیند را می توان به شرح زیر خلاصه نمود:

(1) بخش خرد کنند که با خرد کردن قطعات جامد باعث جدا شدن آنها از مایعات قابل پمپاژ می شوند.

(2) سیستم تغذیه که شامل تجهیزات انتقال زائدات جامد بسته بندی شده و یا فله، فیدرها و مارپیچها می باشد، در بخش مایعات، پمپهای انتقال مایعات وجود دارد.

(3) بخش کوره گردان دارای دوران محفظه است که قادر می باشد در هر لحظه سطح بیشتر و جدیدتری از زائدات را در معرض هوای داغ احتراق تابشی و سطوح داغ داخلی کوره قرار دهد. در این شرایط، احتراق مواد آلی و تبدیل آنها به مواد تجزیه شده به سهولت صورت می گیرد. زمان ماند زائدات و اختلاط آنها به سرعت دوران بستگی دارد. کوره بطور طبیعی با هوای کافی قادر به فعالیت است ؛ لیکن در شرایط احتراق ناقص یا احتراق با اکسیژن ناکافی نیز قادر به فعالیت می باشد.

(4) بخش احتراق ثانویه به کوره گردان متصل می باشد. گاز خروجی در این بخش بین 1 تا 3 ثانیه مجدداً گداخته می شود. در شرایط حضور هوای کافی عمل احتراق صورت می گیرد

(5) خاکستر تولید شده از بخش تخلیه خاکستر به بیرون هدایت می شود.

(6) بخش سرد کننده، گازهای خروجی را خنک می کند و برای ورود به سیستم تصفیه هوا آن را آماده می سازد. در این بخش انرژی خروجی به هوای تازه ورودی منتقل شده و پیش گرمایش انجام می گیرد.

(7) در قسمت تصفیه هوا، گازهای اسیدی، ذرات معلق و دی اکسید ها، فوران و فلزات سنگین گرفته می شود. این بخش می تواند به صورت خشک، نیمه خشک و مرطوب فعالیت کند.

(8) بخش دودکش که به سیستم نمونه گیری مداوم مجهز است و گازهای تصفیه شده را خارج می کند. پارامترهای گازی مانند O_2 و CO_2 و CO و هیدروکربن ها و عناصری مانند HCL و SO_x و NO_x نیز بررسی و کنترل می شوند. (42)

۳-۲-۵- زباله سوز با کوره ثابت

این سیستمها برای سوزاندن زباله های بیمارستانی نیز کاربرد دارند و دارای قابلیت سوزاندن مایعات یا هر نوع زائدات جامد می باشند. در این نوع زباله سوزها از دو نوع کوره اولیه و ثانویه استفاده می شود. در زباله سوز با کوره ثابت، نخست مواد وارد کوره شده و در دستگاههای کوچک آن به صورت منقطع تخلیه می شوند. کف کوره در این سیستم به شکل پله ای است که مواد با هل دادن صفحات افقی آنرا به سمت پایین و به شکل حرکت رفت و برگشتی طی می کنند. هوای احتراق در زیر زائدات است. خاکستر خروجی نیز وارد حوضچه آب می شود و سپس از این بخش تخلیه می گردد. آب موجود، ارتباط بین محیط های داخلی و خارجی کوره را قطع می کند و کمبود هوا در کوره اولیه باعث تولید کربن نسوخته شده و CO_2 و H_2 را افزایش می دهد. در کوره دوم، احتراق مواد مذکور با 140 تا 200 درصد هوای اضافی خواهد بود و در مواقع ضروری تزریق مقداری سوخت به داخل کوره اولیه، می تواند سبب تثبیت دما شود. (8)

جدا سازی سریع تر مواد خطرناک و غیر فرار، امکان تبخیر آب بیشتر نسبت به دیگر کوره ها، قابلیت مصرف انواع سوخت و مواد مختلف و نیز بازدهی بالای سوخت مصرفی از مزایای این سیستم بشمار می رود. (43)

۳-۳- اجزاء زباله سوزها

الف- دستگاه تغذیه

زباله های انتقال یافته به کارخانه زباله سوز ممکن است مستقیماً به داخل کوره و یا در نزدیکی دریچه تغذیه شوند. در برخی موارد، زباله در نزدیکی دریچه تغذیه تخلیه شده و مخازن متحرک ویژه ای عمل تغذیه را به عهده دارند. یکی دیگر از دستگاههای تغذیه کوره، تجهیزات قیفی شکل است که از یک طرف زباله را دریافت و از طرف دیگر توسط نیروی ثقل آن را وارد کوره می نماید. در روش دیگر ابزار مکانیکی حمل زباله مورد استفاده قرار می گیرد که این تجهیزات زباله را از محل ورود تا دریچه کوره حمل می کنند.

ب- کوره ها

کوره های زباله سوز عمدتاً بر دو نوع تقسیم می شوند، کوره های با دیواره های نسوز (جامد نسوز) و کوره های با دیواره آبی عمده ترین کوره ها در زباله سوزها بشمار می آیند. در کوره های جامد نسوز به هوا یا رطوبت اضافی نیازی نیست زیرا از تعدادی دیگ بخار که حرارت مورد نیاز آنها از طریق سوختن زباله تامین می شود استفاده می گردد. دیگهای بخار موجب می شوند تا حرارت گازهای ناشی از عملیات احتراق خارج شوند. معمولاً "دمای گازهای خروجی باید قبل از تخلیه به هوای محیط سرد شوند. بنابراین دمای گازهای خروجی به نسبت نصف تا یک سوم کاهش می یابند. در کوره های با دیواره آبی، دیواره داخلی محفظه احتراق شامل لوله های عمودی و متصل به یکدیگر است که به علت بازیابی بخار و کنترل دمای کوره به هوای اضافی نیازی نداشته و از نظر فناوری نسبت به کوره های جامد سوز از برتری بیشتری برخوردار می باشند. رطوبت می تواند بعنوان یک عامل مشکل ساز در کوره های دیواره آبی مطرح شود چون ممکن است با گازهای حاصل از احتراق پلاستیکها و دیگر مواد موجود در زباله ترکیب شود و یک اسید قوی ایجاد نموده و سبب خوردگی و خسارت لوله های دیواره کوره شود.

ج- دودکش

دودکش کارخانه زباله سوز عامل انتقال گازهای تولید شده به خارج و هدایت هوا به داخل است. استفاده از دستگاه تهویه سبب کوتاه شدن ارتفاع لوله های دودکش می شود و ارتفاع دودکش باید بنحوی باشد که باعث ترقیق گازها در هوا شده و از ایجاد آلودگی هوا در نتیجه پراکندگی ذرات خاکستر جلوگیری نماید. ارتفاع آن باید در حدی باشد که در شرایط انسداد ناشی از دوده چسبیده به سطح داخلی، امکان پاکسازی آن به سادگی میسر شود. نصب چراغ راهنما به منظور هدایت هواپیما و نیز وسایل جلوگیری از برق گرفتگی و یک نردبان جهت صعود افراد به بالای دودکش نیز در این تاسیسات ضروری است. بدنه دودکش اصولاً "از آجر یا بتن مسلح است و سطح داخلی آن از مواد نسوز تشکیل می شود. فشار داخل کوره هرگز نباید بیش از فشار هوای محیط باشد زیرا فشار مثبت موجب خروج

گازهای داغ از بدنه مذکور شده که خود منجر به افزایش بیش از حد دما و خوردگی بدنه فولادی کوره می گردد.

د- شعله

شعله به گاز درخشانی اطلاق می شود که از آزاد شدن انرژی شیمیایی احتراق حاصل می گردد. جبهه شعله (Flame Front) سطح بین ناحیه درخشان و ناحیه تیره گازهای مشتعل نشده را گویند که در تمام واکنشهای احتراق در فاز گازی وجود دارد. (45)

جدول ۳-۱- عملکرد انواع مختلف کوره ها در کارخانجات زباله سوز شهری (۶)

نوع	عملکرد
شبکه متحرک Traveling Grate	در این نوع شبکه ها یک یا چند شبکه سوخت رسان وجود دارد. شبکه سوخت رسان (Feeder Grate) در زیر قیف دریافت زباله واقع شده و زباله ها را مستقیماً "دریافت می نماید. زباله ها در شرایطی که بر روی شبکه سوخت قرار می گیرند بخشی از رطوبت خود را از دست می دهند.
شبکه با حرکت متناوب Reciprocating Grate	ساختار این شبکه ها از دو نوع شبکه شامل شبکه ساکن و شبکه متحرک تشکیل شده است. زباله ها از طریق قیف تغذیه به شبکه های ساکن وارد می شوند. شبکه های متحرک که در قسمت تحتانی شبکه های ساکن واقع شده اند باعث حرکت زائدات جامد به سمت زیرین گردیده و مجدداً "روی شبکه ساکن بعدی تخلیه می شوند. احتراق در کوره ها بر اساس سرعت شبکه ها صورت می گیرد.
شبکه با حرکت گهواره ای Rocking Grate	این نوع شبکه ها مشابه شبکه های با حرکت متناوب می باشند. لیکن حرکت زباله ها به سمت کوره به طریق گهواره ای است.
شبکه بشکه ای Barrel Grate	در این طرح، زباله ها با حرکت بشکه ای دوار به سمت کوره ها هدایت می گردند.

۳-۴- ارزش حرارتی زباله

یک مساله اساسی در انتخاب و طراحی زباله سوزها، ارزش حرارتی موادی است که سوزانده می شوند. ارزش سوختی با عناوین ارزش حرارتی بالا (HHV) و ارزش حرارتی پایین (LHV) نامیده می شود. ارزش حرارتی بالا، میزان انرژی که از سوختن واحد جرم بدست می آید، اگر در انتهای احتراق آب بصورت مایع در محفظه احتراق باقی بماند، می

باشد و ارزش حرارتی پایین میزان انرژی که از سوختن واحد جرم بدست می آید، اگر در انتهای احتراق آب بصورت بخار از محفظه احتراق خارج شود، نامیده می شود. ارزش حرارتی مواد متشکله زباله به آداب و رسوم و فرهنگ تولید کنندگان زباله بستگی مستقیم دارد. پارامترهای دیگری نیز مثل میزان رطوبت، میزان مواد قابل اشتعال و میزان خاکستر بر ارزش حرارتی تاثیر دارند. مواد با ارزش حرارتی کم، رطوبت و خاکستر بالا احتیاج به سوخت کمکی دارند. (44)

۳-۴-۱- پارامترهای مهم تاثیر گذار بر ارزش حرارتی زباله ها:

- ترکیب فیزیکی
 - مقدار رطوبت: رطوبت به طور قطع ارزش حرارتی سوخت را کاهش می دهد. مقدار رطوبت زباله ها معمولاً " بر اساس وزن رطوبت به وزن زباله مرطوب یا خشک بیان می شود.
 - دانسیته
 - ترکیب شیمیایی: اگر زباله های جامد به عنوان سوخت استفاده شوند علاوه بر مشخصات فیزیکی چند مشخصه مهم دیگر نیز باید داشته باشند نظیر:
 - الف) آنالیز مستقیم (Proximate Analysis) شامل میزان مواد فرار، میزان خاکستر و میزان کربن باقیمانده
 - ب) نقطه ذوب خاکستر
 - ج) آنالیز نهایی (Ultimate Analysis) برای تعیین کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن، گوگرد و خاکستر
 - د) ارزش حرارتی
- شکل فیزیکی زباله مهمترین و موثرترین عامل در فرآیند احتراق بشمار می آید. عوامل مانند ساختار زباله ؛ میزان رطوبت موجود و انرژی حرارتی آن نیز در بازده احتراق موثر می باشند. (45)

جدول ۳-۲- اجزاء تشکیل دهنده و مقدار رطوبت در زباله های شهری (۵)

مواد تشکیل دهنده	درصد جرم مرطوب	جرم خشک	کربن	هیدروژن	اکسیژن	نیتروژن	گوگرد	خاکستر
مواد آلی قابل تبدیل	75	22/5	10/8	1/42	8/46	0/585	0/09	0/125
کاغذ و مقوا	11	10/45	4/59	0/616	4/66	0/02	0/02	0/522
پلاستیک	6	5/88	4/52	0/412	1/24	--	--	0/588
منسوجات	3	2/7	1/48	0/178	0/84	0/124	0/004	0/064
استخوان	2	2/55	1/23	0/165	0/95	0/056	0/0076 0	0/0127
چوب	2	1/6	0/79	0/096	0/915	0/0022 0	0/0016 0	0/024
جمع	100	45/68	2/41 2	9/915	16/94	1/798	0/123	2/45

۳-۴-۲- محاسبه ارزش حرارتی زباله

از رابطه (1) که به رابطه دیولانگ معروف است بمنظور محاسبه ارزش حرارتی زباله استفاده میشود در این رابطه داریم (5):

$$Kj/kg = 337C + 1428(H - 0/8) - 95C$$

در رابطه فوق C در صد جرمی کربن، H درصد جرمی هیدروژن، O درصد جرمی

اکسیژن و S درصد جرمی گوگرد است.

