بررسی اثر دما بر عملکرد سیستم بازیابی حرارتی سامانه آمایش پلاسمایی و شبیه‌سازی آن

INC29-1240

مهگام قیدی[۱و۲]، نیکو دارستانی فراهانی[۱*]، ایمان خزایی[۲]. سید رضا شفاعی[۱]. پروین یورتچی[۱]

۱. پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران صندوق پستی ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵

۲. دانشکده مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۱۷۱۹. تهران- ایران

چکیده:

فناوری گازی سازی پلاسمایی روشی مؤثر و سازگار با محیط‌زیست برای امحا پسماندها و تولید انرژی از آن‌هاست. مشعل‌های پلاسمایی یکی از فناوری‌های جدید در آمایش و تثبیت پسماندهای پرتوزا هستند که برخلاف سوزاندن معمولی، از تبدیل حرارتی را در یک حجم نسبتاً کم باراندمان بالا فراهم می‌کنند. این مطالعه در راستای طراحی، شبیه‌سازی و آنالیز سیستم گازی سازی پلاسمایی برای پسماندهای رادیواکتیو سطح پایین و متوسط و تلفیق آن با سیستم تولید برق از نقطه‌نظر صرفه‌جویی در انرژی است. در این مطالعه، سامانه گازی سازی پلاسمایی جهت آمایش و شیشه‌سازی از پسماند رادیواکتیو بر اساس یک مدل ریاضی ساده و انعطاف‌پذیر با کمک نرم‌افزار EES شبیه‌سازی‌شده است که شامل یک گاز ساز جریان پایین با سه مشعل پلاسما با ویژگی: (توان هر مشعل: 30-300kw، جریان پلاسما: ۵۰۰-۳۰۰ آمپر، ولتاژ: ۱۰۰-۶۰ ولت) است. در این پژوهش به‌منظور افزایش راندمان گازی سازی، تأثر دما به‌عنوان یک پارامتر مهم و تأثیرگذار بر ارزش حرارتی گاز سنتز حاصل‌شده، بررسی‌شده است.

کلیدواژه‌ها: پسماند رادیواکتیو، مشعل پلاسما، سامانه گازی سازی پلاسمایی.

Investigation of temperature on the performance of the heat recovery system for the waste treatment system with plasma and simulation

Gheydi M [1, 2], Darestani Farahani [*]N[1], Khazaee I[2], Shafaie S.R[1], Yourtchi P[1]

1Plasma and Nuclear Fusion Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute,P.O. Box: 14155-1339,Tehran, Iran

2Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, A.C. Tehran, Iran, B. O. Box: 1719 - 16765, Tehran, Iran

Abstract:

Plasma gasification has been demonstrated as one of the most effective and environmentally friendly methods for waste treatment and energy utilization. One of the new technologies in vitrification and Radioactive waste treatment are Plasma Torches, unlike conventional combustion, provide the possibility of heat conversion in a relatively small volume with high efficiency. This project is in the way to design, simulate and analyze a plasma gasification system for low and intermediate-level radioactive waste and its integration into a system of electricity production from the point of view of energy savings. In this study, the Plasma Gasification System is simulated based on a simple and flexible mathematical model with EES software for vitrification and radioactive waste treatment. It consists of a downdraft gasifier coupled with 3 plasma torches with characteristics of: (power: 30-300kw, current: 300-500A, voltage: 60-100v). In this research, the effect of temperature on the performance of this system has been studied as an important and influencing parameter on LHV.

Keywords: Radioactive waste, Plasma Torches, Plasma Gasification System.

