آنالیز انتشارآلاینده های خروجی از کوره گردان زباله سوزهای بیمارستانی

امین ابراهیمی مقدم [1]، آرش خواجه[2]

دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد علی آبادکتول ، گروه مکانیک ، علی آباد کتول ، ایران

چکیده

استفاده از فرآیند زباله سوزی در امحاء زایدات خطرناک بیمارستانی و کنترل آلاینده‌های خروجی از آن به فرم گازها یا ذرات معلق، روشی متداول در اکثر کشورهای توسعه یافته محسوب می‌گردد. با این وجود بدلیل فقدان تجربیات عملی از راهبری واحدهای مدرن زباله سوزی در ایران و نیز تلقی نادرست از میزان و سمیت آلاینده‌های تولیدی، این سیستمها تاکنون مورد توجه متخصصین و مسئولین داخلی قرار نگرفته است.

در این مقاله پس از طراحی یک واحد کوره گردان زباله سوز بیمارستانی بهمراه محفظه ثانویه با ظرفیت اسمی 1.5 تن در ساعت و عملکرد 10 ساعت در روز، با استفاده از فاکتورهای انتشار تهیه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست امریکا، آلاینده‌های معیار در دو حالت 1)کنترل نشده و 2)پس از نصب تجهیزات کنترلی، برآورد و با استاندارد مقایسه گردیده است. نتایج حاصله حاکی از پایین بودن میزان آلاینده‌های CO، SO_2 و NOx از حدود استاندارد بوده و بنابراین در این خصوص نیازی به استفاده از تجهیزات کنترلی وجود نخواهد داشت. این امر می‌تواند بدلیل ایجاد درجه حرارت بالا در کوره گردان و کافی بودن زمان ماند و اغتشاش گازها در محفظه ثانویه باشد. علاوه بر آن پایین بودن انتشارات دی اکسید گوگرد نیز بعلت طبیعت ترکیب پسماند بیمارستانی است که عموما" مقادیر اندکی از گوگرد را بهمراه دارد. درخصوص دیگر آلاینده‌ها یعنی ذرات معلق، دای اکسینها و فیورنها، گاز کلرید هیدروژن و فلزات سنگین انتظار می‌رود با نصب تجهیزات کنترلی شامل ترکیبی از اسکرابر نوع Spray Dryer، تزریق کربن فعال و در نهایت فیلتر پارچه‌ای، غلظت آنها به کمتر از حدود استاندارد برسد.

واژه‌های کلیدی: کوره گردان ، زباله سوز ، پسماند ، آلاینده ، فاکتور انتشار.

1- مربی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علی آباد کتول .

2- مربی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علی آباد کتول .

1- مقدمه

امحاء بهداشتی و ایمن پسماندهای خطرناک بیمارستانی، بعنوان یکی از معضلات حیطه مدیریت شهری در کشور مطرح می‌باشد. موضوع مدیریت پسماندها و فراتر از آن مدیریت پسماند خطرناک بیمارستانی از دیرگاه در جهان و کشورمان مورد توجه و محل بحث متخصصین زیست محیطی بوده و همواره از آن بعنوان یکی از چالشهای موجود یاد شده است. با تصویب قانون «*مدیریت پسماندها*» در سال 1383 و متعاقب آن دستورالعمل «*ضوابط و روشهای مدیریت اجرایی پسماندهای پزشکی و پسماندهای وابسته*» مصوب 1386، گامی مهم و نقش آفرین در این زمینه در کشورمان برداشته شده ولی با این وجود هنوز هم نقاط ابهام چندی در خصوص مدیریت اصولی این قبیل پسماندها باقی مانده است[1و2].

طبق تعریف قانون مدیریت پسماندها، به کلیه پسماندهای عفونی و زیان آور ناشی از بیمارستانها، مراکز بهداشتی، درمانی، آزمایشگاههای تشخیص طبی و سایر مراکز مشابه، پسماند پزشکی(بیمارستانی) اطلاق می‌شود. همچنین این قانون آن دسته از پسماندهای بیمارستانی را که به دلیل بالا بودن حداقل یکی از خواص خطرناک از قبیل سمیت، بیماری زایی، قابلیت انفجار یا اشتعال، خورندگی و مشابه آن به مراقبت ویژه نیاز داشته باشند را جزء پسماندهای ویژه محسوب می‌کند[1].