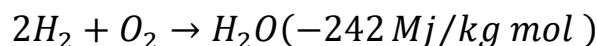
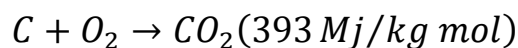
3-4-3- تبدیل به گاز کردن زباله (Gasification)

این فرآیند، فرآیندی است که در آن کربن در فعل و انفعالات شیمیایی با بخار و دی اکسید کربن، هیدروژن و مونوکسید کربن تولید میکند. بطور کلی در گاز ساز (Gasifiers)، یک فرآیند شامل چهار مرحله می باشد (9)

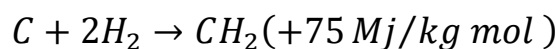
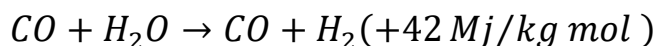
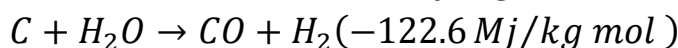
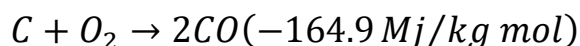
(1) **رطوبت زدایی از زباله (Drying of fuel):** در این مرحله زباله ورودی به سیستم در مجاورت گازهای داغ خروجی رطوبت خود را از دست می دهند بطور متوسط دمای گاز خروجی در یک gasifier در حدود $300-400^{\circ}\text{C}$ می باشد.

(2) **ناحیه پیرولیز (Pyrolysis Zone):** در این ناحیه در دمای بالاتر از 200°C آب و دمای بین $200-280^{\circ}\text{C}$ دی اکسید کربن، اسید استیک و آب حاصل می شود. Pyrolysis واقعی در دمای بین $280-500^{\circ}\text{C}$ اتفاق می افتد و محصولات با کیفیت بالا همانند قطران و گاز شامل دی اکسید کربن بدست می آید و در این مرحله گازهای فرار تولید می شوند، در دمای بین $500-700^{\circ}\text{C}$ گازهای تولید شده سبک بوده و شامل هیدروژن هستند.

(3) **ناحیه احتراق (Combustion Zone):** در یک احتراق کامل دی اکسید کربن از واکنش کربن با اکسیژن و آب (بخار) از واکنش هیدروژن با اکسیژن تولید می گردد. واکنش احتراق (معادلات 2) یک واکنش گرما زا و دمای اکسیداسیون تئوری 1450°C می باشد.



(4) **ناحیه احیا (Reduction Zone):** دو معامله اول؛ معادلات اصلی و گرماگیر در Reduction Zone بوده و دما در این منطقه در محدوده $700-800$ است. معادلات این ناحیه عبارتند از:



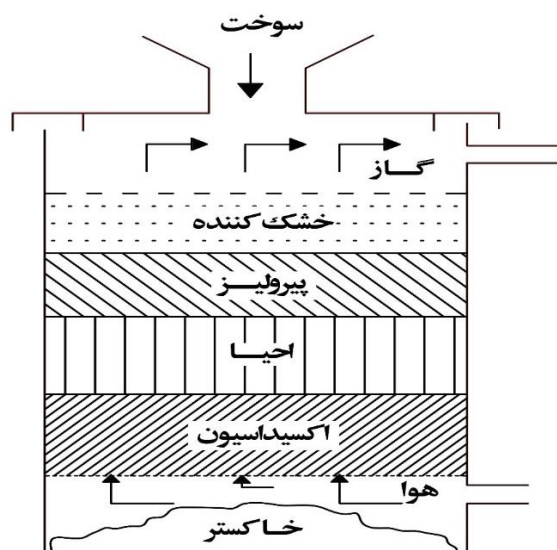
3-4-1- انواع گاز ساز (Gasifier)

انواع راکتورهای گاز ساز عبارتند از:

- Up draft
- Down draft
- Cross draft
- Fluidized bed gasifier

شکل (2) نواحی مختلف در فرآیند گاز سازی در یک Up draft Gasifier را نشان می دهد.

همچنین در جدول (3) مقایسه ای بین انواع گاز سازها صورت گرفته است



شکل 3-2- شماتیک یک راکتور گاز ساز Up draft (10)

جدول 3-3- انواع Gasifier و ویژگی آنها

نوع Gasifier	مزایا	معایب
Up draft	حداقل افت فشار بازده حرارتی مناسب حداقل خاکستر	حساسیت بالا به قطران و رطوبت طولانی بودن زمان جهت شروع مجدد سیکل واکنش ضعیف در برابر گازهای سنگین
Down draft	قابلیت سازگاری با گاز تولید شده	عدم استفاده از ذرات ریز سوخت

	حساسیت پایین به زغال چوب، خاکستر و قطران حاصل از سوخت	
حساسیت بالا به تشکیل خاکستر افت فشار بالا	پاسخ سریع نسبت به بار قابل انعطاف با گاز	Cross draft

۳-۴-۴- تبدیل به گاز زباله با استفاده از فن آوری جدید پلاسما^۱ (تصفیه حرارتی)

فن آوری پلاسما می تواند بازیافت و تبدیل مواد زباله مخلوط را بطور کامل بدون خروج گازهای سمی و پسماند دفن زباله به انجام برساند. فن آوری مزبور به لحاظ اجرا، هزینه های سرمایه گذاری و هزینه های عملیاتی در مقایسه با ظرفیت کوره های مشابه از مزایای خوبی برخوردار است. در ضمن این فن آوری تقریباً هر نوع زباله را به برق و محصولات قابل مصرف و بالقوه سالم تبدیل می کند (11)

۳-۵- پلاسما چیست؟

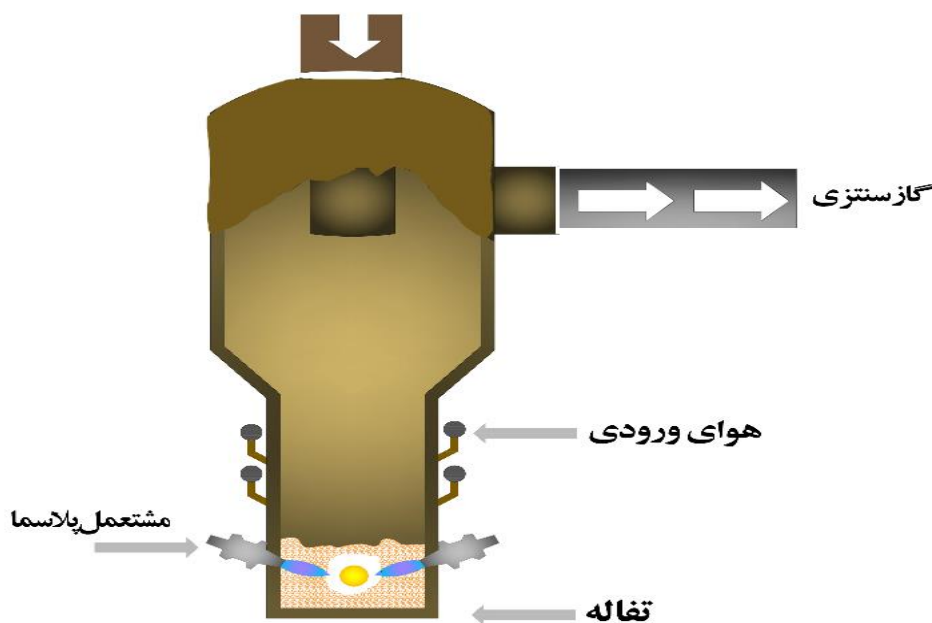
پلاسما حالت چهارم ماده می باشد که در آن گاز به کمک جرقه الکتریکی یونیزه می شود و در نتیجه این یونیزاسیون درجه حرارت بسیار بالا (از 5000 تا 100000 درجه سانتیگراد) در داخل محفظه تولید می شود. مشعل پلاسما چیزی شبیه به رعد و برق است ولی در محیط کنترل شده برق تولید می کند. فن آوری پلاسما دمای بسیار زیادی تولید می کند که به جزء شکافت هسته ای به هیچ طریقه دیگری بوجود نمی آید.

جزء اصلی این سیستم، راکتور پلاسما است که می تواند یک یا تعداد بیشتری مشعل قوس الکتریکی را در خود جای دهد. با عبور جریان DC بین دو قطب مثبت و منفی مشعل پلاسما، دمای فوق العاده زیاد بین 5000 تا 10000^{OC} بوجود می آید. بعلت عدم وجود اکسیژن در محیط، عمل سوختن انجام نمی شود. بنابراین PGV یک سیستم زباله سوز یا

¹ Plasma Gasification & Vitrification

احتراق نیست، بعلت دمای بسیار زیاد هسته مرکزی راکتور، ترکیبات سمی در عرض چند میلی ثانیه می شکنند و از تولید محصولات ثانویه احتراق و گازهای سوختنی آلوده جلوگیری می کنند. در این سیستم مواد آلی بطور کامل تجزیه شده و به گازهای اولیه تبدیل می شوند و مواد معدنی به تفاله مذاب که بعد از خنک کردن به شکل مواد خثی غیر قابل نشت در می آیند، تبدیل می گردند. عمده ترین محصول حاصل از فرآیند PGV، گاز سنتزی (SynGas) می باشد که ممکن است در صنایع مختلف بعنوان جانشین سوختهای دیزلی یا در تولید آب گرم و بخار بکار رود.

انواع زباله ها شامل زباله های شهری^۱ (MSW)، زباله های بیمارستانی، زباله های سمی و خطرناک سمی، حلالهای شیمیایی، فلزات سنگین، ذرات معلق موجود در گاز خروجی، خاکستر بستر زباله سوز، لجن فاضلاب، الیاف نسوز، لاستیکها و غیره را می توان در این روش استفاده کرد.



شکل ۳-۳- شماتیک یک راکتور زباله سوز

۳-۵-۱- اجزاء سیستم زباله سوز پلاسما

^۱ Municipal solid waste

اجزاء سیستم زباله سوز پلاسما عبارتند از:

1) ناحیه دریافت زباله شامل (Weight Bridge)

2) ناحیه بازیافت و بازیابی مواد

3) ناحیه ذخیره و سیستم تغذیه زباله

4) محدوده پلاسما و سیستمهای کمکی

5) ناحیه اداره SynGas تولیدی بمنظور استفاده در موارد زیر:

- جایگزین روغن سوختی و دیزلی (Green Fuel)

- تولید انرژی الکتریکی تجدید پذیر و پاک

6) سیستم بازیافت تفاله

تولید بیشترین مقدار انرژی قابل بازیافت در راکتور زباله سوز پلاسما با شرایط زیر امکان پذیر است:

- تبدیل انرژی زباله به سوخت و انرژی بمنظور تهیه منبع انرژی تمیز و تجدید پذیر

- کنترل دقیق مقدار اکسیژن برای ورود کمترین مقدار آن بمنظور ممانعت از اکسیداسیون

ترکیبات آلی

گازهای سنتزی (SynGas) که از تبدیل به گاز کردن (Gasification) مواد آلی

بدست می آید عموماً شامل مونوکسیدکربن و هیدروژن و ترکیبات سولفوریک و هالوژنی

شامل HCL, HF و H₂S می باشد. بعد از تصفیه و تمیز کردن کامل، SynGas معمولاً از

گاز طبیعی تولیدی هم تمیزتر است.

ارزش حرارتی گازهای سنتزی به نوع زباله بستگی دارد ولی معمولاً ارزش حرارتی

پایین (LHV) گاز سنتزی تولید شده از زباله در حدود 15-22 MJ/kg می باشد.

۳-۵-۲- فرآیند زباله سوز پلاسما و نحوه عملکرد آن

در این روش طبقه بندی، خرد کردن و خشک نمودن زباله قبل از ورود به راکتور

یک ضرورت نیست. راکتور PGV می تواند زباله مخلوط با ترکیبات مختلف، در اندازه ها

و میزان رطوبتهای متفاوت تا 75٪ وزنی را بدون اینکه نیازی به فرآیند دیگری باشد، استفاده

کند. مواد موجود در زباله بصورت زیر تغییر یافته و خروجی آنها مورد بهره برداری قرار می گیرند.:

الف- مواد آلی در اثر گرمای زیاد به گازهای اولیه (Basic Gas) تبدیل می شوند که این گازها می توانند به عنوان سوخت در پیل سوختی مصرف شوند و یا جهت تولید الکتریسیته مورد بهره برداری قرار گیرند.