۱. مقدمه

دفع پسماندها به‌عنوان یک موضوع و چالش مهم زیست‌محیطی، در حوزه سلامت و بهداشت محیط نقش اساسی دارد [۱]. پسماند منبعی برای تولید انرژی تجدید پذیر محسوب می‌شود، زیرا از مواد دارای ارزش حرارتی با محتوای متفاوتی از کربن آلی تشکیل‌شده‌اند. تولید انرژی به معنای استحصال انرژی موجود در پسماندهای غیرقابل‌بازیابی به‌صورت گرما و الکتریسیته است که علاوه بر تأمین بخشی از انرژی موردنیاز جامعه به‌صورت برق و حرارت، به کاهش مشکلات بهداشتی و زیست‌محیطی ناشی از تولید پسماند نیز کمک قابل‌توجهی می‌کند [۲]. روش‌های مختلفی برای حل مشکل دفع پسماندها وجود دارد. یکی از این روش‌ها، زباله‌سوزی است. روش‌های معمول سوزاندن زباله، آلودگی هوای قابل‌توجهی را به دنبال دارند. از طرف دیگر امحا زباله‌های ویژه و خطرناک، نظیر زباله‌های رادیواکتیو که برای سلامتی انسان و سایر موجودات زنده بسیار خطرناک هستند، نیازمند روش‌های مناسب‌تری هستند.[۳] فرآیند تجزیه در دمای بسیار بالا یا پلاسما گرمایی راه‌کاری مناسب برای امحا پسماندهای پرتوزا در سطوح متوسط و پایین است. در این روش، در دمای بسیار بالا، پیوندهای بین‌مولکولی مواد تجزیه می‌گردند. سوخت ورودی سامانه زباله‌سوز پلاسمایی، پسماند پرتوزا در سطوح پایین و متوسط به همراه هوا یا اکسیژن است. استفاده از اکسیژن، ارزش حرارتی گاز تولیدشده را افزایش می‌دهد. گاز سنتز حاصل‌شده برای تولید بخار، الکتریسیته یا سنتز متانول مورداستفاده قرار گیرد. مواد حاصل از این فرآیند ازنظر شیمیایی بسیار ساده‌تر و پایدارتر بوده و خطرهای مواد اولیه را ندارند. خاکستر باقی‌مانده در خاک نفوذ نمی‌کند و نسبت به مقدار اولیه، اختلاف حجم چشم‌گیری دارد، همچنین خاکستر حاصل‌شده از آن نیز در صنعت راه‌سازی و ساختمان‌سازی قابل‌استفاده است [۴].

مفهوم مدیریت پسماند با استفاده از فناوری پلاسما، اولین بار توسط دکتر کاماچو در سال ۱۹۷۳ معرفی شد [۵]. او کوره‌ای با چند مشعل پلاسما برای پیرولیز پیوسته زباله‌های خانگی و صنعتی ثبت اختراع کرد. [۶] نتایج اختراع او نشان داد که گاز مفید تولیدی بسیار تحت کنترل بوده و می‌توان از آن برای تولید انرژی استفاده نمود [۷]. نمونه‌های متعدد صنعتی و تجاری زباله‌سوزهای رادیواکتیو طی ۳۰ سال گذشته در دنیا مشغول به کار می‌باشند. نمونه آن تأسیسات زباله‌سوز پلاسمایی در بلغارستان است که این تأسیسات به‌منظور امحا پسماندهای رادیواکتیو سطح پایین در نیروگاه هسته‌ای کوزودوی بلغارستان تأسیس‌شده است. دارای یک مشعل پلاسمای ۵۰۰ کیلوولت از نوع غیرانتقالی است و در طول ۴۰ هفته کاری در سال، ۲۵۰ تن زباله رادیواکتیو را آمایش می‌کند. اکتیویته ویژه پسماندها در حدود 5E5 Bq/kg و نرخ دز دریافتی، زیر 2 msv/h است. همچنین این سامانه مجهز به سیستم رادیومانیتورینگ CEM[1] جهت نظارت انتشار تشعشات رادیواکتیو است. این سامانه تا پایان سال ۲۰۲۰، تقریباً ۳۳۰ تن زباله رادیواکتیو معادل ۱۷۰۰ مترمکعب را تصفیه کرده است. از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ کمپانی SIA RADON در مسکو، کارخانه‌ای در مقیاس صنعتی به نام پلوتون برای آمایش پسماندهای رادیواکتیو مخلوط در کوره پلاسما با سرباره ذوب ساخته که دارای ظرفیت آمایش ۲۰۰ تا ۲۵۰ کیلوگرم پسماند در ساعت است. در این کارخانه، دو مشعل پلاسمایی با ظرفیت ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلووات وجود دارند که دمای ذوب ۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰ درجه سانتی‌گراد را فراهم می‌کنند [۴]. بزرگ‌ترین راکتور پلاسمایی توسط شرکت وستینگ‌هاوس، در کشور انگلستان ساخته‌شده است که متشکل از دو نیروگاه سیکل ترکیبی است که درمجموع توان الکتریکی برابر 64×2 مگاوات برق تولید می‌کند. این فن‌آوری دارای چهار زمینه کاربردی است: زباله‌های شهری، سوخت‌گیری در کارخانه زغال‌سنگ، زیست‌توده و زباله‌های خطرناک است و مشعل‌های مورداستفاده این کمپانی در مدل‌های مختلف از رنج ۸۰ تا ۲۴۰۰ کیلووات می‌باشند. [۸] در سال ۲۰۱۷، Luca Mazzoni و همکاران او به شبیه‌سازی یک نیروگاه سیکل ترکیبی امحا زباله‌های خطرناک از صنایع نفت و گاز با استفاده از نرم‌افزار Aspen Plus پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که با پردازش ۱۳۳۸ تن زباله در روز می‌توان باراندمان ۳۳/۶۳ درصد، ۸۱ مگاوات برق تولید کرد. [۹] همچنین در سال ۲۰۱۹، Sunee با بررسی تجربی و مدل‌سازی عددی از یک کوره شیشه‌ای به‌منظور آماده‌سازی زباله‌های رادیواکتیو خطرناک به مطالعه الگوی جریان گرما و پیش‌بینی پروفایل دما در نقاط مختلف کوره

