پتانسیل سنجی میزان تولید انرژی از فناوری‌های مختلف دفع نهایی پسماند شهرستان آمل

اسفندیار نائیجی [۱]، علیرضا نورپور [۱*]، حسین قنواتی [۲]، بهزاد جوادیان [۳]

۱- دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران

*ایمیل نویسنده مسئول: noorpoor@ut.ac.ir

۲- پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی

۳- دانشگاه علوم پزشکی مازندران دانشکده پیراپزشکی آمل

تاریخ دریافت: ۹۷/۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۰

چکیده

یکی از مشکلات توسعه ی زندگی شهری و سبک زندگی نوین تولید زیاد پسماند و مدیریت این پسماندها هست. پسماندها ماده ای هستند که در محل تولید برای تولید کننده دارای کاربرد نیستند. اما می توانند در نقطه ای دیگر کاربردی باشند. یکی از روش های مدیریت پسماندها در کنار بازیافت مواد قابل بازیافت، تولید انرژی و کود از پسماند است در مقاله بعد از معرفی کمی و کیفی پسماند شهر آمل، روش تولید بیوگاز به عنوان یک روش موثر در مدیریت پسماند شهر آمل بحث شده سپس پتانسیل تولید بیوگاز از قسمت های آلی فساد پذیر زباله های آمل (که حدود ۶۵ درصد ان را تشکیل می دهند) مورد تحلیل قرار گرفته. بیوگاز، گازی است دارای ترکیباتی عمده از متان و دی اکسید کربن. بر اساس یافته های این تحقیق شهرستان آمل به ترتیبت در صورت اجرای بیوراکتور بیهوازی برای کل پسماند شهری، استفاده از هاضم بی هوازی و استفاده از زباله سوز برای پسماند ریجکتی، به ترتیب پتانسیل نصب مولد با ظرفیت ۱۳/۵، ۱۴ و ۲/۴ مگاوات انرژی را دارد که دو مورد اول مولد های CHP هستند که حدود ۴۰ درصد راندمان الکتریکی دارند (به ترتیب ۶و ۷/۲ مگاوات).

کلمات کلیدی

"محل دفن" ،"هاضم"، "زباله سوز" ،"بیوگاز"، "ارزش حرارتی"

Potentiometer of energy production from various waste disposal technologies of Amol city

Esfandiyar Naeiji[1], Alireza Noorpoor[1*], Hossein ghanavati [2], Behzad javadian[3]

[1] Graduate Faculty of Environment, University of Tehran, Teharn, Iran

[*]Email Address:noorpoor@ut.ac.ir

[2] Agricultural Biotechnology Research Institute, Karaj, Iran

[3] Mazandaran University of Medical Sciences, Amol Paramedical School, Amol, Iran

Abstract

One of the problems of the development of urban life and the modern lifestyle in human societies is the high waste generation and management of these wastes. Waste is a substance that is not usable at the place of production for the producer. But they can be applied elsewhere. One of the methods for waste management alongside recycling of recoverable materials is the production of energy and fertilizer from the waste. In this article after the quantitative and qualitative introduction of waste of Amol city, the method of biogas production is discussed as an effective method in waste management in Amol city, then the potential of biogas production from corrosive organic parts of Amol waste (about 65% of it) has been analyzed. Biogas contains combinations of methane and carbon dioxide. Based on the findings of this research, by installing landfill bioreactors, anaerobic digestion and waste incinerators in Amol city respectively, have the potential for energy production is 13.5, 14 and 2.4 megawatts that that,13/5 and 14 MW are CHP generators with about 40% electrical efficiency (respectively 6 and 7.2 megawatts).

Keywords:"landfill", "digestion", "incinerator", "biogas", "LHV"

۱- مقدمه

در حال حاضر سالانه معادل حدودا ۱۴۰۰۰ میلیون بشکه نفت خام انرژی در کشورهای مختلف دنیا مصرف شده و حدودا نزدیک به ۲ درصد به میزان مصرف انرژی در جهان افزوده می‌شود. منبع اصلی تامین انرژی در جهان منابع نفتی و بعد از آن به ترتیب ذغال سنگ و گاز طبیعی است (Global 2016). با توجه به اینکه میزان منابع نفتی، ذغال سنگی و گازی در دنیا محدود است و همچنین برخی دلایل محیط زیستی و اقتصادی، کشورهای دنیا فراخور شرایط آب و هوایی، اقتصادی و ... از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و پایدار در حال حاضر استفاده می‌کنند و برنامه توسعه استفاده از این دسته انرژی ها را در آینده دارند.

یکی از پیامدهای افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی تولید دی‌اکسید کربن است که از گازهای دارای اثر گلخانه‌ای است و میزان آن در جو در ۵۰ سال آینده با این روند تقریبا دو برابر خواهد شد (Mercer 1978). بر این اساس ذیل پیمان پاریس کشورهای جهان انواع تعهدات برای کاهش تولید دی‌اکسید کربن و کاهش میزان تولید گازهای گلخانه ای دادند.