ب - مواد غیر آلی در اثر درجه حرارت بسیار بالا ذوب شده سپس به کمک آب، سرد شده و در نهایت به مواد خنثی (غیر خطرناک و غیر سمی) بصورت دانه های سنگی در می آیند. این مواد خروجی می توانند بعنوان دانه های سنگی در ساخت بتن، آجر، جاده سازی و یا حتی ساخت کاشی و سرامیک بکار گرفته شوند. تفاله بوسیله گرانش راهی سیستم خنک کننده می شود و در این سیستم تفاله سریعاً در حمام آب ریخته می شود و بعلت دمای فوق العاده زیاد تفاله، به سرعت کریستالی (Vitrity) می شود که این عمل باعث تشکیل دانه های کوچک و در نهایت سنگریزه می شود. این مواد می توانند به عنوان مواد ساختمانی و تزئینی بکار رود. توضیح اینکه به تفاله خروجی از راکتور SiO_2 اضافه می شود که دلایل آن عبارتند از.:

1- ویسکوزیته تفاله بهبود می یابد و گرفتگی سوراخ لوله خروجی به حداقل می

رسد

2- بعد از کریستالی شدن تفاله، مواد جامد نهایی از نظر نشت به نقطه بحرانی می

رسند و از آن تجاوز نمی کنند.

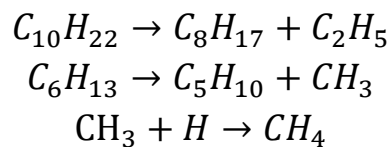
فرآیند گازی شدن زباله آلی، با استفاده از کاتالیزور که عمدتاً " زغال سنگ متالورژیکی است بهبود می یابد که میزان ماده کاتالیزور در حدود 3٪ وزن زباله ورودی می باشد. (11)

۳-۵-۲- واکنشهای انجام شده در فرآیند پلاسما

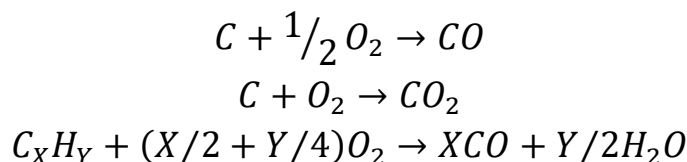
در فرآیند تولید گاز سنتزی سه واکنش در راکتور پلاسما روی می دهد که عبارتند

از.:

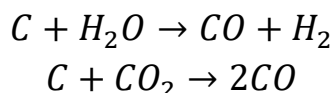
1- شکست حرارتی یا تبدیل به گاز شدن مواد که با شکستن مولکولهای بزرگتر و تشکیل گاز یعنی مولکولهای کوچکتر و سبکتر بوجود می آید. این واکنشها انرژی گیر هستند. معادله (4) یک روش شکست حرارتی خاص را بصورت خلاصه نشان می دهد (10)



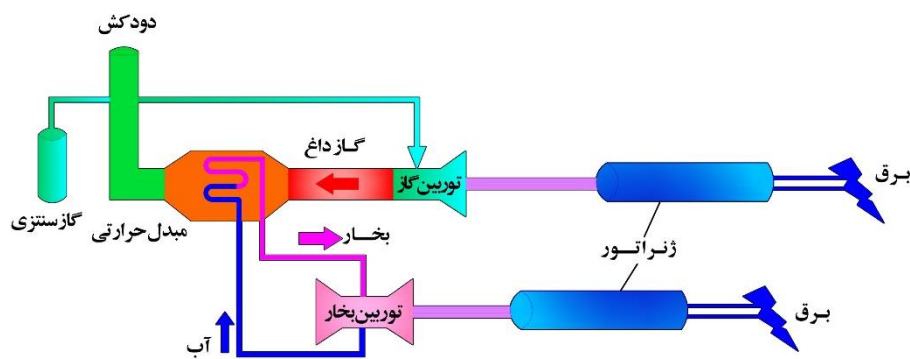
2- دومین واکنشی که سبب تولید گازهای سنتزی می شود، اکسیداسیون ناقص است این واکنش باعث تشکیل مونوکسید کربن می شود و اکسیداسیون پیچیده تر باعث بوجود آمدن مقداری دی اکسید کربن و آب می گردد. اکسیداسیون ناقص (معادله 5)، انرژی زا می باشد که به واکنش Pyrolytic کمک می کند. (10)



3- سومین واکنش، واکنش بازسازی یا اصلاح (معادله 6) است که شامل واکنشهایی است که از ترکیب محصولات واکنشهای دیگر، محصولات جدید بوجود می آید.



فرآیند تبدیل به گاز باید در دمای بین 4000 تا 5000 درجه سانتیگراد در راکتور پلاسما انجام شود و دمای گاز خروجی در راکتور پلاسما بین 1250 تا 1450 درجه سانتیگراد می باشد. این محدوده دما باعث می شود واکنشها در راکتور سریع انجام شوند و ذرات تولیدی به کوچکترین حد خود برسند. همچنین بازده گاز خروجی تولیدی بعنوان گاز سوختی زیاد خواهد بود که می توان از گاز خروجی جهت تولید توان در یک توربین گازی استفاده کرد.



شکل ۳-۴- شماتیک سیستم تولید نیرو در یک نیروگاه زباله سوز سیکل ترکیبی با راکتور پلاسما

۳-۵-۳- اجزاء اصلی راکتور پلاسما

راکتور پلاسما از سه بخش اصلی تشکیل شده است:

1. بالاترین بخش که حجم آن با هدف تامین مدت زمان کافی استقرار کل ترکیبات کربن به منظور شکستن و تبدیل شدن به بیشترین مقدار CO و کمترین مقدار CO₂ طراحی شده است.
2. پایین ترین بخش که مواد خام را در خود نگهداری می کند و مشعل پلاسما در پایین ترین قسمت آن گنجانده شده است.
3. بخش خنک کننده و جمع کننده تفاله که تفاله مذاب را جمع آوری می کند.

۳-۵-۴- سایر اجزاء راکتور پلاسما

3-4-5-1- مشعلهای پلاسما (Plasma Torches):

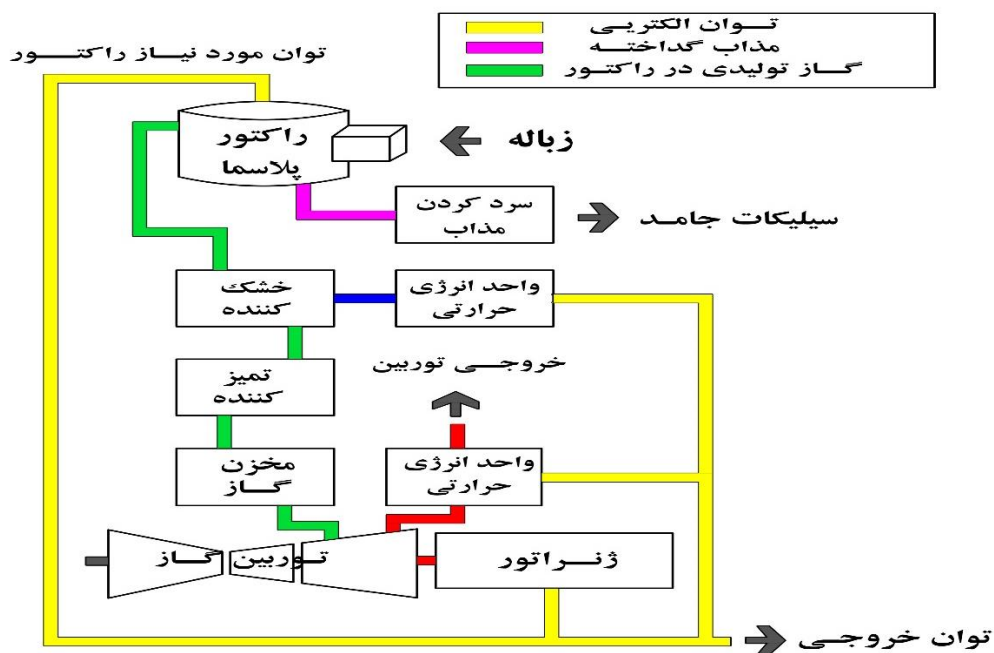
منبع حرارتی PGV مشعلهای پلاسما هستند در درون مشعل پلاسما یک جریان (چشمه) پلاسما ایجاد می شود که در اثر فعل و انفعالات بین گاز و قوس الکتریک میان الکترودها بوجود می آید این عمل، گاز را به الکترونها و یونها تفکیک می کند و این امکان را فراهم می کند که گاز به صورت الکتریکی و گرمایی رسانا باشد. به این ترتیب، انرژی از قوس به گاز فرایند منتقل می شود. (48)

۳-۵-۴-۲- سیستم خنک کننده و تمیز کننده گازهای سنتزی

این سیستم شامل دستگاههای تصفیه گاز است تا گاز به حدی خنک و تمیز شود که برای استفاده بعنوان سوخت مناسب گردد.

۳-۴-۵-۳ اسپری خنک کننده

این اسپری، اولین مرحله از فرآیند تمیز کردن گاز است. در هنگام ورود گاز سنتزی، یک جریان مخالف که محلول هیدروکسید کلسیم است بر روی گاز پخش می شود که تبخیر آن ؛ گاز را خنک می کند.



شکل ۳-۵- شماتیک اجزاء یک نیروگاه زباله سوز با راکتور پلاسما

۳-۵-۵- اجزاء اصلی راکتور یلا سما

راکتور پلاسما از سه بخش اصلی تشکیل شده است:

1- بالاترین بخش که حجم آن با هدف تامین مدت زمان کافی استقرار کل ترکیبات کربن بمنظور شکستن و تبدیل شدن به بیشترین مقدار CO و کمترین مقدار CO₂ طراحی شده است.

2-پائین ترین بخش که مواد خام را درخود نگهداری می کند ومشعل پلاسما درپائین ترین قسمت آن گنجانده شده است.

3-بخش خنک کننده وجمع کننده تفاله که تفاله مذاب را جمع آوری میکند.

۳-۵-۶- سایر اجزاء راکتور پلاسما

3-5-6-1- مشعلهای پلاسما (Plasma Torches):

منبع حرارتی PGV مشعلهای پلاسما هستند. در درون مشعل پلاسما، یک جریان (چشمه) پلاسما ایجاد می شود که در اثر فعل و انفعالات بین گاز و قوس الکتریکی میان الکترودها بوجود می آید. این عمل، گاز را به الکترونها و یونها تفکیک میکند واین امکان را فراهم می کند که گاز به صورت الکتریکی و گرمایی رسانا باشد. به این ترتیب، انرژی از قوس به گاز فرآیند منتقل می شود.

۳-۵-۶-۲- سیستم خنک کننده وتمیز کننده گازهای سنتزی

این سیستم شامل دستگاههای تصفیه گاز است تا گاز به حدی خنک وتمیز شود که برای استفاده به عنوان سوخت مناسب گردد.

۳-۵-۶-۳- اسپری خشک کننده:

این اسپری، اولین مرحله از فرآیند تمیز کردن گاز است. در هنگام ورود گاز سنتزی، یک جریان مخالف که محلول هیدروکسید کلسیم است بر روی گاز پخش می شود که تبخیر آن، گاز را خنک می کند.

۳-۵-۶-۴- فیلترهای پارچه ای

هنگام عبور گازهای سنتزی از فیلتر، ذرات ریز باقیمانده توسط آنها که شبیه کیسه هستند جمع می شوند. کاهش فشار در هنگام عبور گاز، آنتروپی آنرا کاهش می دهد.

3-5-6-5- جذب کننده اسید هیدروکلریک (HCL)

دومین مرحله تمیز کردن گاز، خروج HCL است. این عمل با پخش محلول خشتی کننده HCL نظیر هیدروکسید سدیم (NaOH) در خلاف جهت جریان گاز انجام می شود.

۳-۵-۶- اولین مرحله فشرده کردن گاز سنتزی

گاز سنتزی در این مرحله به کمپرسور فرستاده می شود تا فشار آن از حدود 0.9 barg به 10 barg افزایش یابد، هدف از این عمل ایجاد فشار مناسب برای خروج H₂S است.

3-5-6-7- خروج سولفید هیدروژن (H₂S)

اگر H₂S در گاز سنتزی وجود داشته باشد، بعلت خاصیت خوردندگی می باید H₂S از گاز خارج شود. بدین منظور از سیستم Lo-Cat استفاده می گردد.