تعریف فوق در دستورالعمل اجرایی مصوب 1386 با جزئیات بیشتری مورد بحث قرار گرفته و مطابق با آن زایدات بیمارستانی خطرناک در 9 دستهٔ: (1)عفونی، (2)پاتولوژیک، (3)تیز و برنده، (4)دارویی، (5)سیتوتاکسیک، (6)شیمیایی، (7)پسماندهای حاوی فلزات سنگین، (8)ظروف تحت فشار و (9)زایدات رادیواکتیو طبقه بندی می‌شوند[2]. لازم بذکر است جداسازی پسماندهای تولیدی در مراکز درمانی براساس دسته بندی فوق، عملا کاری غیرممکن بوده و براین اساس متولیان این مراکز صرفا ملزم به جداسازی پسماندهای شبه شهری از انواع خطرناک شده اند.یکی از روشهای دفع زایدات خطرناک درمانی سوزاندن آنها در زباله سوزهای بیمارستانی و کنترل و دفع گازها و خاکستر تولیدی در این پروسه می‌باشد. زباله سوزی باعث ایجاد کاهش در حجم و وزن زایدات شده و در نتیجه هزینه های بعدی دفع(انتقال و دفن) را کاهش می‌دهد. همچنین بعلت قرارگیری عوامل بیماریزا و مواد سمی در معرض درجه حرارتهای بالا، این روش قادر به بی خطر سازی زایدات عفونی و خطرناک درمانی بوده و درصورت بهره برداری مناسب از آن و نصب تجهیزات کنترلی، غلظت آلاینده های منتشره در اتمسفر به کمتر از حدود استاندارد خواهد رسید[3 و 4].اکثر زباله سوزهای بیمارستانی را می‌توان در سه دستهٔ: (1)چندمحفظه ای، (2)هوای کنترل شده یا نقصانی و (3)کورهٔ گردان، تقسیم‌بندی نمود. زباله سوزهای چندمحفظه ای با دو یا چند محفظهٔ احتراق به‌گونه ای طراحی می‌شوند که در سطوح بالایی از هوای اضافی(مازاد بر مقدار هوای مورد نیاز جهت تکمیل واکنشهای شیمیایی= هوای استوکیومتری) بهره برداری گردند. انواع هوای کنترل شده و کوره گردان دارای دو محفظه احتراق بوده و محفظه اولیه آنها در شرایط زیر استوکیومتری و هوای اضافی به ترتیب، مورد بهره برداری قرار می‌گیرد. در محفظه ثانویه این دو نوع زباله سوز نیز با ورود هوای اضافی و تعبیهٔ مشعلها، درجه حرارت بالایی جهت انجام احتراق کامل تامین می‌شود[3-6].از دیدگاه استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده امریکا(US EPA) شش گروه از آلایندهای خروجی زباله سوزهای بیمارستانی بعنوان آلاینده های معیار انتخاب گردیده و محدودیتهایی بر انتشار آنها در اتمسفر قرارداده شده است. این شش گروه عبارتند از: ذرات معلق(PM)، فلزات سمی(شامل سرب، کادمیوم و جیوه)، مواد ارگانیک سمی(خصوصا دای اکسینها و فیورنها)، منوکسیدکربن، گازهای اسیدی(HCl و SO_2) و اکسیدهای نیتروژن(NO_x)[3 و 4]. فاکتور انتشار پارامتری است که با کمیت(وزن) آلاینده های منتشره توسط یک واحد فعالیت متناسب می‌باشد [3 و 5]. یکی از کاربردهای اصلی فاکتورهای انتشار، تعیین نرخ انتشار جرمی آلاینده ها در مدلسازی اثرات یک واحد زباله سوز بر مناطق واقع در پایین دست در جهت جریان باد، می‌باشد. کاربرد دیگر این فاکتورها در تعیین غلظتهای قابل انتظار آلاینده های خروجی از یک واحد خاص است که بدین ترتیب محاسبهٔ میزان راندمان تجهیزات کنترلی لازم جهت رسیدن به محدودیتهای استاندارد تسهیل خواهد گردید. این فاکتورها برحسب وزن آلایندهٔ مورد نظر به‌ازای هر تن زبالهٔ پردازش شده توسط واحد زباله سوزی اندازه گیری و محاسبه می‌شوند.سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده امریکا در سال 1995 فاکتورهای انتشار آلاینده های خروجی از دودکش زباله سوزهای بیمارستانی فعال در ایالات متحده را در مجموعه ای تحت عنوان Ap-42 تهیه و منتشر نمود. این مجموعه که

هر چند سال اصلاح و به روز رسانی می‌شود، از جمله منابع قابل اعتماد جهت استفاده در مباحث مدیریتی بوده و در این مقاله به تناسب موضوع از آنها استفاده شده است. [5]

در این مقاله پس از طراحی یک واحد زباله سوزی از نوع کوره گردان با محفظه ثانویه به ظرفیت کل معادل 15 تن در روز یا 1500 کیلوگرم در ساعت، براساس حجم گازهای خروجی از آن و فاکتورهای انتشار فوق الذکر، میزان نشر محاسبه گردیده و در نهایت بهترین تکنولوژی موجود جهت کنترل آلاینده های مختلف پیشنهاد شده است.

2- روش انجام تحقیق

همانطور که گفته شد، بمنظور بررسی قابلیت فرآیند زباله سوزی در امحاء زایدات بیمارستانی و تعیین بهترین تکنولوژی موجود جهت تصفیه گازهای خروجی، در این تحقیق ابتدا یک واحد کوره گردان زباله سوزی پسماند بیمارستانی با ظرفیت 15 تن در روز طراحی شده و پس از آن میزان انتشارات متناسب با فاکتورهای انتشار محاسبه خواهد شد.

3- روند طراحی واحد زباله سوز بیمارستانی از نوع کوره گردان با ظرفیت 15 تن در روز

طرح مورد نظر متشکل از یک محفظهٔ احتراق اولیه از نوع کورهٔ گردان و یک محفظهٔ ثانویه بوده و در کورهٔ گردان سوخت کمکی استفاده نشده است. عملیات پیش گرمایش پسماندها و هوای ورودی انجام نمی‌شود. گازها و ذرات معلق داغ حاصل از کورهٔ گردان، بطور مستقیم وارد محفظهٔ ثانویه شده و به‌همراه گاز طبیعی سوزانده می‌شود. عملکرد زباله سوز بصورت 10 ساعت در شبانه روز در نظر گرفته می‌شود. به طور کلی مفروضات و معیارهای طراحی یک واحد زباله سوز بیمارستانی از نوع کوره گردان مطابق با موارد ذیل می‌باشد.