[1] Continuous Emission Monitoring

پرداخت [۱۰]. آژانس حفاظت از محیط‌زیست فدرال[۲]، بر اساس مخاطرات بهداشتی و محیط‌زیستی، محدودیت‌هایی را برای سوزاندن زباله‌های رادیواکتیو تعیین کرده است اما کوره‌های زباله‌سوز مبتنی بر فناوری قوس پلاسما مشمول این محدودیت‌های فدرال نیستند؛ زیرا محدوده دمایی که تبدیل به گاز در آن‌ها صورت می‌گیرد، بیشتر از ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد است که خودبه‌خود الزامات قانونی استاندارد 2000/76/EC را که در آن دما برای سوزاندن زباله‌های رادیواکتیو، باید بیش از ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد، برآورده می‌کند. همچنین طبق این استاندارد، هر حجم از گاز تولیدشده باید بیش از دو ثانیه در این دما نگه‌داشته شود تا حد مجاز انتشار ترکیبات سمی مانند فوران و دیوکسین‌ها در محصولات گاز پالایش‌شده از $10^{-10}gr/m^3$ تجاوز نکند. در این فرآیند اقامت طولانی‌مدت پسماند در راکتور در این دمای بالا، حدود این استاندارد را به‌خوبی رعایت می‌کند.

طراحی و شبیه‌سازی سامانه برداشت انرژی جهت آمایش و شیشه‌سازی پسماند هسته‌ای برای اولین بار در ایران در سال ۱۳۹۹ باهدف توسعه امنیت پایدار انرژی و امنیت پایدار محیط‌زیست به‌منظور کاربرد در صنعت پسمانداری هسته‌ای در ایران انجام‌شده است. تحقیقات انجام‌شده به بررسی اثر رطوبت پسماند ورودی بر عملکرد سیستم گازی سازی، انجام آنالیزهای انرژی، اگزرژی و آنالیز اقتصادی سامانه یکپارچه گازی سازی پلاسمایی از پسماند رادیواکتیو سطح پایین و متوسط در ابعاد آزمایشگاهی و نیروگاهی و امکان استفاده از سرباره شیشه‌ای خنثی‌شده حاصله به‌عنوان محصول فرعی خروجی سامانه در صنایع راه‌سازی و جاده‌ای پرداخته است [۱۱،۱۲،۱۳] پژوهش حاضر در ادامه روند این مطالعات به بررسی اثر پارامتر دما بر عملکرد سیستم گازی سازی طراحی‌شده می‌پردازد.

۲. روش کار

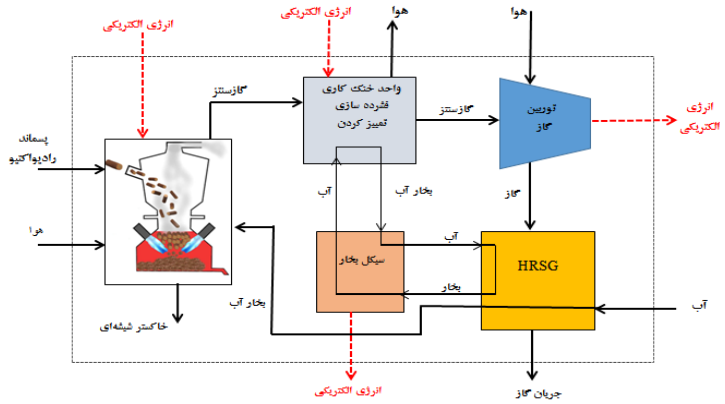
۱.۲ توصیف مدل‌سازی سامانه گازی سازی پلاسمایی

مدل سیستم گازی سازی پلاسمایی، یک مدل IPGCC برای نیروگاه سیکل ترکیبی برق و حرارت است که در آن‌یک توربین گاز با سوخت گاز سنتز در یک سیکل ترکیبی است. تأسیسات گازی سازی پلاسمایی برای تبدیل پسماند به گاز سنتز و استحصال انرژی شامل دو بخش عمده است:

الف) سیستم گازی سازی پلاسمایی، به‌منظور امحا پسماند و تبدیل آن به محصولات فرعی قابل‌استفاده.