۳-۵-۶-۸- دومین مرحله فشرده کردن گاز تمیز

در این مرحله که بعد از خروج H₂S شروع می شود توسط یک کمپرسور، فشار گاز از حدود 5-8 barg به 45 barg افزایش می یابد که این میزان فشار برای استفاده در محفظه احتراق توربین گازی ضروری است. قبل از ورود گاز به این مرحله، هر ماده غلیظ و فشرده شده از گاز خارج می شود و با تسمه نقاله به تفرقه افزوده می شود. مانند الزام افزایش دمای گاز سنتزی برای احتراق با بازده بیشتر، خروج این مواد نیز ضروری است. شکل (5) شماتیک اجزاء یک نیروگاه زباله سوزی با راکتور را نشان می دهد (12).

۳-۶- مزایای فنی و اقتصادی استفاده از راکتورهای زباله سوز

پلازما

1) بهره برداری از الکتریسیته بعنوان منبع نیروی برق: نیروگاه زباله سوز با راکتور پلازما مقداری از الکتریسیته تولیدی را برای استفاده داخلی بکار میبرد و انرژی تولیدی مازاد آن بعنوان یک منبع انرژی تمیز و ارزشمند میباشد. با اینکه این نیروگاه به الکتریسیته زیادی نیاز دارد، هزینه اجرای آن معمولاً از هزینه های ساخت سایر کارخانه های زباله سوز متداول کمتر است. این سیستم معمولاً انرژی الکتریکی کافی برای مصرف و فروش، به همراه سوخت سبز اضافی برای تهیه آب گرم یا بخار برای توربینها فراهم می کند.

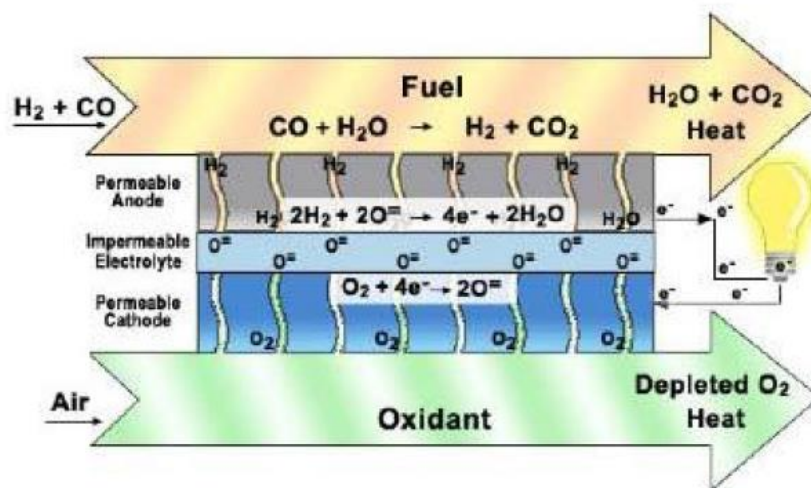
2) طراحی به شکل مدولار وفشرده: این نیروگاهها به صورت مدولار طراحی می شوند. یعنی اجزای آن به طور کامل در بیرون سایت ساخته شده و سپس برای اتصال نهایی به محل مورد نظر حمل می شوند.

مقرون به صرفه بودن از نظر اقتصادی: هزینه سرمایه گذاری و اجراء یک واحد نیروگاه زباله سوز با راکتور پلاسما به ظرفیت 350000 تن در سال، معادل 80-100 میلیون دلار برآورده شده است که ساخت آن 18 ماه به طول می انجامد (13). این هزینه شامل کلیه هزینه های مربوطه از قبیل طراحی، اجرا، بهره برداری و نگهداری می باشد. در مقایسه با سایر کارخانجات زباله سوز، این روش با سیستم بازیافت انرژی و تولید انرژی مورد نیاز خود، اقتصادی تر است. این به آن علت است که تمام محصولات جانبی این سیستم بعنوان سوخت توربینها یا انرژی و تفاله برای مصارف صنعتی و ساختمانی مورد استفاده قرار می گیرند. در جدول (4) مقایسه ای بین هزینه احداث و بهره برداری این نوع نیروگاه و سایر نیروگاهها انجام شده است.

5) امکان استفاده از گازهای سنتزی بعنوان سوخت پاک: گازهای هیدروژن و مونوکسید کربن از عمده ترین گازهای سنتزی میباشند که در راکتور زباله سوز تولید می شوند. هیدروژن سوخت اصلی پیل های سوختی میباشد که جهت تولید الکتریسیته و حرارت در این مولدها استفاده می گردد. با این حال وجود کربن مونوکسید همراه با هیدروژن مانع از استفاده این گازها در اکثر پیل های سوختی بعنوان سوخت است. اما نوعی پیل سوختی با نام اکید جامد (SOFC) موجود می باشد که حساسیتی به وجود کربن مونوکسید موجود در سوخت ندارد، بلکه وجود این گاز همراه با هیدروژن باعث افزایش راندمان پیل سوختی می شود (15). از این نوع پیل سوختی باتوجه به دمای بالای کارکرد آن، بمنظور تولید همزمان برق و گرما استفاده میگردد. شکل (6) نشان دهنده شماتیک واکنش های انجام شده در یک پیل سوختی اکسید جامد است. (49)

جدول ۳-۴- مقایسه هزینه نیروگاه زباله سوز با تکنولوژی پلاسما و سایر نیروگاهها (۱۳)

ویژگی	انرژی زمین گرمایی	مشعل پلاسما	نیروگاه با گاز طبیعی	نیروگاه خورشیدی	نیروگاه بادی	پیل سوختی
دردسترس بودن	٪۸۰	٪۸۵	٪۸۵	٪۳۰	٪۳۱	تجاری نشده است.
هزینه احداث (s/kw)	۱۴۶۵	۱۳۳۳	۴۳۶	۴۰۸۳	۷۴۲	۴۰۰۰
هزینه تعمیر و نگهداری	۹	۱۱	۲۱	۵	۹	-



شکل ۳-۶- شماتیک واکنش های انجام شده در پیل سوختی اکسید جامد (۱۴)

۳-۷- اثرات زیست محیطی استفاده از راکتورهای زباله سوز پلاسما

این سیستم هیچ ماده آلوده کننده ای تولید نمی کند، یا میزان مواد آلاینده موجود در اتمسفر، زمین، و در هر جایی که محصولات حاصل از فرآیند می توانند به بستر آب نشت کرده و یا به درون رودها و جویبارها جاری شوند؛ را افزایش نمی دهد. علاوه براین، بوی

بد که با دفن بهداشتی یا کمپوست بوجود می آید، دراین روش منتشر نمی شود. از سوی دیگر نیازی به زمین برای دفن یا کمپوست وجود ندارد، چون تنها محصولات آن، همانطور که به تفصیل ذکر شده، گازهای سنتزی با ارزش حرارتی بالا که قابل تصفیه بوده و منبع ارزشمندی از انرژی می باشد و همچنین خاکستر ختثایی است که آزمایشات بی اثر بودن و غیر قابل نشت بودن آنرا 100٪ تائید می کند(13). همچنین به غیر از زباله های هسته ای، این راکتور توانایی تصفیه انواع زباله ها شامل زباله های شهری، بیمارستانی، صنعتی و... را دارد و دراین روش نیازی به جداسازی، خشک کردن و خرد کردن زباله ها قبل از ورود به راکتور نمی باشد. در جدول(3-5) میزان آلاینده های تولیدی توسط این تکنولوژی با سایر روشهای زباله سوزی مقایسه شده است.

جدول ۳-۵- میزان تولید آلاینده ها در راکتور پلاسما و مقایسه آن با سایر روشهای زباله سوزی(۱۵)

تکنولوژی	SO _x	NO _x	خاکستر
	Lb/Mwh	Lb/Mwh	Lb/Mwh
زباله سوزهای رایج	0.2-2.7	1.11-7	14
زباله سوز با بستر سیال	2.7	4	14
گازسازی با بستر سیال (جدیدترین روش)	0.1-0.5	0.56-4	0
گاز سازی با مشعل پلاسما	0.1 -0.5	0.5-2	0

فصل چهارم

طراحی نیروگاه زباله سوز

۴-۱- مقدمه

ازدیاد حجم زباله های شهری و افزایش مشکلات دفع آن و همچنین کمبود زمین مناسب جهت دفن و مسائل زیست محیطی مبتلا به سبب رویکرد به روش زباله سوزی در جهان امروز شده است بگونه ایی که از سال 2010 دفن زباله قابل اشتغال در کشورهای عضو اتحادیه اروپا ممنوع گردیده است و تنها روش مورد توافق در این کشورها نیروگاههای زباله سوز می باشد. نخستین بار در سال 1870 کشور انگلستان مبادرت به ساختن اولین کارخانه زباله سوز نمود. پس از آن کشورهای دیگر از انرژی حاصل از سوزاندن زباله در موارد مختلف استفاده نموده اند. در کشور ما نیز بر اساس برآوردهای انجام شده در حال حاضر روزانه حدود هفت هزار تن زباله شهری در همدان، هزار و سیصد تن در همدان و هزار و صد تن در شیراز و حدود هزار تن در اصفهان تولید می شود، این حجم کلان زباله ها علاوه بر اثرات سوء زیست محیطی، مشکلات شهرداری ها و مراکز بهداشتی را بدنبال دارد. نیروگاه زباله سوز به عنوان یک روش کارا در دفع بهداشتی زباله است و از سوی دیگر مولد انرژی می باشد.(49)

زباله را می توان به سه گروه زباله ای شهری، صنعتی و خطرناک تقسیم کرد. زباله های شهری را پسماند مواد غذایی، کاغذ، شیشه، فلز و ضایعات ساختمانی تشکیل می دهند. از نقطه نظر گرفت. جدول (4-1) به عنوان نمونه با مقادیر در صد جرمی اجزای زباله شهری همدان را نشان می دهد. جدول (4-2) نیز مقادیر جرمی ترکیبات شیمیایی زباله شهری بر اساس 100kg نمونه را نشان می دهد. بر این مبنا و با توجه با آنتالپی احتراق عناصر شیمیایی، می توان ارزش حرارتی تقریبی زباله شهری را محاسبه کرد. محاسبات انجام گرفته نشان می دهد که ارزش حرارتی تقریبی زباله شهر همدان برابر با 8700 کیلو ژول بر کیلوگرم است که در مقایسه با زباله شهری کالیفرنیا که برابر 13546 کیلوژول بر کیلو گرم می باشد بمراتب کمتر خواهد بود. دلیل عمده این تفاوت میزان رطوبت زباله شهری می باشد که در حدود 2/5 برابر بیش از نمونه یاد شده است. مقادیر اشاره شده نتیجه

محاسبات انجام گرفته در مورد تعیین فرمول شیمیایی زباله شهری و با توجه با آنالیز کمی انجام گرفته بر روی نمونه های آماری نتیجه شده می باشد. (49)

جدول ۴-۱- مقایسه مقادیر درصد جرمی اجزای زباله شهری در کشور و کالیفرنیا

نوع مواد	درصد جرمی	
	ایران	کالیفرنیا
مواد قابل تبدیل آلی	60-75	27
کاغذ و مقوا	8-14	40-50
پلاستیک	4-7	10-12
شیشه	2-4	1-3
منسوجات	2-4	2-4
چوب	1-3	4-7
فلزات	1-3	4-7
سایر موارد	1-4	1-4

جدول ۴-۲- مقادیر جرمی ترکیبات شیمیایی زباله شهری بر اساس 100kg نمونه (برحسب کیلو گرم)

مواد تشکیل دهنده زباله	جرم مطلوب	جرم خشک	کربن	هیدروژن	اکسیژن	نیتروژن	گوگرد	خاکستر
مواد قابل تبدیل آلی	75	22/5	1/80	1/42	8/46	585/0	0/09	1/125
کاغذ و مقوا	11	10/45	59/4	0/616	4/66	0/03	0/02	0/522
پلاستیک	6	5/88	52/3	0/412	1/34	-	-	0/588
منسوجات	3	2/7	48/1	0/178	0/84	124/0	004/0	0/064
استخوان	3	2/55	23/1	0/165	0/95	056/0	0070/6	0127/0
چوب	2	1/6	79/0	0/096	915/0	00320/	0010/6	0/024
جمع	100	45/68	41/22	9/915	1/946	798/1	123/0	2/45

با توجه به بالانس حرارتی، ارزش حرارتی زباله و نرخ احتراق می توان دمای محصولات احتراق را تعیین نمود. محاسبات نشان می دهد که محصولات احتراق زباله نمونه شهری در محفظه احتراق برابر 1275f (690 درجه سانتیگراد) می باشد.