- درجه حرارت مبنا در محاسبات $15.5^{o}C$ $(60^{o}F)$ در نظر گرفته می‌شود.
- دمای داخل هر محفظه، معادل دمای خروجی از آن فرض می‌گردد.
- میزان افت حرارتی (اتلاف انرژی) در هر دو محفظهٔ اولیه و ثانویه حدود 5 درصد انرژی ورودی به آن فرض می‌شود.
- میزان هوای احتراق اضافی در کورهٔ گردان 160 درصد در نظر گرفته شده و در محفظهٔ ثانویه هوای اضافی وارد نمی‌شود.
- سرعت ورود زایدات بداخل زباله سوز نقش مهمی در تعیین میزان موفقیت بهره برداری دارد چراکه تعیین کنندهٔ نرخ آزاد شدن گرمای پسماندهای درمانی و اندازهٔ محفظهٔ اولیه می‌باشد. از آنجا که زباله های بیمارستانی شامل هم پسماندهایی با چگالی پایین و ارزش حرارتی بالا(نظیر پلاستیکها) و هم زایدات با چگالی زیاد ولی ارزش حرارتی کم(همچون بافتهای بدن و استخوان) می‌باشند، لذا اندازهٔ محفظهٔ اولیه باید به‌گونه ای طراحی شود که جوابگوی تغییرات ممکن در جریان زباله باشد. در طراحی محفظهٔ اولیه نرخ آزاد شدن گرما در محدوده (500~1,500 $MJ/h.m^3$) درنظر گرفته می‌شود.
- حداقل دمای طراحی در محفظهٔ ثانویه $1,100^{o}C(2,010^{o}F)$ بوده و دمای بهره برداری باید همواره بالاتر از $1,000^{o}C(1,830^{o}F)$ باشد.
- طراحی زباله سوز باید به‌گونه ای باشد که حداقل میزان اکسیژن باقی مانده در گازهای خروجی از این محفظه، 6 درصد باشد.
- زمان ماند گازها درمحفظهٔ ثانویه در دمای $1,000^{o}C(1,830^{o}F)$ نباید کمتر از 1 ثانیه باشد. این مقدار زمان ماند بر اساس حجم محفظهٔ ثانویه از جبههٔ شعله تا موقعیت ابزار حسگر دما(عموما معادل نیمی از حجم این محفظه می‌باشد) محاسبه می‌گردد.
- میزان اغتشاش گازها، پارامتر مهمی در طراحی زباله سوزها بوده و می‌توان با تزریق مماسی هوا، ایجاد تغییرات ناگهانی در جهت جریان و نصب وسایل محدود کننده نظیر اوریفیس و بافرها، میزان تلاطم را افزایش داد. استفاده از

عدد رینولدز در تعیین میزان اغتشاش فاز گازی در زباله سوز پیشنهاد شده است. عدد رینولدز محاسبه شده در محفظهٔ ثانویه باید بالای 10,000 باشد تا از تشکیل جریان متلاطم اطمینان حاصل نمود.

4- مراحل انجام طراحی

بطور کلی روند طراحی یک واحد زباله سوزی شامل مراحل: (1)انجام موازنه جرم برای محفظه اولیه و (2)محفظه ثانویه، (3)کنترل موازنه جرم در هر دو محفظه، (4)انجام موازنه انرژی در محفظه اولیه و (5)محفظه ثانویه و (6)کنترل موازنه انرژی در کل سیستم، می‌باشد. پس از انجام مراحل فوق لازم است معیارهای طراحی کنترل گردیده و درصورت لزوم طرح تهیه شده اصلاح شود.

4-1- روند انجام موازنهٔ جرم برای محفظهٔ اولیه(کورهٔ گردان)

در این مرحله ابتدا مقادیر جرمی مرطوب عناصر ورودی با استفاده از نتایج در آنالیز تقریبی نمونه پسماند بیمارستانی محاسبه گردیده و پس از آن با استفاده از جدول 1 می‌توان میزان هوای استوکیومتریک را تعیین نمود. همچنین محصولات واقعی حاصل از احتراق در محفظهٔ اولیه، با استفاده از جدول 2 بدست می‌آید.

4-2- روند انجام موازنهٔ جرم برای محفظهٔ اولیه(کورهٔ گردان)

موازنهٔ جرم برای محفظهٔ ثانویه ابتدا بصورت منفرد(یعنی بدون در نظر گرفتن گازهای ورودی به آن از محفظهٔ اولیه) و سپس بصورت کلی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در اینجا لازم است براساس تجربه فرض اولیه ای برای میزان سوخت کمکی لازم در محفظه ثانویه انجام شده و همانند قبل ابتدا مقادیر جرمی مرطوب عناصر ورودی را با استفاده از اطلاعات آنالیز تقریبی گاز طبیعی محاسبه نموده و سپس هوای احتراق استوکیومتریک(مطابق جدول 1) و محصولات واقعی حاصل از احتراق(مطابق جدول 2) بدست آورده می‌شود.