ب) سیستم بازیابی انرژی از محصولات فرعی حاصل از امحای پسماند.

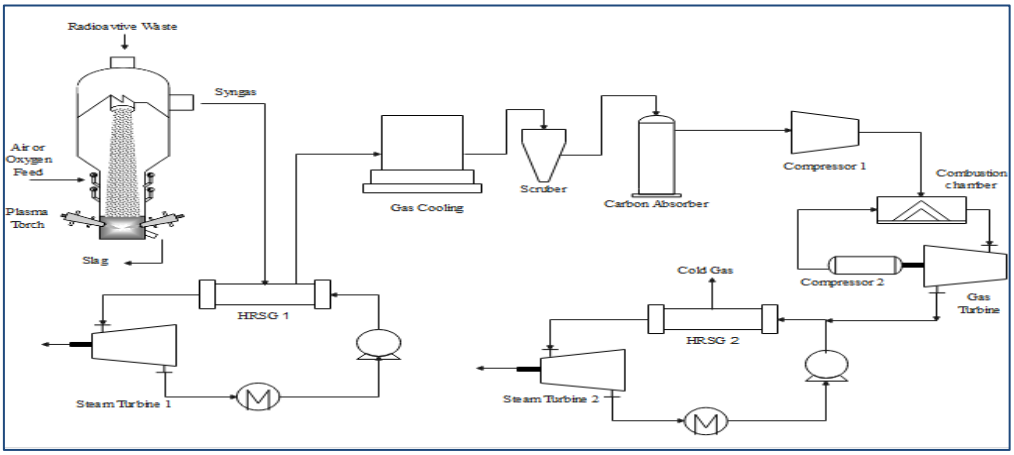
برای ارزیابی پتانسیل گاز سازی پلاسمایی برای تولید برق، این مدل از پنج بخش به‌هم‌پیوسته شامل: واحد گاز ساز پلاسمایی، واحد فشرده‌سازی و تمیز کردن گاز سنتز تولیدی، توربین گاز، توربین‌های بخار بازیابی حرارت و سیکل بخار تشکیل‌شده است. دیاگرام این مدل در شکل ۱ نشان داده‌شده است. این مدل از سیکل ترکیبی گاز سازی یکپارچه شلتون[۳] و لیون[۴] پیروی می‌کند [۱۴].