مدیریت پسماند یکی از چالش های اساسی در همه جای دنیا و نه صرفا کشورهای در حال توسعه هست. با توجه به برای مثال در ژاپن با این که میزان تولید پسماند در سال ۲۰۰۵به عدد کم ۱/۲۵میلیون تن رسید، هنوز مشکلاتی از قبیل کمبود امکانات و زمین در دسترس وجود دارد. این کمبودها از اصلیترین مشکلات کشورهای توسعهیافته میباشد. یکی از دلایل اصلی این مشکلات این است که حداقل زمان لازم برای پردازش و تخریب پسماندها در زمین ۱۵سال می باشد. روش های مختلفی برای مدیریت پسماند و جلوگیری از اشاعه بیماری وجود دارد که باید دارای شروطی باشد من جمله اینکه به محیط زیست آسیبی نرساند، اقتصادی باشد و قابلیت توسعه در طرفیت های بالا را داشته باشد.

با توجه به موارد گفته شده در بالا و نیز وجود پتانسیل تولید انرژی از زباله، بشر به راه حل هایی برای حل مشکل زباله و جلوگیری از اشاعه الودگی در کنار تولید انرژی دست یافته.

مدیریت و مهندسی پسماندهای شهری یکی از مشکلات و دغدغه‌های اساسی در مدیریت شهری در اکثر کشورهای جهان است. متخصصین پسماند در امر مدیریت پسماند در ابتدا اصل 3R[1] را توصیه می‌کنند(Sakai et al. 2011) به منظور ابتدا پیشگیری از تولید، سپس بازآفرینی و استفاده مجدد از پسماند تولید شده و در نهایت بازیافت. اما بخش هایی از پسماند تولید شده قابل بازیافت نیستند و باید روش‌هایی جهت مهندسی و دفع آنان به کار گرفته شود.

روش‌های عمده مهندسی پسماند و دفع نهایی شامل انواع روش-های حرارتی شامل پیرولیز اعم از گازیسازی و گازیسازی پلاسمایی، زباله سوزی اعم از زباله سوزی توده سوزی در کوره-های دوار و کوره های بستر سیال و ... یا روش‌های بیولوژیکی مانند کمپوست کردن، هضم بی هوازی و تولید بیوگاز در هاضم و دفن بهداشتی در محل‌های دفن هوازی، بی هوازی و نیمه هوازی می‌شود. هر کدامیک از این روش‌ها با توجه به نوع پسماند و شرایط راهبری راندمان بالا و پایینی در دفع نهایی مواد زائد دارند.

۲-بیوگاز و هضم بیهوازی

هضم بی‌هوازی[2]به تجزیه بیولوژیکی ترکیبات آلی به ترکیبات نهایی مانند متان، دی‌اکسید کربن، هیدروژن، نیتروژن و... بوسیله یک کنسرسیوم میکروبی در فقدان حضور اکسیژن گفته می‌شود (Dai et al. 2017; Kamali et al. 2016). که تولید بیوگاز می‌کند.

تولید بیوگاز در نتیجه فعالیت میکروارگانیسم های بی هوازی در فرآیند هضم است. تجزیه موادآلی بوسیله دسته‌ای از باکتری‌هایی که تولید دی اکسید کربن و متان می‌کنند(باکتری های استوژنیک سانتیگراد(مزوفیلیک) عمل هضم را انجام می دهند. زباله ها توسط آنزیم ها مشابه آنچه که در معده انجام می‌گیرد مواد الی را به قندها و آمینو اسیدها تبدیل می‌کنند مواد آلی توسط باکتریهای استوژنیک به هیدروژن، دی اکسید کربن و استات تبدیل می‌شوند که در نهایت باکتریهای متان ساز این ترکیبات را به بیوگاز که مخلوطی از متان و کربن دی اکسید سولفید هیدروژن و دیگر گازها تبدیل می کنند.

مکانیسم تولید بیوگاز در فرآیند هضم بیهوازی نسبتاً پیچیده و تحت تأثیر عوامل شیمیایی و بیوشیمیایی متنوعی می باشد، این مکانیسم به طور کلی به ۳ (یا گاها ۴) مرحله تقسیم می گردد:(Li, Park, and Zhu 2011)

مرحله اوّل: هیدرولیز مواد آلی پیچیده و نامحلول و تبدیل این مواد به ترکیبات محلول

[1] Reduce, reuse, and recycle

[2] Anaerobic digestion (AD)

مرحلـه دوّم: ترکیبـات آلـی حاصـل از مرحلـه اول بـه وسـیله باکتریهای اسیدساز شکسته شده و اسیدهای آلی تولید می شـود. معمولاً هیدروکربن های پنج و شش کربنـی در آب حـل شـده و توسط باکتریهای اسیدساز مصرف گردیده و به ترکیباتی از قبیـل هیدروژن، فورمات، استات، پروپیونات و گاز کربنیک تبـدیل مـی گردند.

مرحله سوّم: تمام ترکیبات آلی و اسیدهای تولید شـده در مرحلـه اسیدسازی توسط باکتریهای متان ساز به بیوگاز تبدیل می گردند (Rajendran et al. 2014).