4-3- روند انجام موازنهٔ انرژی(حرارت) برای کورهٔ گردان

اساس موازنه انرژی در یک سیستم احتراق بر این مبنا استوار است که تحت شرایط بهره برداری پایدار، اختلاف مجموع محتوای انرژی جریانهای ورودی و خروجی معادل میزان انتقال حرارت می‌باشد(معادله 1).

$$Q = -(HHV)_{total} + (H_{Sensible})_{outlet} - (H_{Sensible})_{inlet} + \text{Heat of Solution} \qquad (1)$$

که در آن Q بیانگر میزان اتلاف حرارت از کوره گردان[$-0.05\times(HHV)_{total}$]، $(HHV)_{total}$ مجموع ارزشهای حرارتی کلیه جریانات ورودی، $(H_{sensible})_{outlet}$ مجموع گرمای قابل احساس جریان گازهای خروجی، خاکستر و گرمای نهان تبخیرآب، $(H_{sensible})_{inlet}$ مجموع گرمای قابل احساس جریانات ورودی و Heat of Solution میزان گرمای ناشی از انحلال HCl در بخار آب می‌باشد.

جدول 1: محاسبهٔ هوای احتراق تئوریک در محفظهٔ اولیه

معادلهٔ پایه	مقدار اکسیژن، نیتروژن و هوای مورد نیاز
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	(1) $O_2 = (32/12)(C)$
$H_2 + 0.5O_2 \rightarrow H_2O$	(2) $O_2 = 8[(H)-(Cl)/35.5]$
$S + O_2 \rightarrow SO_2$	(3) $O_2 = (32/32)(S) = (S)$
B_O (Bound Oxygen)	(4) data from waste analysis
O_{2t} (Theorrtical Oxygen)	$O_{2t} = (1) + (2) + (3) - (4)$
N_{2t} (Theorrtical Nitrogen)	$N_{2t} = (3.76\times 28/32)\times O_{2t}$

معادلهٔ پایه	مقدار اکسیژن، نیتروژن و هوای مورد نیاز
A_t (Theoretical Air)	$A_t = O_{2t} + N_{2t}$
EA(%) (Percent of Excess Air)	طبق شرایط مسأله
A_{ada} (Actual Dry Air)	$A_{ada} = (1+EA(\%)/100)A_t$
H_2O from Air †	$0.0127(A_{ada})$
A_a (Actual Air)	$A_a = A_{ada} + H_2O$ from Air
W (Waste Loading Rate)	طبق شرایط مسأله
R_a (Actual Reactants)	$R_a = A_a + W$

❖ در حالت عمومی در دمای اتاق نسبت رطوبت هوا $(lb - H_2O)/(lb - dry - air)$ 0.0127 یا $(kg - H_2O)/(kg - dry - air)$ 0.0127 می‌باشد.

جدول 2: محاسبهٔ محصولات حاصل از احتراق در محفظهٔ اولیه

ترکیب	محصولات احتراق
CO_2	$CO_2 = (44/12)(C)$
SO_2	$SO_2 = (64/32)(S)$
HCl	$HCl = (36.5/35.5)(Cl)$
O_{2e}	$O_{2e} = (EA(\%)/100)\times O_{2t}$
N_{2e}	$N_{2e} = (EA(\%)/100)\times N_{2t}$
$N_2(t)$	$N_2(t) = N_{2e} + N_{2t} + BN$
H_2O (from combustion)	$9[(H)-(Cl)/35.5]$
$H_2O(t)$	$H_2O(t) = H_2O$(from combustion) + H_2O(from Air) + Waste Moisture
G_a (Actual Gas)	$G_a = CO_2 + SO_2 + HCl + O_{2e} + N_2(t) + H_2O(t)$
Ash	Ash =خاکستر ته کوره + خاکستر فرار
P_a (Actual Products)	$P_a = G_a + Ash$

$$(HHV)_{total} = \sum_i [\dot{m} \times (HHV)]_i \qquad i = \text{each inlet stream} \tag{2}$$

$$(H_{sensible})_{outlet} = \sum_i [\dot{m} \times C_p \times (T - T_0)]_i + [\dot{m} \times C_p \times (T - T_0)]_{Ash} + \dot{m}_{H_2O_{(t)}} \times (\Delta H_V)_{Water} \tag{3}$$

where i = each flue gas species

در معادلات فوق $\dot{m}_t$ نرخ جریان جرمی ماده i، C_{Pi} گرمای ویژه ماده i در فشار ثابت، T_0 درجه حرارت مبنا، T درجه حرارت خروجی گازها و خاکستر و $(\Delta H_V)_{Water}$ گرمای نهان تبخیر آب در درجه حرارت T_0 می‌باشد. مقدار C_{Pi} در معادله فوق را می‌توان با استفاده از فرمولهای تجربی ترمودینامیک بدست آورد[7].

$$C_P(CO_2) = (0.45)+(1.67)\times\Theta-(1.27)\times\Theta^2+(0.39)\times\Theta^3 \quad (kJ/kg\ K) \tag{4}$$

$$C_P(SO_2) = (0.37)+(1.05)\times\Theta-(0.77)\times\Theta^2+(0.21)\times\Theta^3 \tag{5}$$

$$C_P(O_2) = (0.88)-(0.0001)\times\Theta+(0.54)\times\Theta^2-(0.33)\times\Theta^3 \tag{6}$$

$$C_P(N_2) = (1.11)-(0.48)\times\Theta+(0.96)\times\Theta^2-(0.42)\times\Theta^3 \tag{7}$$

$$C_P(H_2O) = (1.79)+(0.107)\times\Theta+(0.586)\times\Theta^2-(0.20)\times\Theta^3 \tag{8}$$

$T_{ave}=(T+T_0)/2$ $\qquad \Theta=T_{ave}\ (K)/1000$

حرارت مخصوص در فشار ثابت برای خاکستر نیز با استفاده از فرمول تجربی زیر بدست می‌آید[6]

$$C_{pAsh}(Btu/lbm°F) = 0.18 + 0.00003(T - T_0) \tag{9}$$

که در آن T و T_0 برحسب درجه فارنهایت می‌باشند. مقدار گرمای ناشی از انحلال HCl در بخار آب بکمک معادله 10 بدست می‌آید که در آن n_{H_2O} و n_{HCl} نسبت مولی آب و هیدروکلرید تولیدی طی واکنش است.