۴-۲- وضعیت حال حاضر تکنولوژیهای زباله سوزی

عمده ترین تکنولوژی زباله سوزی که در حال حاضر بیشترین استفاده را دارد توده سوز است، و این به دلیل سادگی و هزینه پایین اجرای آن است. معمولترین تکنولوژی شبکه نیز بوسیله مارتین (مونیک-آلمان) توسعه داده شده و هم اکنون ظرفیت زباله سوزی شبکه های نصب شده با این روش حدود 59 میلیون تن در سال می باشد. شبکه مارتین نصب شده در نیروگاه برشا (ایتالیا) یکی از جدیدترین تکنولوژیهای بکار رفته در اروپا است. به غیر از تکنولوژی مارتین، روش توده سوزی وان رول (زوریخ-سوئیس) نیز اجرا می شود و اکنون در دنیا 32 میلیون تن زباله در سال به این روش سوزانده می شوند. (48)

۴-۳- بررسی کمی و کیفی زباله های شهری همدان

مرکز دفن زائدات این شهرستان در حوالی جنوب غربی همدان قرار دارد. با توجه به اینکه این مرکز دفن پذیرائی زائدات جامد بخش های مختلف منطقه می باشد میزان زائدات جامد منتقل شده بسیار بیشتر از زائدات تولید شده در شهر همدان می باشد، بگونه ای که با احتساب جمعیت همدان و شهرها و روستاهای اطراف آن، زباله های قریب به دو میلیون و پانصد هزار نفر جمعیت این منطقه در محل دفن سنتی زباله همدان دفن و تلنبار می گردد. بخشهای مختلف سیستم مدیریت پسماند فعلی اجرا شده در این شهر شامل تفکیک از مبدأ، ذخیره بار جمع آوری پسماند در محل تولید، حمل و نقل زائدات درون و برون شهری، بازیافت و سایر صنایع تبدیل زائدات و در نهایت دفن زائدات در مرکز دفن هر یک با کیفیت ها و شیوه های متفاوتی اجرا می گردد. بر مبنای اطلاعات موجود؛ میزان زائدات ورودی به مرکز دفن این شهرستان روزانه 1300 تن پسماند می باشد که پس از عملیات پیش فراوری در حدود 40 تن از این پسماندها جدا سازی و تفکیک مجدد می شود. که با

توجه به جمعیت مستقر در حوضه مدیریت پسماند منطقه هر نفر بطور متوسط در هر روز 765 گرم زباله صنعتی، شهری و بیمارستانی تولید می کند. بر مبنای نتایج مطالعات و اطلاعات کسب شده، میزان ترکیبات زائدات جمع آوری شده در این شهر مطابق با جدول 3-4 و همچنین سایر اطلاعات مربوط به میزان زائدات، مطابق با جدول 4-4 می باشد. همانگونه که ملاحظه می شود درصد بخش فساد پذیر بالایی می باشد که این خود گویای پتانسیل نهفته در آن جهت استحصال انرژی می باشد.

جدول 4-3- ترکیبات اجزاء تشکیل دهنده پسماند شهر همدان

فاکتور	درصد	ارزش حرارتی (KJ/kg)	مقدار وزن هر جزء (تن)
فسادپذیر	69/09	3000	798
کاغذ	5/64	12000	73
مقوا	3/64	12000	47
لاستیک	0/59	16000	8
پلاستیک	8/24	25000	107
Pet	0/47	25000	6
پارچه	3/58	13000	47
شیشه	2/6	-290	34
فلزات آهنی	2/75	-290	36
فلزات غیر آهنی	0/13	-290	2
نخاله ساختمانی	2/64	1800	34
چوب	0/79	15000	10

جدول 4-4- اطلاعات مربوط به میزان زائدات

مقدار کل فسادپذیر (تن)	درصد جامدات کل (درصد)	کارایی هاضم در حذف TS (درصد)	قابلیت تولید گاز از هر کیلوگرم TS حذف شده (لیتر)
898	17	55	350

۴-۴- معرفی فرآیند و طراحی ارایه شده برای مجتمع نیروگاه

زیست توده

پس از انتقال زائدات جمع آوری شده از سطح شهر به محل نیروگاه، این مواد به دو دسته آلوده و غیر آلوده تقسیم می‌شوند. تمام زائدات آلوده مستقیماً به واحد حرارتی ارسال می‌شوند و دسته دیگر پس از عبور از مسیر تفکیک به دو بخش فسادپذیر و غیرفسادپذیر تقسیم می‌شوند. اجزاء فساد پذیر در ادامه پس از خرد شدن و کنترل نهایی، برای تولید انرژی توسط واحدهای بی‌هوازی، وارد هاضم‌های بی‌هوازی می‌شوند.

گاز تولیدی در این واحدها، پس از جمع آوری انجام فرایندهای خالص سازی، به واحد ذخیره و تولید انرژی الکتریکی منتقل می‌گردد. موتور ژنراتورهای بیوگازسوز نیروگاه، وظیفه تولید انرژی از بیوگاز تولیدی را دارا می‌باشند. حرارت تولید شده در ضمن فرآیند تولید برق را میتوان در واحدهای محلی مورد تقاضای حرارت به مصرف رساند. بخشی از حرارت مازاد بر مصرف تولید شده صرف گرم کردن مخازن هاضم‌ها نیز خواهند شد. بخش غیر فساد پذیر نیز پس از عبور از مراحل تکمیلی، ضمن جدا سازی اجزاء قابل مصرف به همراه اجزاء باقی مانده به واحد گازی سازی منتقل می‌شود تا تحت فرآیندهای حرارتی، به گاز مصنوعی تبدیل شود. گاز حاصل نیز پس از خالص سازی در سامانه های تولید برق مصرف و الکتریسیته تولیدی به شبکه سراسری برق تزریق می‌گردد. (49)

۴-۵- محاسبه توان الکتریکی نیروگاه زیست توده سازگار با سوخت

زباله شهری

الف- محاسبه توان الکتریکی واحد حرارتی (گازی سازی) نیروگاه براساس روش زیر قابل انجام است.

میزان پتانسیل انرژی خالص قابل تولید از زائدات از رابطه 1 بدست می آید:

$$\begin{aligned} P &= NCV \times W \times (1000/860) \\ &= 1.162 \times NCV \times W \quad (1-4) \end{aligned}$$

که در این عبارت P برابر با پتانسیل انرژی خالص (کیلو وات ساعت)، W مقدار زباله (تن) و NCV ارزش حرارتی خالص (کیلو کالری بر کیلوگرم) می باشد. بر این اساس میزان توان الکتریکی قابل تولید بر حسب (کیلو وات) در رابطه 2 ارائه شده است.

$$P = 1.162 \times W \times (W/24) = 0.048 \times NCV \times W \quad (2 - 4)$$

با توجه به راندمان معمول تولید انرژی توسط سامانه های تبدیل بیوگاز به انرژی الکتریکی که برابر 35٪ می باشد، می توان یک عبارت ساده تر برای برآورد میزان توان قابل تولید از زائدات (کیلو وات) بدست آورد. این عبارت در رابطه 3 ارائه شده است.

$$P = 0.12 \times NCV \times W \quad (3 - 4)$$

پس از تعیین وزن و ارزش حرارتی هر یک از اجزاء توان الکتریکی واحد گازی سازی نیروگاه مشخص گردید نتایج در قسمت بعد آمده است.

ب- واحد هضم بی هوازی

این واحد برای تولید الکتریسیته از بخش فسادپذیر موجد در زباله شهری می باشد. با انجام نمونه برداری از زباله های شهری، کیفیت بخش فساد پذیر آن تعیین و قابلیت زباله ها برای تولید بیو گاز در راکتورهای مناسب با انجام کار عملی آزمایشگاهی، مشخص می گردد. با استفاده از نتایج کارهای عملی، دخالت فاکتورهای مناسب در محاسبات و بر مبناء روابط، فرمولها و معادلات جهانی، امکان استخراج معادلات معتبر برای آورد میزان توان انرژی الکتریکی قابل تولید از زائدات شهری ایران استفاده از فناوری هضم بی هوازی فراهم گشت. این روابط با توجه به مشخصات زباله های ایران، تصحیح و ارائه شده است. پارامترهای دخالت داده شده در محاسبه به شرح ذیل می باشد. لازم به ذکر است که این پارامتر حاصل بررسیهای عملی خاص ایران در راکتورهای نیمه صنعتی می باشد:

W_d برابر است با مقدار زباله فساد پذیر (تن)

میزان درصد جامدات کل (TS٪) برابر با 17٪ در نظر گرفته می شود.

میزان راندمان حذف مواد جامد خشک در فرایند بی هوازی برابر 55٪ می باشد.

پتانسیل تولید بیو گاز از هر کیلوگرم مواد جامد خشک هضم شده برابر 35٪ متر مکعب می باشد.

راندمان الکتریکی موتور بیو گازی بطور معمول برابر با 35٪ می باشد.

ارزش انرژی هر متر مکعب بیوگاز نیز برابر 6kw می باشد.

الکتریسیته قابل تولید از هر متر مکعب بیوگاز برابر با 2/1kw می باشد.

در نهایت توان الکتریکی (kw) از رابطه 4 بدست می آید.

$$P_e = (W_d \times \%17 \times \%55 \times \%35 \times \%35 \times 6) / 24 = 0.0029W_d \quad (4 - 4)$$

این مدل بر مبنای مطالعات، کار میدانی و نمونه برداریهای عملی صورت گرفته از زائدات جامد شهری ایران و بر اساس نتایج حاصل از تعیین پتانسیل عملی در راکتورهای آزمایشگاهی بدست آمده است. بدیهی است بر مبنای توضیحات فوق بهره گیری از مدل‌های غیر بومی و بدون اعمال تصحیحات لازم برای ایران نمی تواند صحیح و عملی باشد.

۴-۶- برآورده توان الکتریکی قابل استحصال در طرح نیروگاهی زیست توده

این طرح نیروگاهی دارای دو واحد مستقل گازی سازی و هضم بی هوازی خواهد بود. نتایج محاسبات هر یک به تفکیک آورده می شود.

الف- محاسبه تون الکتریکی واحد گازی سازی

متوسط خوراک ورودی به نیروگاه در هر روز شامل 47 تن پارچه غیر قابل بازیافت، 10 تن ضایعات چوبی و 120 تن ضایعات کاغذ و مقوای غیر قابل بازیافت می باشد. باتوجه ارزش حرارتی هر جزء، متوسط ارزش حرارتی خوراک ورودی به قسمت گازی سازی در مجتمع نیروگاهی زیست توده معادل 2973 کیلو کالری بر کیلوگرم محاسبه گردید. با توجه به خصوصیات کمی و کیفی خوراک ورودی نیروگاه و روش محاسباتی تدوین شده در قسمت فوق توان الکتریکی واحد گازی سازی در این مجتمع نیروگاهی برابر 6/315 مگاوات می باشد. (50)

ب- محاسبه توان الکتریکی واحد هضم بی هوازی:

روزانه 898 تن مواد فساد پذیر به قسمت هضم بی هوازی منتقل می شود. پس از انجام عملیات کنترل و تفکیک نهایی، زباله ها خرد شده وارد مخازن بی هوازی می گردد. با

توجه به نتایج حاصل از کارهای میدانی و نیز آنالیز و محاسبات انجام شده با تکیه بر آمارهای کمی و کیفی فوق و نیز روش ارایه شده، در این نیروگاه توان الکتریکی در قسمت بی هوازی معادل 2/6042 مگاوات بر آورده گردید. با احداث این نیروگاه سالانه علاوه بر تولید 19531 مگاوات ساعت الکتریسیته 144 هزار تن کود آلی، عاری از عوامل بیماری‌زا قابل استفاده در کشاورزی، توسعه فضای سبز شهری و پرورش گیاهان آپارتمانی نیز تولید می شود.