شکل ۱. مدل IPGCC پیشنهادی سیستم گازی سازی پلاسمایی

[2] Environmental Protection Agency
[3] Shelton
[4] Lyons

سامانه یکپارچه گاز سازی پلاسمایی از چهار مرحله تشکیل‌شده است:.۱. پیش‌پردازش پسماند ورودی ۲. پردازش پسماند در کوره و تولید گاز سنتز ۳. پالایش و تصفیه گاز سنتز ۴. تولید انرژی الکتریکی و حرارتی. این سامانه با ظرفیت پسماند ورودی ۴۳ تن در روز و با پتانسیل الکتریکی ۱۰ مگاوات ساعت برای ۷۵۰۰ ساعت کارکرد سالیانه طراحی‌شده است. در سیستم زباله‌سوز پلاسمایی طراحی‌شده، پسماند پرتوزا سطح پایین و متوسط به‌عنوان خوراک ورودی وارد راکتور می‌شود، دو مشعل پلاسما با رنج توان ۳۰۰ -۳۰۰ کیلووات در بدنه راکتور تعبیه‌شده‌اند که قوس الکتریکی مشابه صاعقه ایجاد و به درون راکتور هدایت می‌کنند. حرارت بالای مشعل‌های پلاسما، پسماندها را به عناصری مانند هیدروژن، مونواکسید کربن و آب تجزیه می‌کند. گاز حاصل، گاز سنتز نامیده می‌شود که بسیار قابل‌احتراق است و دارای ارزش حرارتی پایین[5] (LHV) است که به ترکیبات پسماند ورودی بستگی دارد. مشعل پلاسمایی دمای داخلی کوره را به حد کافی بالا می‌برد تا تبدیل پسماند به گاز سنتز تضمین‌شده و این مواد به‌طور کامل ذوب شوند. همچنین گرمای مشعل پلاسما و زمان اقامت نسبتاً طولانی درون راکتور، سوزاندن زباله‌های خطرناک و یا مواد بی‌اثر مانند شیشه و فلزات را نیز فراهم می‌کند. مدل شبیه‌سازی سامانه گازی سازی پلاسمایی با نرم‌افزار EES در شکل ۲ نشان داده‌شده است. در این ساختار، انرژی الکتریکی موردنیاز مشعل‌های پلاسما از برق حاصل‌شده از سیکل ترکیبی سامانه تأمین می‌شود. گاز سنتز شده با دمای ۱۲۷۰ درجه سانتی‌گراد از راکتور پلاسمایی خارج می‌شود و قبل از ورود به توربین گاز سیکل ترکیبی، تحت‌فشار و تمیز سازی سرد قرار می‌گیرد. گرمای گاز سنتز شده حاصل از خروجی سیستم گازی سازی، از طریق ژنراتور بخار بازیابی حرارتی HRSG1 به آب منتقل‌شده و منجر به تولید بخار می‌شود که یک چرخه رانکین را فراهم می‌کند. این بخار فوق گرم با عبور از توربین بخار تولید انرژی الکتریکی می‌کند. واحد خنک کاری گاز سنتز را تا دمای ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد سرد می‌کند. گاز سنتز خارج‌شده وارد دستگاه شستشوی اسکرابر ونتوری می‌شود که در آن‌گونه‌های آلوده‌کننده محلول در آب با استفاده از محلول‌های اسیدی و قلیایی شسته می‌شوند. در فرآیند خنک‌سازی بیشتر گرما بازیابی می‌شود تا بخار فشارقوی برای سیکل بخار فراهم شود. گاز سنتز تمیز شده در توربین گاز برای تولید برق مورداستفاده قرار می‌گیرد. مدل توربین گاز بر پایه توربین گاز G501Wقرار دارد. گرمای محسوس گاز دودکش از توربین گاز با استفاده از HRSG برای تولید بخار فوق گرم برای چرخه بخار و پلاسما استفاده می‌شود. گاز خروجی از اسکرابر با عبور از یک کمپرسور وارد محفظه احتراق شده و در این محفظه با هوا واکنش می‌دهد. درنتیجه این واکنش در خروجی محفظه احتراق، گازهای $H2O$ N_2, CO_2و O_2 تولید می‌شود که در مرحله بعدی با عبور از توربین گاز برق تولید می‌کند. با عبور جریان گاز خروجی از دومین مولد بازیابی حرارتHRSG2 گاز خنک شده از خروجی خارج می‌شود. بخار خروجی از HRSG به توربین بخار چندمرحله‌ای داده می‌شود تا توان بیشتری تولید کنند. گاز سنتز تمیزنشده را می‌توان در موتورهای رفت و برگشتی یا توربین‌های گازی برای تولید برق مورداستفاده قرارداد یا به سوخت مایع تبدیل نمود. [۱۵].



شکل ۲. مدل‌سازی سامانه گازی سازی پلاسمایی در نرم‌افزار EES

[5] Low Heating Value

۲.۲ معادلات لازم در مدل گازی سازی پلاسمایی و مفروضات ارائه‌شده

برای توصیف فرآیند گازی سازی پلاسمایی و بررسی پارامترهای آن، به دلیل بالا بودن دمای محفظه گازی سازی، یک مدل تعادل شیمیایی در نظر گرفته. تعادل شیمیایی را می‌توان هم از طریق ثابت تعادل و هم از طریق حداقل سازی انرژی آزاد گیبس بیان نمود. لذا مدل تعادل شیمیایی، بر اساس کم‌ترین مقدار انرژی آزاد گیبس انتخاب می‌شود. در طول فرآیند گازی سازی پلاسمایی واکنش‌های شیمیایی مختلفی رخ می‌دهند که توصیف آن‌ها با یک مدل تعادلی ساده بسیار دشوار است. فرمول‌های زیر روند تبدیلات شیمیایی درون کوره را در فرآیند گازی سازی شرح می‌دهند [۱۶]:

$$C_{(S)} + CO_2 \rightarrow 2CO \quad (۱)$$ (واکنش بودووارد)

$$C_{(S)} + H_2O \rightarrow CO + H_2 \quad (۲)$$ (واکنش آب - گاز)

از ترکیب دو معادله فوق به معادله زیر می‌رسیم:

$$CO + H_2 \rightarrow CO_2 + H_2 \quad (۳)$$ (واکنش تغییر فاز آب به گاز)

$$C_{(S)} + 2H_2 \rightarrow CH_4 \quad (۴)$$ (واکنش متان)

$$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2 \quad (۵)$$ (واکنش بازترکیب متان)