4-4- روند انجام موازنهٔ انرژی برای محفظهٔ ثانویه

موازنه انرژی همانند موازنه انرژی برای کوره گردان انجام می‌شود با این تفاوت که بخشی از حرارت از کوره اول تامین می‌شود (معادله10). در این معادله مقدار T_0 را از صورت مساله جایگذاری نموده و مقداری برای T فرض می‌شود و پس از آن به کمک روابط 1 تا 10، می‌توان T را حساب نموده و سپس موازنه انرژی محفظه دوم را انجام داد.

$$Q = -H_{PCC\rightarrow SCC} - (HHV)_{total} + (H_{Sensible})_{outlet} - (H_{Sensible})_{inlet} + \text{Heat of Solution} \quad (10)$$

4-5-محاسبهٔ حجم محفظهٔ ثانویه

در این مرحله ابتدا دبی حجمی گازهای خروجی از این محفظه براساس قانون گازهای ایده آل محاسبه می‌شود.سپس می‌توان حجم این محفظه را براساس زمان ماند 2 ثانیه ای گازها در دمای 1000^oC داخل آن بدست آورد(معادله 11).

$$\text{Volume} = \text{Residance Time} \times \text{Volumetric Flow} \quad (at\ 1000^oC, 1atm) \quad (11)$$

4-6-محاسبهٔ عدد رینولدز و بررسی نوع جریان در محفظهٔ ثانویه

$$Re = \frac{\nu D}{K} \quad (12)$$

که در آن $V(m/s)$ متوسط سرعت، $D(m)$ قطر معادل و $K(m^2/s)$ ویسکوزیته سینماتیکی می‌باشد. قطر معادل با استفاده از معادله 13 قابل محاسبه است. که در آن a و b، طول و عرض محفظهٔ ثانویه می‌باشد. از طرفی V، سرعت در محفظهٔ ثانویه از رابطهٔ زیر بدست می‌آید:

$$D = 2ab/(a+b) \quad (13)$$

$$\nu = Q/A \quad (14)$$

که در آن Q دبی حجمی و A سطح مقطع محفظه می‌باشد.

4-7-محاسبهٔ حجم کوره گردان و تعیین ابعاد آن

همانطور که در معیارهای طراحی گفته شد، نرخ آزاد شدن گرما در محفظهٔ اولیه باید در محدودهٔ 500,000 ~1,500,000 $kJ/(h.m^3)$ باشد. براین اساس می‌توان با در دست داشتن میزان اتلاف حرارت از محفظه ثانویه، حجم این محفظه را حساب نمود. معمولا شیب محور کوره گردان با افق در حدود 3 تا 5 درصد در نظر گرفته می‌شود و سرعت چرخش کوره در کاربردهای عملی کمتر از 5 دور در دقیقه می‌باشد.

$$t = \frac{2.28 \times L/D}{S.N} \quad (15)$$

که در آن t زمان ماند(min)، L/D نسبت طول به قطر داخلی، S شیب کوره گردان(in/ft) و N سرعت چرخش کوره(r/min) می‌باشد.

4-8-نحوه محاسبهٔ زمان ماند گازها در دمای 1000^oC در محفظهٔ ثانویه

در این مرحله ابتدا دبی حجمی در دمای $1000^\circ C$ محاسبه می‌گردد و پس از آن مطابق با معادله 16 زمان ماند گازها براساس معادله 16 تعیین خواهد شد.

$$\text{retention time} = \frac{1}{2}V/Q \quad (16)$$

علت استفاده از نصف حجم محفظه در فرمول فوق این است که طبق معیارهای گفته شده، زمان ماند حداقل 1 ثانیه ای در $1000^{\circ}C$، برای بخشی از حجم محفظهٔ ثانویه از جبههٔ شعله تا محل قرار گیری ابزارهای حسگر دما، می‌باشد. این بخش معادل نیمی از حجم محفظه منظور می‌شود.

9-4-نحوه محاسبهٔ درصد اکسیژن باقی مانده در گازهای خروجی از محفظهٔ ثانویه

$$\frac{EA\%}{100} = \frac{O_2\%}{21\% - O_2\%} \qquad (17)$$

10-4-نحوه برآورد میزان انتشار آلاینده ها از سیستم زباله سوزی طرح شده

در جدول 3 فاکتورهای انتشار ارائه شده برای زباله سوزهای کوره گردان در شرایط کنترل نشده(عدم استفاده از تجهیزات کنترلی) و کنترل شده آورده شده است[5].