با توجه به موارد فوق می توان پتانسیل عملی تولید انرژی الکتریکی از پسماند را به صورت رابطه زیر ارائه نمود.

$$P(MW) = \left(\sum (R \times CV) \times 1.1157 \times 10^{-5} \right) \quad (5 - 4)$$

P: پتانسیل عملی تولید انرژی از پسماند بوسیله زباله سوزی

R: نرخ تولید پسماند فساد پذیر حاوی انرژی (تن در روز)

CV: ارزش حرارتی پسماند (کیلو ژول بر کیلو گرم)

1.1157×10^{-5} : عدد ثابت

این میزان پتانسیل بدست آمده، مقدار توانی خواهد بود که بصورت تئوری قابل استحصال می باشد. برای برآورد میزان توان عملی قابل استحصال، این عدد را میبایست در مقدار بازده معمول سیستم های زباله سوز با دیوار های آبی در زمینه تولید انرژی که حدود 20 درصد میباشد، ضرب نمود. برای محاسبه میزان انرژی قابل استحصال بر مبنای ارزش حرارتی اجزاء مختلف مواد تشکیل دهنده زائدات جامد شهری و درصد وجود ترکیبات مختلف در زباله های این شهر، خواهیم داشت:

$$P = 2.45 \times 25000 + 5.191 \times 13000 + 6.993 \times 12000 \\ 1.274 \times 18000 + 4.088 \times 15000 (1.1157 \times 10^{-5}) \\ (\%20) = 7.74 Mwe$$

۴-۷- محصولات و مدیریت خاکسترها

مواد باقی مانده از هضم و تصفیه حرارتی به طور عمومی شامل خاکستر کف و لجن است. این مواد به طور مکانیکی جمع آوری و سرد می شوند (ابتدا بوسیله آب ته نشین

شده و سپس به بیرون زباله سوز هدایت می شوند)، آهن ربای الکتریکی برای جدا کردن مواد قابل بازیافت مانند آهن و آلومینیوم استفاده می شود. مواد باقیمانده برای بخش نهایی فرستاده می شوند (معمولاً در محل های دفن قرار داده می شوند). مواد حاصل بسته به وضعیت فیزیکی، ترکیب شیمیایی و مقررات مربوط می توانند به عنوان سنگدانه ها مورد استفاده قرار گیرند. خاکستر کف ناشی از سیستم های تصفیه حرارتی معمولاً 10٪ حجم و 10 تا 25٪ وزن زباله های ورودی را تشکیل می دهند.

۴-۷-۱- منافع زیست محیطی (معادل ریالی)

محصولات حاصل از فسادپذیری و تخمیر منابع زیست توده، بصورت عمده گاز متان و گاز دی اکسید کربن می باشد. گاز دی اکسید کربن تولید شده در اثر این فعل و انفعالات بدلیل مصرف مجدد توسط منابع زیست توده (گیاهان و موجودان زنده) در چرخه رشد و زندگی آنها، بعنوان گاز دی اکسید کربن تجدید پذیر نامیده می شود. ماهیت منبع این گاز با ماهیت گاز دی اکسید کربن حاصل از سوختن سوخت های فسیلی کاملاً متفاوت می باشد. زیرا گاز حاصل از مصرف منابع فسیلی جزء آلاینده های زیست محیطی بوده و به محیط زیست بار خواهد شد.

گاز متان تولید شده محصول تجزیه منابع و مواد آلی موجود در مواد زیست توده دارای پتانسیل آلاینده گی محیط زیست با 21 برابر حجم معادل گاز دی اکسید کربن می باشد. بنابراین برای محاسبه منافع ریالی زیست توده میتوان میزان گاز متان حاصل از سوختن منابع زیست توده را در هزینه های محیط زیستی و اجتماعی حاصل از برآورد تولید برق معادل با پتانسیل منطقه در نظر گرفته و میزان فایده زیست محیطی حاصل از احداث این تاسیسات را در هر منطقه محاسبه نمود. با توجه به اینکه خروجی اگزوز سامانه زباله سوز گازهای حاصل از سوختن مواد زیست توده می باشد که عمده آن گاز دی اکسید کربن است، بنابراین برای در نظر گرفتن منافع ریالی حاصل از احداث این سامانه بر مبناء مطالعات انجام شده میانگین هزینه های خارجی گاز دی اکسید کربن تولید شده در یک نیروگاه مشابه که به جامعه بار می شود برابر با 11/92 ریال به ازاء هر کیلو وات ساعت تولید نیروگاه است. بنابراین در

اثر احداث این نیروگاه، میزان ارزش منافع اجتماعی حاصل در اثر عدم احداث یک نیروگاه مشابه با سوخت فسیلی برابر است با:

$$7.74 \text{ Mwe} = \text{میزان توان قابل تولید در نیروگاه}$$

$$7500 \text{ h} = \text{ساعات کارکرد سالیانه سامانه}$$

$$7740 \times 7500 = 5805 \times 10^4 \text{ Kwe} = \text{انرژی قابل تولید در سال}$$

$$5805 \times 10^4 \times 11.92 = 691.956.000 = \text{میزان ارزش ریالی منافع زیست محیطی}$$

سالانه ریال

۴-۷-۲- منافع ریالی حاصل از فروش برق به شبکه

بر مبنای قانون تنظیم بخشی از درآمدهای دولت و اصلاحات بعدی آن، هم اکنون قیمت خرید برق تضمینی از بخش خصوصی تولید کننده آن از امحاء انواع انرژیهای نو، بطور متوسط برابر با 1234 ریال به ازاء هر کیلو وات ساعت تولید نیروگاه میباشد. بنابراین بر مبنای میزان تولید انرژی الکتریکی در شهر تبریز از زائدات جامد شهری، مقدار درآمدهای حاصل از احداث این نیروگاه عبارت است از :

$$7740 \times 7500 \times 1234 = 71633.7 \times 10^6$$

به عبارت دیگر در هر سال بر مبنای کارکرد 7500 ساعت، با این نیروگاه میتوان در آمدی معادل با 71 میلیارد ریال را انتظار داشت.

۴-۸- نوع کوه زباله سوز

اصولاً از آنجاییکه احتراق یک پدیده آنی نیست، فضای کافی در کوره بایستی اجازه اقامت لازم جهت احتراق کامل را به سوخت و گازهای قابل احتراق بدهد. این فاکتور با عنوان "زمان قیامت" نامیده می شود و تابعی از دما کوره و درجه توربولانس می باشد. فاکتور توربولانس بیانگر رابطه فیزیکی سوخت هوا در کوره است. نوع کوره برای زباله سوز غالباً با توجه به نوع شبکه بارگذاری آن انتخاب می شود. به عبارت دیگر در صورت استفاده از شبکه بارگذاری متحرک آزادی بیشتری در آرایش کوره وجود دارد. کوره های

زباله سوز چند محفظه ای غالباً به دو نوع عمده خطی و دیگری تقسیم می شوند. جهت احتراق کامل و کاهش ذرات ناشی از احتراق از زباله سوز چند محفظه ای استفاده می گردد. محفظه اولیه به منظور احتراق زباله جامد بکار میرود. محفظه ثانویه جهت تضمین زمان اقامت کافی و احیاناً تزریق سوخت اضافی به منظور احتراق کامل گاز های نسوخته و باقیمانده قابل احتراق تولید شده در محفظه اولیه در نظر گرفته شده است. کوره دیگری یک زباله سوز مکعبی فشرده با بافتهای چند گانه داخلی است. بافلها امکان چرخش 90 درجه به گاز را در هر دو جهت عمودی و افقی می دهند و در هر چرخش مقداری از خاکسترته نشین می شود.

محفظه اولیه دارای شبکه برای بارگذاری زباله و منفذ جمع آوری خاکستر می باشد. کوره با سیستم خطی معمولاً برای ظرفیتهای بالاتر بکار می روند. جریان گاز در آنها در طول زباله سوز می باشد و تنها تغییر جهت به صورت عمودی دارد. غالباً در زباله سوز خطی از گاز طبیعی به عنوان سوخت کمکی استفاده می شود. زباله روی شبکه بار می شود که می تواند ثابت یا متحرک باشد در سیستم طراحی شده، زباله سوز نوع خطی با شبکه بارگذاری اتوماتیک مد نظر می باشد. سوخت اضافی مشعل ها در محفظه اولیه به منظور اشتعال بکار می رود در حالی که در محفظه ثانویه سوخت مشعل جهت تأمین حرارت لازم برای سوختن کامل ذرات احتراق پذیر می باشد. کنترل دمای کوره توسط کنترل هوای اضافی و یا انتقال حرارت مستقیم بوسیله افزون مواد جاذب حرارت درون کوره (Spray Water) صورت می گیرد. 70٪ از هوای وارد شده به سیستم بایستی به محفظه اولیه به عنوان هوای روی شعله، 10٪ به عنوان هوای زیر شعله و 20٪ برای محفظه ثانویه مصرف گردد.

بارگذاری سطح شبکه در حدود، $60-90 \text{ Lb/hr.ft}^2$ و نرخ احتراق در حدود Lb/hr

4 به ازای حجم کوره خواهد بود. جرم ذرات معلق تولیدی حدود 20٪ جرم زباله ورودی و حرارت جذب شده در دیواره های کوره 3٪ حرارت ورودی اختیار شده است. (51)

جدول 4-5- موازنه جرمی زباله سوز (براساس 100lb زباله ورودی)

ورودی			خروجی		
زباله			دی اکسید کربن		82/2
مواد قابل احتراق			هوا		
سلولز	12/1		اکسیژن	64	
روغن چربی	26	38/1	نیتروژن	553	6/7
رطوبت		54/3	رطوبت		
سایر مواد غیر قابل اشتعال		6/4	زباله	54/3	
جمع		100	حاصل از سوختن سلولز	8/325	
هوای کلی			حاصل از سوختن هیدروژن	26/1	
اکسیژن	147		در هوا	9/24	
نیتروژن	553	700	آب پسماند	5	103
رطوبت در هوا			غیر قابل احتراق		6/6
آب پسماند		5	غیر قابل محاسبه		5
جمع کل		814/5	جمع کل		814/5

جدول 4-6- موازنه حرارتی کوره برای زباله حرارت ورودی (btu)

زباله	100	395000
رطوبت هوا	9/24×1050	9702
جمع		404702

جدول 4-7- حرارت خروجی (Btu)

حرارت گاز خشک کن	734/4×320	234080
حرارت در بخار آب (48-1680)	103	168100
حرارت ذرات معلق (80-1500)	2×0/25	710
حرارت درمانده (80-180)	7×0/25	175
حرارت دیواره های کوره (3٪ حرارت ورودی)		12141
غیر قابل محاسبه		396
جمع		404702

جهت کنترل دمای کوره از طریق پاشیدن آب در محفظه پاشش با توجه به دمای در نظر گرفته شده برای دود خروجی میزان آب را محاسبه کرد. جدول (5) میزان آب مورد نیاز جهت کنترل دمای خروجی 600f را نشان می دهد.

جدول ۴-۸- موازنه حرارتی برای محفظه اسپری آب

ورودی در 1275 درجه	
234080	حرارت گاز خشک
168100	حرارت بخار آب
710	حرارت در ذرات معلق
396	برآورده نشده
403286	جمع
	خروجی 600 F
64080	حرارت گاز خشک
1400	حرارت رطوبت هوای نشتی
12141	حرارت دفع شده از دیوار
29566	حرارت تبخیر آب
403286	جمع
Total Moistate = 295695 / 1335 = 299lb	

۴-۹- کنترل آلودگی و حذف ذرات

در طراحی یک زباله سوز شرایط مناسب جهت تخلیه محصولات احتراق به اتمسفر بایستی در نظر گرفته شود. گازهای حاصل از احتراق شامل مقادیری ذرات معلق می باشد که به منظور آلودگی بایستی بخش اعظم آن حذف گردد. کنترل آلودگی در کوره تابع ترکیب زباله، نرخ و شیوه بارگذاری، نوع کوره، شرایط مشعل و هوای اضافی می باشد. مهمترین آلودگی زباله سوزها در تخلیه به هوا ذرات کلیریدها و سولفور اکسید میباشد. هم چنین nox ، cox را نیز بایستی در طراحی سیستم های کنترل آلودگی مد نظر داشت. توزیع و میزان ذرات معلق برای یک کوره زباله سوز چند محفظه ای جدول (6) قبل از کنترل ارائه شده

است. محدوده استاندارد قابل قبول از نظر زیست محیطی نشر ذرات تا 0/85lb به ازای هر 1000lb گاز خروجی و یا 6lb به ازای هر 1000lb زباله ورودی به کوره می باشد.

جدول ۴-۹- توزیع ذرات معلق در محصولات احتراق زباله سوز نمونه (۲۵۰ tons/day)

درصد وزنی کوچکتر از سایز مشخصه	توزیع ذرات (μ)
40/4	30
34/6	20
31/1	15
26/8	10
24/8	8
22/3	6
19/2	4
14/6	2

دو روش عمده جهت حذف ذرات آلوده کنندگان از محصولات احتراق خروجی روش مرطوب و خشک می باشد. در روش مرطوب از دیواره بافل دار و مرطوب و هم چنین از فیلتر HEPA و یا فیلترهای کمیته ای استفاده می شود در حالیکه روش خشک شامل استفاده از سایکلون با روش اکتروستاتیک می گردد و لازمه آن کاهش دمای گاز ورودی تا دماهای زیر 600F می باشد. هرچند در عمل ترکیبی از این دو، مورد استفاده قرار می گیرد.