در این مدل فرض می‌شود که سوخت خشک و شامل کربن، هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن است. عنصر گوگرد برای ساده‌سازی واکنش‌ها درنظر گرفته نشده است. چنانچه از هوا به‌عنوان واسطه گازی سازی استفاده نماییم، فرمول شیمیایی واکنش جهانی گازی سازی به‌صورت $CH_hO_oN_n$ است که در آن h, o,n تعداد اتم‌های هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن موجود در هر اتم کربن در سوخت هستند؛ و برای بیوگازهای مختلف با دانستن آنالیز نهایی می‌توان مقادیر h, o,n را به دست آورد. گام اول در مطالعه فرآیند، نوشتن معادله احتراق و موازنه احتراق است. برای نوشتن معادله احتراق و ضرایب آن معادله کلی گاز سازی با هوا را می‌توان مطابق معادله ۶ در نظر می‌گیریم [۱۶].

$$CH_hO_oN_n + wH_2O_{(L)} + m(O_2 + 3.76\,N_2) = n_{co}CO + n_{co2}CO_2 + n_{CH4}CH_4 + n_{H2}H_2 + n_{N2}N_2 + n_{H2O}H_2O \quad (۶)$$

که در آن w تعداد kmol آب به ازای kmol سوخت است و m تعداد kmol اکسیژن مصرفی به ازای هر kmol سوخت است. مفروضات ارائه‌شده در مدل تعادلی، مطابق فرضیاتی است که پرینس و همکاران او، در مدل توسعه‌یافته خود در نظر گرفتند. این فرضیات عبارت‌اند از [۱۷]

۱. سیستم گاز ساز کاملاً عایق در نظر گرفته می‌شود، یعنی از تلفات حرارتی صرف‌نظر می‌شود.

۲. برای سیستم گاز ساز، اختلاط کامل سوخت (پسماند) با هوا و دمای یکنواخت فرض می‌شود.

۳. در این مدل فرض می‌شود که سرعت واکنش دهی به‌اندازه کافی سریع و مدت‌زمان اقامت به مقدار کافی طولانی است تا به حالت تعادل برسد.

۴. فرض می‌شود تمام کربن موجود در زیست‌توده گاز ساز باشد.

۵. در این مدل‌سازی فرض می‌شود که برای تمامی واکنش‌ها در ناحیه گازی سازی، تعادل ترمودینامیکی برقرار است.

۶. تمام گازها ایده آل فرض می‌شوند.

۷. تمامی واکنش‌ها در فشار ۱ اتمسفر رخ می‌دهند.

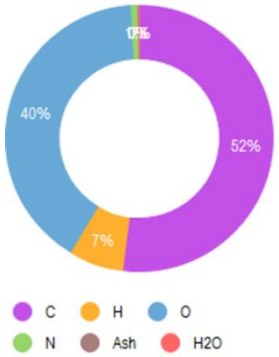
۳.۲ مطالعه تأثیر پارامتر دما بر ترکیبات گاز سنتز و عملکرد سیستم گازی سازی

در سامانه زباله‌سوزهای پلاسمایی، نرخ جریان محصولات گازی و ترکیبات گاز سنتز تشکیل‌شده با استفاده از معادله موازنه جرم محاسبه می‌شود، سپس نرخ جریان واکنش‌دهنده‌ها و غلظت محصولات با دستگاه کروماتوگرافی گاز اندازه‌گیری می‌شود. علاوه بر این با استفاده از دبی سنج پس از کندانسور سرعت جریان گاز خروجی اندازه‌گیری می‌شود تا صحت نتایج موازنه جرم بررسی شود. سوخت انتخاب‌شده در این مطالعه، پسماندهای سطح پایین و متوسط رادیواکتیو معمول در آزمایشگاه‌های هسته‌ای مانند لباس کار، روپوش، دست‌کش، میز کار در نظر گرفته‌شده که مبنای چوب، پارچه

و پلاستیک دارند. لذا برای توصیف مدل، با استفاده از معادله کلی گازی سازی با هوا مطابق معادله ۱ با فرض اینکه اتم‌ها شامل کربن، هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن باشند، آنالیز تقریبی[6] ترکیبات گاز سنتز، با استفاده از داده‌های موجود در کتاب راهنمای سیستم‌های گازی سازی [۱۸] انجام شد و سپس با استفاده از معادله موازنه جرم، آنالیز نهایی[7] ترکیبات پسماند ورودی مطابق جدول شماره ۱ به دست آمد.