جدول 3: فاکتورهای انتشار برای زباله سوزهای بیمارستانی از نوع کوره گردان (g/kg)

		PM	CO	CDD/CDF (total)	HCl	SO_2	NO_x	Pb	Cd	Hg
Uncontrolled E.F.		1.73 E01	1.91E-01	29.75E-07	2.21E01	5.43E-01	2.31	6.19E-02	7.53E-03	4.34E-02
Controlled E.F.	S.D. + F.F.	1.54E-01	1.94E-02	4.25E-09	1.34E-01	3.24E-01	2.63	9.47E-05	2.68E-05	3.33E-02
	S.D. + C.I. + F.F.	3.78E-02	2.5E-02	4.79E-8	1.79E-01	1.50E-01	2.45	3.69E-05	1.21E-05	3.93E-03
	H.E.S.	4.27E-01	3.00E-02	-	1.47E01	-	2.04	-	-	-

S.D. = Spray Dryer F.F. = Fabric Filter
C.I. = Carbon Injection H.E.S. = High Energy Scrubber

5- طراحی زباله سوز بیمارستانی از نوع کوره گردان

مشخصات زباله بیمارستانی ورودی به کوره گردان و گاز طبیعی مورد استفاده در محفظه ثانویه در جدول 4 آورده شده است.

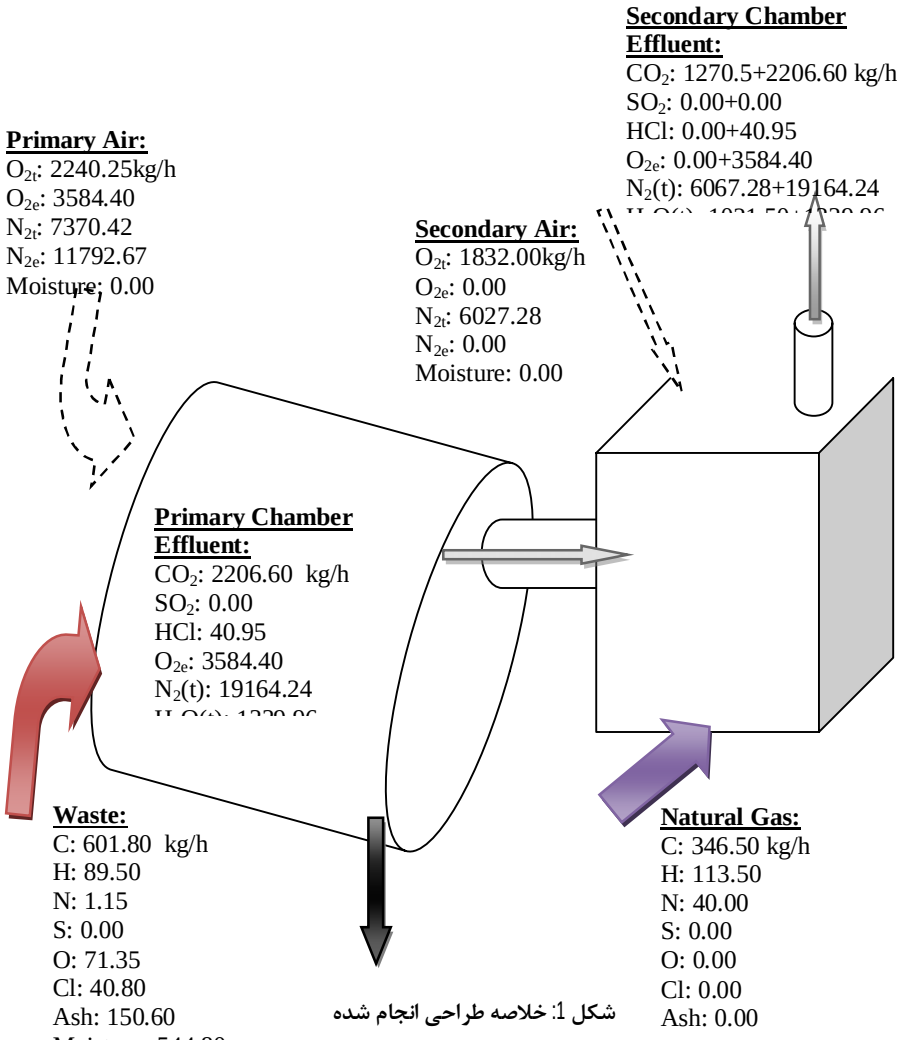
جدول 4:مشخصات زباله بیمارستانی ورودی به کوره گردان [8] و مشخصات گاز طبیعی ورودی به محفظه ثانویه [6]

	Proximate Analysis (as received)					Elemental Analysis (dry)						
	Fixed Carbon	Volatiles	Ash	Moisture content	HHV	C	H	N	S	O	Ash	Cl
	%	%	%	%	Btu/lb	%	%	%	%	%	%	%
Medical Waste	0	53.56	10.03	36.32	8,724	63	9.37	0.12	0	7.47	15.76	4.27
Natural gas	0	100	0	0	22,027	69.3	22.7	8	0	0	0	0

با استفاده از اطلاعات جدول 4و انجام محاسبات لازم می‌توان موازنه جرم در کل سیستم را انجام داد. بر این اساس جرم ورودی(34,847.02) قابل مقایسه با جرم کل خروجی(34,846.03 کیلوگرم بر ساعت) بوده و اختلاف ناچیز بعلت خطای

گرد کردن می‌باشد. در جدول 5 نتایج موازنه جرم کل سیستم و در جدول 6 نحوه محاسبه اکسیژن اضافی کل آورده شده است.