۴-۱۰- بازیابی حرارت بصورت بخار یا الکتریسته

در مولدهای بخار بازیاب برای حداکثر کردن توان بازیابی انرژی، از دو یا چند سطح فشار و سیکل آب و بخار استفاده شده می گردد و معمولاً نیازی به مصرف سوخت اضافی و احتراق کمکی نمی باشد. هرچند در عمل می توان از سیستم احتراق کمکی استفاده کرد بدین منظور مشعلهایی در کانال دود نصب نمود. چنانچه در بخشهای قبلی ارائه شد دمای آدیاباتیک شعله برابر با 690 درجه سانتیگراد می باشد و می توان دمای محصولات احتراق خروجی را در 600 درجه فاز نهایت کنترل نمود. آنتالپی محصولات احتراق در این دما در حدود 330 Btu/lb می باشد و با احتساب تقریباً 8 lb دود خروجی به ازای هر Lb زباله

آنتالپی حاصل از سوختن هر Lb زباله ورودی به مولد بخار بازیاب 2640 Btu خواهد بود. محاسبات نشان می دهد که میزان بخار تولید شده به ازای هر Lb زباله از طریق خشک کردن اولیه یا جدا سازی پسمانده غذایی از سایر اجزای زباله که منجر به کاهش رطوبت می گردد می توان میزان تولید بخار را افزایش داد. کاهش میزان درصد رطوبت به مقادیر کمتر از 25٪ سبب افزایش تولید بخار به نسبت 1/8 برابر می گردد. هم چنین جهت دستیابی به نسبت های بالاتر بخار می توان از سیستم احتراق کمکی استفاده کرد. معمولاً تفاضل دمای بین دود و بخار در حدود 15 درجه فارنهایت اختیار می شود و بویلر بازیافت با فشار حدود 10bar طراحی می گردد. (52)

۴-۱۱- بررسی اقتصادی استفاده از کوره زباله سوز جهت بازیافت حرارت

به منظور ارزیابی اقتصادی طرح، مبنای مقایسه را تولید بخار با فشار 10bar و دمای 500 درجه فارنهایت در نظر می گیریم و هزینه های ثابت و جاری کوره زباله سوز و دیگ بازیاب حرارت را با عمر مفید 20 سال با دیگ مشعل با عمر مفید 15 سال مقایسه می کنیم، ساعت کارکرد سالیانه دیگ بخار بازیاب 75000 ساعت و هزینه نصب آن در حدود 12٪ قیمت تجهیزات می باشد. سوخت مورد استفاده دیگهای مشعلدار گازوئیل در نظر گرفته شده است. جهت بر آورد ارزش فعلی هزینه های در طول n سال، با نرخ بهره i و نرخ تعدیل e از فرمول زیر می توان استفاده کرد.

$$A_D = \left[\left(\frac{A}{i - e} \right) \left(\frac{1 + e}{1 + i} \right)^n \right]$$

هزینه نگهداری سالیانه 5٪ هزینه نهایی نصب در نظر گرفته می شود. بر این مبنا و با در نظر گرفتن دو حالت مختلف برای نرخ سرمایه گذار، تورم و نرخ رشد قیمت، نتایج مقایسه اقتصادی در جدول (7) ارائه شده است.

جدول ۴-۱۰- مقایسه اقتصادی سیستم زباله سوز و بویلر مشعل دار برای تولید ۱۰۰ تن بخار و ۵۰

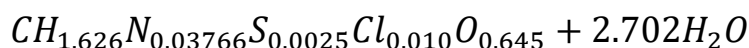
درجه سوپر

شرح	سرمایه گذاری اولیه	هزینه سوخت	جمع کل هزینه ها
استفاده از سیستم زباله سوز	۸۵۰۰ میلیون ریال	۹۲۲۰۰ میلیون ریال	۹۸۷۰۰ میلیون ریال
استفاده از دیگ مشعل دار	۳۰۰۰ میلیون ریال	۱۸۵۰۰۰ میلیون ریال	۱۸۸۰۰۰ میلیون ریال

حرارت تولید شده از هر ۴۰۰ تن حدود ۷،۵۲ MW است و با توجه به راندمان متعارف ۲۰ درصد برای کوره های نیروگاهی، می تون تولید ۵،۱۰ MW توان تولید را انتظار داشت.

۱-۱۱-۱- آنالیز زباله

آنالیز زباله نشان می دهد که این زباله دارای فرمول شیمیایی مطابق زیر می باشد:



از خصوصیات منفی بارز در زباله ها رطوبت بالای آن، حدود ۶۰ درصد می باشد که موجب کاهش ارزش حرارتی آن می شود. میانگین ارزش حرارتی پایین زباله همدان با رطوبت بر طبق آزمایش معادل ۵۳۸۲ KJ/Kg می باشد. این مقدار معدل ۶۵۱۰ KJ/Kg ارزش حرارتی بالا (HHV) بر طبق توصیه گزارش بانک جهانی در ارتباط با حداقل ارزش حرارتی پایین لازم برای احداث نیروگاه زباله سوز (۷ KJ/Kg) باید زباله با رطوبت زدایی به حد مطلوب ارزش حرارتی برسد همچنین گسترش تفکیک زباله تر و خشک نیز می توان به نحو چشمگیری به افزایش ارزش حرارتی کمک کند. با در نظر گرفتن در صدهای مختلف رطوبت زباله می توان جدول (۸) را ارائه داد. همانطور که در جدول (۸) دیده می شود با کاهش رطوبت زباله ها می توان به ارزش حرارتی مطلوب برای بهره برداری از نیروگاه زباله سوز رسید.

جدول ۴-۱۱- ارزش حرارتی بالای زباله بر حسب درصد رطوبت زباله

درصد وزنی رطوبت زباله	٪۶۰	٪۳۰	٪۰
ارزش حرارتی بالا (HHV) (MJ/Kg)	۶،۵	۱۱،۳۷۵	۱۶،۲۵

با توجه به حجم زباله تولیدی شهر می توان یک نیروگاه با ظرفیت 1200 تن زباله در روز ساخت که شامل سه کوره 400 تنی می باشد و به این ترتیب در کنار امحاء بهداشتی این حجم عظیم از زباله در روز، حدوده 32MW نیز تولید شود. (28)

نتیجه گیری

نیروگاه زباله سوزی به عنوان یک راه حل قطعی جهت دفع بهداشتی زباله، برای نقاطی که فاقد زمین کافی جهت دفن زباله باشند به شمار می رود. به عنوان نمونه، پس از بررسی ها و مطالعات انجام شده، زباله شهری جهت تولید انرژی، از ارزش حرارتی نسبتاً پایینی برخوردار است و این به دلیل رطوبت فراوان پسماندهای غذایی می باشد. در صورت وجود طراحی جهت بازیابی انرژی از سوزاندن زباله بهتر است یا نسبت به جدا سازی و یا پیش گرم کردن زباله جهت کاهش رطوبت آن اقدام کرد. استفاده از احتراق کمکی در کوره زباله سوز بستگی به ابعاد طرح مورد نظر دارد. با توجه به جدول (7)، سرمایه گذاری اولیه زباله سوز نسبت به دیگهای مشعل دار به هزینه بالاتری نیاز دارد ولی با در نظر گرفتن نرخ رشد قیمت برای سوخت و عدم هزینه برای زباله و همچنین در نظر گرفتن رفع مشکل دفع زباله و مسائل بهداشتی مبتلا به بررسی جدی تر طرح را ضروری می نماید.

شبیه سازی نیروگاه زیست توده شهر همدان با نرم افزار HOMER

نرم افزار HOMER در اصل برای بهینه سازی مدل ترکیبی انرژی های ترکیب پذیر نظیر انرژی بادی، خورشیدی، زیست توده و ... به کار برده میشود. همچنین با استفاده از این نرم افزار می توان مدلسازی بارهای حرارتی و هیدروژنی را نیز انجام داد. مهمترین وظایف HOMER را میتوان به صورت زیر تقسیم بندی نمود

1- پیدا کردن کمترین هزینه با ترکیبی از اجزای بارهای الکتریکی و حرارتی

2- شبیه سازی هزاران مورد از تنظیمات سیستم

3- بهینه سازی هزینه چرخه عمر و تجزیه و تحلیل حساسیت سیستم ترکیبی


همچنین این نرم افزار قادر است تا گزینه های طراحی متفاوت بسیاری طبق اصول تکنیکی و اقتصادی را مقایسه کند. همچنین امکان اعمال تغییرات و عدم قطعیت های فراوانی در ورودیها را فراهم میسازد. HOMER عملکرد یک آرایش خاص سیستم را برای هر ساعت از سال با تعیین روشهای ممکن تأمین انرژی مورد نیاز و هزینه ی چرخه ی عمری عمران را مدلسازی میکند. این نرم افزار از معادله ی NPC برای هزینه ی چرخه ی عمر استفاده میکند که شامل هزینه های تأسیس اولیه، هزینه جایگزینی، تعمیرات، سوخت، خرید برق از شبکه، جریمه های ناشی از آلودگی هوا و فروش برق به شبکه است. با وارد نمودن اطلاعات سیستم مورد مطالعه نظیر اطلاعات فنی و اقتصادی میتوان به مقرون به صرفه بودن سیستم با استفاده از نرم افزار HOMER پی برد. لذا با داشتن اطلاعات صحیح از سیستم مورد مطالعه، بهینه یابی ترکیبی سیستمهای انرژی تجدیدپذیر به مناسبترین پیکربندی (از لحاظ فنی و اقتصادی) به سادگی امکانپذیر خواهد بود مراحل زیر را جهت مدلسازی سیستم های تولید پراکنده توسط نرم افزار HOMER انجام میدهیم:

مرحله اول: ژنراتور مورد نظر را انتخاب میکنیم. در این شبیه سازی از ژنراتور

زیست توده 500 KW استفاده شده است.

DESIGN

Add/Remove Generic 500kW Biogas Genset

GENERATOR  Name: Generic 500kW Biogas Ger Abbreviation: Bio Remove

Properties

Name: Generic 500kW Biogas Genset

Capacity: 500 kW

Fuel: Biogas

Fuel curve intercept: 50.0 kg /hr

Fuel curve slope: 2.00 kg /hr/kW

Emissions

CO (g/kg fuel): 2

Unburned HC (g/kg fuel): 0

Particulates (g/kg fuel): 0

Fuel Sulfur to PM (%): 0

Optimization

☒ Simulate systems with and without this generator

☐ Include in all systems

Generic

homerenergy.com

Andy Kruse

sales@homerenergy.com

+(1) 720-565-4046

HOMER Energy

1790 30th St. Suite 100

Boulder, CO 80301 USA

HOMER ENERGY

Generator Cost

Initial Capital: \$3,000.00

Replacement: \$1,250.00

O&M (per hour): \$0.100

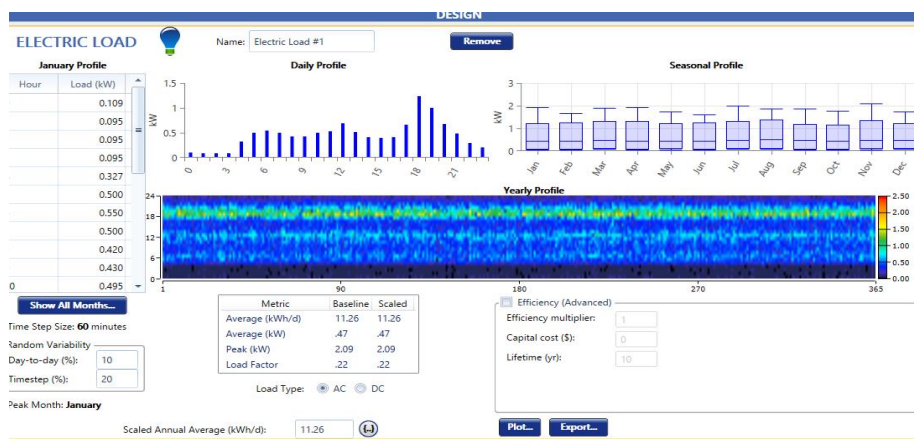
Electrical Bus

☒ AC ☐ DC

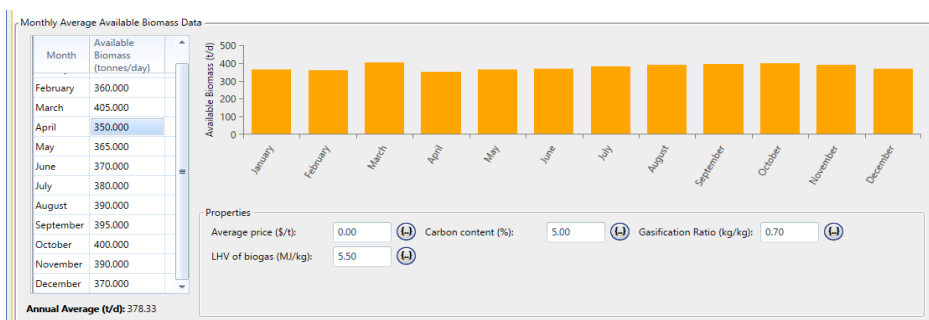
Copy To Library

More Information

مرحله دوم: نوع مصرف را انتخاب میکنم. در این شبیه سازی مصارف خانگی در نظر گرفته شده است.