جدول ۱. آنالیز نهایی ترکیبات پسماند ورودی با رطوبت ۲۰٪

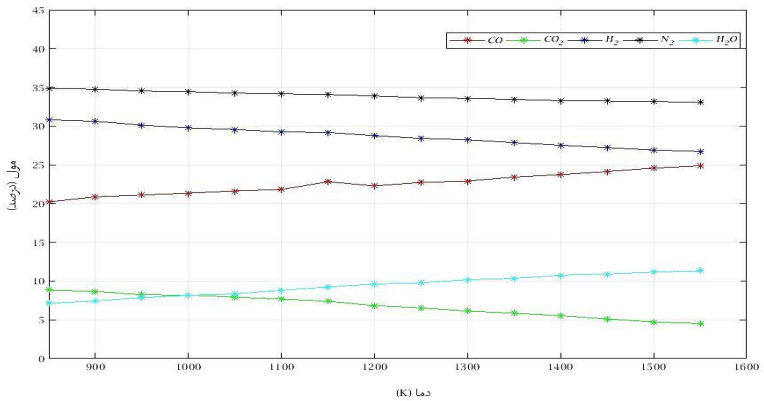
پسماند	کربن	هیدروژن	نیتروژن	اکسیژن	گوگرد	کلر
چوب	۵۰/۲۵	۶/۰۹	۰/۲	۴۳/۳۵	۰/۱	۰/۰
پارچه	۵۷/۵۶	۶/۱	۲/۱۷	۴۳/۳۵	۰/۲	۰/۰۴
پلاستیک	۸۲/۹۱	۱۲/۲۹	۰/۷۱	۲/۵۴	۰/۱۴	۱/۴
شیشه	۴۹/۱۶	۶/۳۶	۰/۶۳	۴۳/۷۳	۰/۱۳	۰/۰



جدول ۲. آنالیز نهایی ترکیبات گاز سنتز

ترکیب‌بندی	وزن خشک(%)
کربن	52
هیدروژن	6/7
اکسیژن	40/3
نیتروژن	0/9
خاکستر	0/1
آب	-

به‌منظور بررسی تأثیر پارامتر دما بر ترکیبات گاز سنتز شده در شبیه‌سازی مدل، مقدار اکسیژن ورودی به کوره مقدار ثابت ۰/۳ مول بر مول سوخت و نسبت هوا به سوخت 2 Kg/kg و دما ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد معادل ۱۰۷۳ درجه کلوین در نظر گرفته‌شده است. با توجه به محاسبات آنالیز انرژی انجام‌شده برای مشعل پلاسما در دو سناریو کمترین توان ۳۰ کیلووات و بیشترین توان ۳۰۰ کیلووات دمای مشعل انتخاب‌شده است. نتایج مدل‌سازی سامانه حاکی از این است که با تغییر دما از میزان ۸۵۰ تا ۱۶۰۰ درجه کلوین درصد، غلظت CO، از ۲۰/۲۳٪ به حدود ۲۵/۱۷٪ افزایش‌یافته، غلظت CO_2 از ۸/۸۷٪ به ۴/۲۳٪ کاهش‌یافته، غلظت H_2 از ۳۰/۸۱٪ به ۲۶/۳۵٪ کاهش‌یافته، غلظت N_2 از ۳۴/۸۴٪ به مقدار ۳۲/۸۴٪ کاهش داشته و غلظت H_2O از ۷/۱۳٪ به ۱۱/۵۴٪ افزایش‌یافته است.



شکل ۳. تأثیر پارامتر دما بر ترکیبات گاز سنتز حاصل‌شده

[6] Proximate Analysis
[7] Ultimate Analysis

۳. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به طراحی و شبیه‌سازی سامانه گازی سازی پلاسمایی، جهت شیشه‌سازی از زباله‌های رادیواکتیو سطح متوسط و پایین، باهدف کاهش حجم پسماندهای رادیواکتیو سطح متوسط و پایین پرداخته شد و این هدف از جهت کاهش فضای موردنیاز برای دفن پسماندها، کاهش خطرات احتمالی ناشی از روش‌های نامناسب دفع این پسماندهای خطرناک و کاهش میزان پرتوگیری کارکنان در عملیات آمایش پسماندهای هسته‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از طرف دیگر استفاده از مشعل پلاسما برای امحاء مواد و پسماندهای سمی و خطرناک برای استحصال انرژی بسیار مناسب است. در این پژوهش با توسعه یک مدل تعادل شیمیایی‌بر مبنای کمینه‌سازی انرژی آزاد گیبس و ادغام آن با یک چرخه ترکیبی، سامانه گازی سازی پلاسمایی جهت تولید انرژی برق و حرارت موردبررسی قرار گرفت و با شبیه‌سازی در نرم‌افزار EES، تأثیر دما به‌عنوان یک پارامتر عملیاتی ارزیابی شد نتیجه مطالعه اثر دما در این سامانه نشان داد که افزایش دما منجر به افزایش غلظت CO، در ترکیبات گاز سنتز شده درحالی‌که محتوای H_2، CO_2 و N_2 کاهش‌یافته است. با افزایش دما، توان مصرفی مشعل پلاسما افزایش می‌یابد. همچنین میزان ارزش حرارتی پایین گاز سنتز به دلیل تغییرات جزئی در ترکیبات گاز سنتز حاصل‌شده اندکی افزایش می‌یابد. افزایش توان مصرفی در مشعل پلاسما منجر به افزایش برق مصرفی مشعل از سیکل ترکیب‌شده و راندمان سیکل کاهش می‌یابد.