با استفاده از نتایج حاصله در جداول 5 و 6 و معدلات 1 تا 12 حجم محفظه ثانویه در حدود V_{SCC}= 71.07 acm و عدد رینولدز براساس سرعت بدست آمده V= 3.55 m/s در حدود 67,619.05 خواهد شد. از طرفی برای کوره گردان حجم در حدود V_{PCC}= 24.45m^3 و سرعت گازهای خروجی V=10.49 m/s بدست می‌آید. زمان ماند گازها برای محفظه ثانویه معادل 1.15 ثانیه و درصد اکسیژن باقیمانده در گازهای خروجی از محفظه ثانویه در حدود 9.83% قابل محاسبه می‌باشد. نتایج طراحی واحد زباله سوز در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1: خلاصه طراحی انجام شده

6- برآورد میزان آلاینده‌ها در گازهای خروجی

جدول 5: ترکیب نتایج موازنه جرم محفظه های اولیه و ثانویه

محصولات حاصل از احتراق	PCC kg/h	SCC kg/h	PCC+SCC kg/h	Molar Weight kg/kg-mole	PCC+SCC kg-mol/h
CO_2	2206.60	1270.50	3477.10	44	79.03
SO_2	0.00	0.00	0.00	64	0.00
HCl	40.95	0.00	40.95	36.5	1.12

O_{2e}	3584.40	0.00	3584.40	32	112.01
$N_2(t)$	19164.24	6067.28	25231.52	28	901.13
$H_2O(t)$	1339.96	1021.50	2361.46	18	131.19
Fly Ash	3.01	0.00	3.01	-	-
			34698.44		1224.48

جدول 6 : محاسبهٔ اکسیژن اضافی کل

محصولات احتراق	PCC	SCC	PCC+SCC
O_{2t}	2240.25	1832.00	4072.25
O_{2e}	3584.40	0.00	3584.40
$O_{2a}=O_{2t}+O_{2e}$	5824.65	1832.00	7656.65
Excess % O_2 =(3584.40/4072.25)×100%=88%			

6-1- ذرات معلق

با توجه به دبی گازهای خروجی(56.72 acm/s @ 2032.15 K & 1 atm) می‌توان نوشت:

$$\text{Volumetric fflo } \left(@\ 293.15\ \text{K}, 1\,\text{atm}\right) = 8.18 \quad \text{acm/s}$$

حال می‌توان غلظت ذرات معلق خروجی را بصورت زیر بدست آورد:

$$C_{PM} = 881.21 \quad \text{mg/m}^3$$

جهت مقایسه با استاندارد لازم است غلظت بدست آمده در شرایط 7 درصد اکسیژن باقیمانده بیان شود:

$$C_{std@7\%O_2} = C \times \frac{20.9 - 7}{\left(1 - B_{ws}\right) \times \left(20.9 - O_2\%\right)} = 1239.07 \quad \text{mg/dscm}$$

که در آن:

$$B_{ws} = \frac{\text{Volumetric fflo of Vapor}}{\text{total Volumetric fflo}} = 0.107$$

با توجه به استاندارد زباله سوزهای موجود و بزرگ(براساس ظرفیت زباله سوز طراحی شده)، غلظت حاصله بسیار بالاتر از حد استاندارد(34 mg/dscm) می‌باشد. لذا نیاز به تجهیزات کنترلی نظیر اسکرابرها و فیلترها جهت کنترل ذرات معلق وجود خواهد داشت. در اینجا می‌توان براساس فاکتورهای انتشار کنترل شده(پس از نصب تجهیزات کنترلی) نوع تجهیزات مناسب و توالی آنها را مشخص نمود.

H..E.S.	S.D. + C.I. + F.F.	S.D. + F.F	نوع کنترل بکار رفته
30.58	2.71	11.03	غلظت خروجی(تخمین) (mg/dscm)

همانطور که مشاهده می‌شود می‌توان با نصب تجهیزات کنترلی جوابگوی الزامات موجود در استاندارد بود .

6-2-منوکسید کربن

غلظت منوکسید کربن در حالت کنترل نشده همانند قبل معادل 11.75 ppmv بدست می‌آید. که کمتر از حد استاندارد(40 ppmv) بوده و این نشانگر انجام احتراق کامل در سیستم طراحی شده است. بر این اساس نیازی به اندیشیدن تمهیداتی جهت کنترل منوکسید کربن وجود نخواهد داشت.

6-3-دای اکسینها و فیورنها

غلظت دای اکسینها و فیورنها در خروجی دودکش بصورت کنترل نشده برابر با 213 ng/dscm بوده و در مقایسه با استاندارد(25ng/dscm) مشاهده می‌شود که در خصوص دای اکسینها و فیورنها نیاز به تجهیزات کنترلی وجود دارد. همانند قبل با استفاده از فاکتورهای انتشار پس از نصب تجهیزات کنترلی می‌توان نوشت:

نوع کنترل بکار رفته	S.D. + F.F.	S.D. + C.I. + F.F.
غلظت خروجی(تخمین)(ng/dscm)	30.42	3.43

بنابراین می‌توان انتظار داشت که در صورت استفاده از سیستم ترکیبی pray Dryer + Carbon Injection + Fabric Filter می‌توان محدودیت استاندارد را جوابگو بود.

6-4-کلرید هیدروژن

غلظت کلرید هیدروژن در حالت کنترل نشده(1043.18 ppmv) بیشتر از حد استاندارد(15 ppmv) می‌باشد.

نوع کنترل بکار رفته	S.D. + F.F.	S.D. + C.I. + F.F.	H..E.S.
غلظت خروجی(تخمین) (ppmv)	6.32	8.45	693.88

بنابراین می‌توان انتظار داشت که در صورت استفاده از سیستمهای ترکیبی Spray Dryer + Fabric Filter و Spray Dryer + Carbon Injection + Fabric Filter محدودیت استاندارد رعایت خواهد شد.