مرحله سوم: اطلاعات مربوط به مقدار زباله ها در ماه های مختلف سال را وارد میکنیم.
بر اساس آمار بدست آمده میزان زباله شهر همدان استفاده شده است.



که پس از محاسبه نتایج زیر بدست می آید

COE: هزینه متوسط هر کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی مفید تولید شده توسط سیستم

NPC: ارزش فعلی تمام هزینه ها که سیستم متحمل شده بیش از طول عمر خود منهای

ارزش فعلی متممی در آمد که آن در طول عمر خود بدست آورده

Operating cost: هزینه بهره برداری سالانه

Initial capital: هزینه اولیه

REN FRAC: کسر انرژی داده شده به بار از سرچشمه منابع انرژی تجدید پذیر

Left Click on a sensitivity case to see its Optimization results.											
Architecture		Cost				System		Bio			
Bio (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Hours	Production (kWh)	Fuel (kg)	O&M Cost (\$)	Fuel Cost (\$)
500	CC	\$0.392	\$20,845	\$1,380	\$3,000	100	8,760	2,190,000	6,883	876	0

Left Double Click on a particular system to see its detailed Optimization Results.											
Architecture		Cost				System		Bio			
Bio (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Hours	Production (kWh)	Fuel (kg)	O&M Cost (\$)	Fuel Cost (\$)
500	CC	\$0.392	\$20,845	\$1,380	\$3,000	100	8,760	2,190,000	6,883	876	0

منابع

1. رضا عبدالله زاده، عباس شاه علی، سمیه واسعی، بررسی روش های استحصال انرژی از پسماند و شناسایی گزینه مناسب، تحقیق و پژوهش سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری مشهد
2. جواد نصیری، بررسی و مقایسه فناوری های تولید برق پسماندهای جامد شهری، سومین همایش ملی مدیریت پسماند
3. احمدیان، مجید (1385). نظریه بازار و کاربرد آن برای منابع انرژی پایان پذیر، انتشارات مطالعات بین المللی انرژی، چاپ اول، ص 44-47.
4. جباریان امیری، بهمن. ابراهیم رئیسی، محمد (1392). برآورد هزینه محیط زیستی و اجتماعی تولید برق در کشور، مجله محیط شناسی، شماره 34، ص 21-28.
5. سیدمطهری، سید مهدی (1384). ارزیابی طرح های تولیدی فنی، اقتصادی و مالی، انتشارات موسسه مطالعات و پژوهش های بازرگانی، ص 18.
6. فاضل هاشمی، داود متولی زاده نایینی، فرشید کریمی (1390). ارزیابی فنی و اقتصادی نیروگاه های حرارتی خورشیدی، چهاردهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، ص 4-6.
7. محمد الوکیل، مترجم سرابچی، کاظم (1375). نیروگاه های حرارتی، انتشارات مرکز نشر دانشگاه تهران، جلد اول، ص 19-24.
8. معاونت امور انرژی (1382). وزارت نیرو معاونت امور انرژی، نرم افزار انرژی و محیط زیست.

9. William, D., Robinson, P. E., "The Solid Waste Handbook", John Willy & Sons, 1984.
10. Calvin R. Brunner, "Handbook of Incineration Systems", McGraw-Hill, 1991.
11. Ganapathy, V., "Applied Heat Transfer", Pennwell Publishing Company, 1982.
12. Billinton, R., Gan, L.; "Wind Power Modeling and Application in Generating

13. Adequacy Assessment", 14th Power Systems Computation Conference, Sevilla, Spain, June 24-28, 2002.
14. Slootweg, J.G., Kling, W.L.; "Modeling of Large Wind Farms in Power System Simulations", IEEE Proc.-c, Power Engineering, PP.503-508, 2002.
15. J.R. Ubeda, M.A.R. Rodriguez Garcia; "Reliability and Production Assessment of Wind Energy Production Connected to the Electric Network Supply", IEE Proc. Gener.Transm.Distrib., Vol.146, No.2, March 1999.
16. Haghifam, M.-R.; Omidvar, M; "Wind Farm Modeling in Reliability Assessment of Power System", Probabilistic Methods Applied to Power Systems, 2006. PMAPS 2006. International Conference on June 2006
17. T. Ackerman; "Wind Power in Power Systems", John Wiley Press, Royal INDEXTREND Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2005.
18. Kayhanian, M., g. Tchobanoglous – Innovative two-stage process for recovery of energy and compost from the organic fraction of municipal solid waste-water Science and Technology, vol. 27, No. 2, pp: 133-143, 1993
19. Mata-Alvarez, J., F. Cecchi, P. Pavan, A. Basetti – Semi-dry thermophilic anaerobic digestion of fresh and pre-composted organic fraction of MSW-Water Science and Technology, Vol. 27 No. 2, pp: 87-96, 1993
20. Klass, D.L. –Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals-Academic Press, USA, 1998
21. Chynoweth, David P., Ron Isaacson -Anaerobic Digestion of Biomass-Elsevier Applied Science Publisher Ltd, GB, 1987
22. Wellinger A., K. Wyder, E. Metzger-KOMPOGAS, A new system for anaerobic treatment of source separated waste-Water Science and Technology, Vol. 27, No 2, pp: 153-158, 1993
23. Stringfellow Anne- Anaerobic Digestion –INTERNET\SunRISE Research Topics. Html INTERNET\ www.caddet-re.org
24. Salaff, Stephen-Anaerobic Digestion in Toronto, Canada-Renewable Energy World, April, 2000
25. BTA Biotechnische Abfallverwertung GmbH & CO KG, Roggmannstr. 18, D- 80333 München-Plants operating with BTA-Process
26. Bardiya, Nirmala, A.C. Gaur-Iron Supplementation enhances biogas generation – Bio Energy News, sep. 1999, pp: 16-19
27. IWM. Anaerobic Digestion Working Group-Anaerobic Digestion (a detailed report on the latest methods and technology for the Anaerobic Digestion of municipal solid waste)-IWM Business Services, 1998
28. De Baere, L. –Anaerobic Digestion of solid waste state-of-the art-Water Science and Technology, Vol. 41, No3, pp: 283-290, 2000.
29. Klepper, R., Copyright 1998, Gasification, Wiley-Interscience.

30. M.R. TaibJ. Swithenbank , Fellow, V. Nasserzadeh, Investigation of municipal Waste incineration in a Novel Rotating Fluidized Bed Incinerator, Process Safety and Environmental Protection Volume 77, Issue 5, September 1999, Pages 298-304.
31. Tee Liang, Karin Laursen, Ying Li, Formation of bed agglomeration in fluidized bed municipal waste incinerator, Process Safety and Environmental Protection, Volume 77, Issue 5, September 1999, Pages 298-304.
32. municipal waste Gasification By: Anil K.Rajvanshi, Director, Nimbkar Agricultural Research Institute.Phaltan-415523, Maharashtra, India.
- A. Saravanakumar, T.M. Haridasan, Thomas B. Reed, Experimental investigation and modeling study of long stick wood gasification in a top lit updraft gasifier, Fuel, Volume 86, Issues 17-18, December 2007, Pages 2846-2856.
- B. Mountouris, E. Voutsas and D. Tassio. Solid waste plasma gasification, Energy conversation and Management, Volume 47, Issues 13-14, August 2006, Pages 1723-1737.
33. K. Moustakas, D. Fatta, S. Malamis, K. Haralambous, M. Loizidou, Demonstration plasma gasification/vitrification system for effective hazardous waste treatment, Journal of Hazardous Materials, Volume 123, Issues 1-3, 31 August 2005, Pages 120-126.
34. V. Frolov, A. Pukhov, M. Tseitlin, A. Andreev, I. Frolova, A. Gur'ianov, Metallurgical application of hydrogen-containing gases produced by the plasma solid waste gasification process at an environmentally clean thermal power station, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 18, Issue 8, August 2007, Pages 665-672.
35. V. Galvita, V.E. Messerle, A.B. Ustimenko, Hydrogen production by solid waste plasma gasification for fuel cell technology, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 32, Issue 16, November 2007, Pages 3899-3906
36. Bergeron, KD and Chiang, CJ 1980. "SCRAM: A Fast Computational Model for the Optical Performance of Point Focus Solar Central Receiver Systems." Report SAND 80-0433.
37. K.K. Dutta Gupta and S.K. Saha, Energy analysis of solar thermal collectors, Renewable Energy and Environment (1990) , pp. 283–287.
38. CANMET, Photovoltaic Systems Design Manual, Available from Natural Resources Canada, CANMET, 580 Booth Street, Ottawa, ON, Canada, K1A 0E4,
39. 1991.
40. Watsun, WATSUN-PV - A Computer Program for Simulation of Solar Photovoltaic Systems, User's Manual and Program Documentation,

Version 6.1, Watsun Simulation Laboratory, University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada, N2L 3G1, 1999

41. www.environmentalchemistry.com/yogi/pe riodic
42. www.energyandenvironment.undp.org/undp/index.cfm
43. U.S. Environmental Protection Agency- September 2000 , Economic Analyses
44. Chapter 8 -Analyzing Social Costs
45. Environmental Protection Agency- August 2003 , Economic Impact Analysis of the Final Stationary Combustion Turbines NESHAP –
46. A.Chan, J.K. and B.Shaw, L., “modeling Repairable system with Failure Rates That Depend on Age And Maintenance”, IEEE Trans. On reliability, vol.42, No.4, Des. 1993.
47. Grosh, D.L., A Primer of Reliability Theory. John wiley & sons, 1989oman, M.L., Probabilistic Reliability. Mc Graw-Hill, New York, 1973.
48. Zhao, M., “Availability For Repairable Components And series systems”, IEEE Trans. on Reliability, vol 43., No.29, June 1994ingapore, pp. 100-105, 1999.
49. Govil, A.K., Reliability Engineering, Mc Graw-Hill,1983.
50. Mukerji, R., B. parker, J.H., “Power Plant Maintenance Scheduling: Optimizing Economics & Reliability”, IEEE Trans. On, power systems, vol6., No.2, May 1991.
51. Wood, C., Wild Weather, Maclean, s, Jan. 25, PP 17-19, 1999.
52. Billinton, R., “Evaluation of Reliability worth in An Electric Power system”., reliabiliry engineerin and sys. safety, No46, PP 15- 23, 1994.
53. Billinton, R., “Criteria Used By Canadian Utilities in the planning And Operation of Generating Capacity”, IEEE PES winter meeting,uni. of Saskatchewan, Sasatoon 1998.
- A. R., Billinton and B. Fotuhi-Firuzabad, M., “Adequacy and security considerations in generating capacity Reliability evaluation“, ICEE 1994.
54. Ansaldo energia S.P.A., “Steam Generator-Steam Turbine“, Operating man. vol.2, part2, book4, tavanir bisotoun T.P.P., 1996.
55. Ansaldo energia S.P.A., “Control sys.- Turbine Control sys. “, Operating man. vol.2, part5, book13, tavanir bisotoun T.P.P., 1996.
56. Ansaldo energia S.P.A., “Generator-& exciration sys.“, Operating man. vol.2, part8, book5-6, tavanir bisotoun T.P.P., 1996.
57. Ansaldo energia S.P.A., “A Thermal cycle sys. “, Operating man. vol.2, part4, book5-6, tavanir bisotoun T.P.P., 1996.
58. Kvam, P.H., “A parametric mixture-model for common-cause failure Data [of nuclear power plant] “, IEEE trans. on reliability, vol. 47, No.1, march 1998.

59. B.E.I., “power station practice[control& instrumentation]“, vol.F, London., 1991.

Abstract

During recent years due to an increase in the price of oil and drastic reduction of this source of energy in the next coming years , governments have decided to replace it with other sources of energy , urban waste has been considered as a potential source for this aim , since the main part of urban waste is combustible , we can use it as an efficient source for thermal energy in addition , regarding to preservation of environment and natural resources which is the obsession of both developed and developing countries , urban authorities are all tempting to find a new approach for waste management , energy generation is one of the sensible solutions en route this purpose.

Power generation from urban waste is progressing with significant growth during last decade in this thesis we are going to consider an Incineration plant in Hamedan.



Energy Institute For Higher Education

Faculty Of Engineering

Department Of Energy Systems Engineering-Energy Technology

Thesis For
Degree Of Master Of Science (M.Sc)

Title:

Techno-Economic and operation
Analysis of waste incineration plants
based on indicators of reliability (case
study in Hamedan)

Supervisor:

Reza Alayi

Yousef Yassi

Advisor:

Hamed Rohei

By:

Winter 95