۴. تشکر و قدردانی

سپاس بیکران از استادان فرزانه جناب آقای دکتر خزایی و خانم دکتر دارستانی و تشکر ویژه از همراهی پرسنل متخصص و دلسوز آزمایشگاه فناوری‌های نوین در پژوهشکده گداخت هسته‌ای سازمان انرژی اتمی.

۵. مراجع

1. J. H. Jan Deckers, "Industrial Treatment of Radioactive Waste by Plasma Technology, 2021.
2. Eggleston H.S. Buendia L. Miwa K. Ngara T. and Tanabe K. (eds), "IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, the Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan, 2006.
3. N. Scarlet, V. Motola and J. Dallemand, "Evaluation of energy potential of Municipal Solid Waste from African urban areas," Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015
4. I.A. E. Agency, "Application of thermal technologies for processing of radioactive waste, IAEA-TECDOC-1527," IAEA, VIENNA, 2006.
5. G.W. Bailey, "Waste expectations of fusion steels under current waste repository criteria," Nuclear Energy, 2021.
6. I.A.E.AGENCY, Design and Operation of Radioactive Waste Incineration Facilities, safety Guide, vienna, 1992
7. P. S Doudou, "Strategic Study of Thermal Treatment of European Radioactive Wastes," in thermal treatment of radioactive waste, 2020
8. W.P.C. Birsan Nicolae, "PLASMA GASIFICATION – THE WASTE-to-ENERGY SOLUTION FOR THE FUTURE," PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE, 2014
9. J. Luca Mazzonia, "Plasma gasification of two waste streams: Municipal solid waste and hazardous waste from the oil and gas industry," in The 8th International Conference on Applied Energy, 2017.
10. G. Suneel, P. M. S. Sai, C. P. Kaushik, J. K. Gayen, K. V. Ravi and a. A. Roy, "Experimental Investigation and Numerical Modeling of a Joule-Heated Ceramic Melter for Vitrification of Radioactive Waste," Hazard. Toxic Radioact. Waste, 2019.
۱۱. مهگام قیدی، ایمان خزایی، " امکان‌سنجی طراحی سیستم برداشت انرژی از گازهای خروجی سامانه زباله‌سوز پلاسمایی" پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید بهشتی، شهریور ۱۴۰۱
۱۲. مهگام قیدی، ایمان خزایی، نیکو دارستانی فراهانی، امیرحسین حکمی،" بررسی اثر رطوبت پسماند ورودی در عملکرد سیستم بازیابی حرارتی سامانه آمایش پلاسمایی و شبیه‌سازی آن" نهمین کنفرانس مهندسی و فیزیک پلاسما، تیرماه ۱۴۰۱

13. Gheydi M, Khazaee I, Darestani Farahani N, “Design of heat recovery system for radioactive waste treatment and vitrification system with plasma torches‟, Nuclear Science & Technology 2022(ICNST22)
14. Shelton, W, and Lyons, J, "Shell Gasifier IGCC Base Cases, PED-IGCC-98-002," Department of Energy, Process Engineering Division., 2000.
15. M. Kumar, S. Kumar and S.K. Singh "PLASMA TECHNOLOGY AS WASTE TO ENERGY: A review," International Journal Of Advanced Research (IJAR), December 2020
16. al, Zainal et, "Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass," *Energy Conversion and Management*, p. 51:969–982, 2010.
17. Jurgen Garche, C. Dyer, P. Moseley, Z. Ogumi, D. Rand, B. Scrosati, Encyclopedia of Electrochemical Power Sources, 2013.
18. Institute, Solar Energy Research. Handbook of Biomass Downdraft gasifier Engine system, SERIISP-271-3022, U.S. Department of Energy, 1998.