6-5-دی اکسید گوگرد

غلظت دی اکسید گوگرد در حالت کنترل نشده(14.62 ppmv) کمتر از حد استاندارد(55 ppmv) می‌باشد. این امر بعلت طبیعت پسماندهای بیمارستانی است که درصد گوگرد موجود در آنها پایین می‌باشد و لذا نیازی به نصب تجهیزات کنترلی جهت کنترل دی اکسید گوگرد وجود نخواهد داشت.

6-6-اکسیدهای نیتروژن

غلظت اکسیدهای نیتروژن در حالت کنترل نشده برابر با 86.52 ppmv بوده و کمتر از حد استاندارد(250 ppmv) می‌باشد.

6-7-سرب

غلظت سرب خروجی در حالت کنترل نشده در حدود 64 برابر حد استاندارد(0.07 mg/dscm) بوده و نیاز به نصب تجهیزات کنترلی وجود خواهد داشت.

نوع کنترل بکار رفته	S.D. + F.F.	S.D. + C.I. + F.F.
غلظت خروجی(تخمین) (mg/dscm)	0.006	0.001

بنابراین می‌توان انتظار داشت که در صورت استفاده از سیستمهای ترکیبی Spray Dryer + Fabric Filter و Spray Dryer + Carbon Injection + Fabric Filter می‌توان محدودیت استاندارد را جوابگو بود.

8-6-کادمیوم

غلظت کادمیوم خروجی در حالت کنترل نشده(0.54 mg/m3) بیش از حد استاندارد(0.04 mg/dscm) بوده و نیاز به نصب تجهیزات کنترلی وجود خواهد داشت.

نوع کنترل بکار رفته	S.D. + F.F.	S.D. + C.I. + F.F.
غلظت خروجی(تخمین) (mg/dscm)	0.002	0.001

بنابراین می‌توان انتظار داشت که در صورت استفاده از سیستمهای ترکیبی Spray Dryer + Fabric Filter و Spray Dryer + Carbon Injection + Fabric Filter می‌توان محدودیت استاندارد را جوابگو بود.

9-6-جیوه

در حالت کنترل نشده غلظت جیوه خروجی معادل 3.11 mg/m3 بوده و این میزان بیش از حد استاندارد(0.55 mg/dscm) می‌باشد لذا نیاز به نصب تجهیزات کنترلی وجود خواهد داشت. که در صورت استفاده از سیستم ترکیبی Spray Dryer + Carbon Injection + Fabric Filter می‌توان محدودیت استاندارد را جوابگو بود.

10- نتیجه گیری

با توجه به جدید بودن بحث زباله سوزی بیمارستانی در کشور، تصور عمومی از آن مثبت نمی‌باشد. در این مقاله با انجام محاسبات ترمودینامیکی و شیمیایی و استفاده از فاکتورهای انتشار آلاینده های معیار در دو حالت کنترل نشده و پس از نصب تجهیزات کنترلی، یک واحد زباله سوز کوره گردان با محفظه ثانویه به ظرفیت 1,500 کیلوگرم در ساعت و عملکرد 10 ساعت در روز طراحی گردید. نتایج حاصل از برآورد آلاینده های خروجی حاکی از پایین بودن آلاینده های CO، SO_2 و NOx از حدود استاندارد بوده و لذا در این خصوص نیازی به استفاده از تجهیزات تصفیه کننده وجود نخواهد داشت. علت این امر ایجاد درجه حرارت بالا در کوره گردان و کافی بودن زمان ماند و اغتشاش گازها در محفظه ثانویه می‌باشد. از طرف دیگر پایین بودن دی اکسید گوگرد بعلت طبیعت پسماند بیمارستانی است که عموما مقادیر اندکی گوگرد بهمراه دارد.
درخصوص دیگر آلاینده ها یعنی ذرات معلق، دای اکسینها و فیورنها، گاز کلرید هیدروژن و فلزات سنگین نیز می‌توان انتظار داشت که با نصب تجهیزات کنترلی(Spray Dryer + Carbon Injection + Fabric Filter) بتوان غلظت آلاینده های خروجی را به زیر حد استاندارد رسانید.

مراجع

[1] قانون مدیریت پسماندها مصوب 1383/2/20 مجلس شورای اسلامی .

[2] مراجعه شود به وب سایت تخصصی دفتر بررسی آلودگی آب و خاک، سازمان حفاظت محیط زیست ایران:
http://www.irandoe.org/doeportal/wsp/

[3] م.قنبرزاده لک، (ارائه سیستم تصفیه بهینه جهت کنترل گازها و ذرات جامد خروجی از دودکش زباله سوزهای بیمارستانی). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده عمران، 1384 .

[٤] EPA Handbook, (Operation and Maintenance of Hospital Medical Waste Incinerators), U.S. Environmental Protection Agency, 1990 .

[٥] U.S. EPA, (Emission Factor Documentation for AP-42 chapter 2: Solid Waste Disposal, Section 2.3: Medical Waste Incineration), U.S. Environmental Protection Agency, 1995 .

[٦] Lee C.C., Shun Dar Lin (Handbook of Environmental Engineering Calculations), McGraw-HILL, 1999 .

[7] زونتاگ، بورگناک و ون وایلن، (مبانی ترمودینامیک)، ترجمه: غ.ملک زاده و م.ح.کاشانی حصار، نشر نما، 1384 .

[٨] M.C.M. Alvim-Ferraz, S.A.V. Afonso, “Incineration of health care wastes: management of atmospheric emissions through waste segregation”, Waste Manage. Assoc. 25, pp. 638–648, 2005 .