با توجه به خصوصیات فرایند هضم می توان سیستم های هضـم بی هوازی را از نظر تکنولوژی به ۴ دسته تقسیم بندی کرد:

- هضم مرطوب/ خشک
- هضم مزوفیلیک/ ترموفیلیک.
- هضم دو مرحله ای/ یک مرحله ای
- هضم دو فازی/ یک فازی

۲-۱-هضم مرطوب/ خشک

تقسیم بندی فراینـد هضـم بـه صـورت فراینـدهای مرطـوب یـا خشک، بر اساس محتوای رطوبت در راکتور صـورت مـی گیـرد. میزان رطوبت در فرایند خشـک، بـین ۱۵ تـا ۴۰ درصـد بـوده و بیومس شبیه به دوغاب غلیظ به نظر می رسد. میزان ماده خشک در هضم مرطوب ، کمتر از ۱۵ درصد بوده و زیست توده شبیه به مایع به نظر می رسد (Kothari et al. 2014; Li, Park, and Zhu 2011; Khalid et al. 2011).

انتخاب نوع فرایند بر اساس محتوای رطوبت، به میـزان رطوبـت پسماند اولیه بستگی دارد. در فرآیند خشک حساسیت فرآینـد بـه تفکیک پسماند یا همان خوراک اولیـه و همچنـین ابعـاد راکتـور کمتر است از طرفی زمان ماند این فرآیند بیشتر است. با این حال مدیریت فرایند هضم و موارد مرتبط به بازدارندگی آمونیـاک نیـز در انتخاب نوع فرایند(تر یـا خشـک) نقـش دارنـد. اگـر بتـوان از باقیمانده مرطوب فرایند هضم، به عنوان کود بـرای زمـین هـای کشاورزی استفاده کرد، فرایند مرطوب ترجیح داده می شود. ولـی اگر ماده هضم شده برای تولیـد کمپوسـت بـه کـار رود، فرآینـد خشک ارجح است. محتوای بالای نیتروژن در پسماند مـی توانـد منجر به غلظت بالای آمونیاک و بازدارندگی آن در راکتور گردد و از آنجا که از آب برای رقیق سازی در فرایند مرطوب استفاده می شود، برای این نوع از پسماندها بهتر است از فراینـد تـر اسـتفاده شود.(Khalid et al. 2011; Kothari et al. 2014)

۲-۲-هضم مزوفیلیک/ ترموفیلیک

دمای هاضم معمولا بـرای هضـم مزوفیلیـک حـدود 35° C و بـرای هضـم ترموفیلیـک در حـدود 53-55° C مـی باشـد. انتخاب دمای فرایند بـر اسـاس تعـادل بـین فاکتورهـای متعـدد صورت می گیرد. درجه حـرارت بـالاتر باعـث تجزیـه میکروبـی سریعتر شده و بعضی از مواد در دمای بالا راحت تـر هضـم مـی شوند. با این حال بهره برداری از فرایند ترموفیلیک اغلب مشکل بوده و نیاز به گرمایش و عـایق سـازی دارد کـه باعـث افـزایش هزینه ها می گردد. در برخی کشورها که هضم به عنوان بخشـی از فرایند بهداشتی سازی محسوب مـی شـود، بـه دلیـل الزامـات بهداشتی فرایند ترموفیلیک مطلوب است ولی در کشورهایی کـه مراحل بهداشتی سازی به صورت جداگانه انجام می شود، درجـه حرارت بالا مزیتی نداشته و هضم مزوفیلیک، معمول مـی باشـد (Albanna 2013).

۲-۳-هضم دو مرحله ای/ یک مرحله ای

هضم بی هوازی فرایند پیچیده ای است کـه در چنـد مرحلـه ای انجام می شود و در آن گروهای مختلفی از باکتریها برای تجزیـه مواد آلی و تولید متان با هم همکاری مـی کننـد. شـرایط بهینـه عملکـردی بـرای هـر مرحلـه متفـاوت اسـت و از ایـن رو یـک تکنولوژی با فرایند مرحله ای، می تواند مطلوب باشـد. بـه طـور معمول در این فرایند بیشتر از دو مرحله به کار نمی رود حتی اگر انجام فرایند با بیش از دو مرحله از نظر تئوریکی قابل قبول باشد. در مرحله اول اسیدسازی و در مرحله دوم متان سازی انجام مـی شود و در این فرایند اسید به متان تبدیل می شود. ایجاد شـرایط بهینه برای فراینـدها مشـکل بـوده و سـاختار پیچیـده ای دارد و معمولاً بیشترین مشکل فرایند جهت بهره برداری اسـت. اگرچـه هر دوی فرایندهای دو مرحله ای و یک مرحله ای مورد اسـتفاده قرار می گیرند اما فرایندهای یک مرحله ای معمـول تـر بـوده و فرایندهای دو مرحله ای بـرای کاربردهـای خـاص انتخـاب مـی گردند.

۲-٤-هضم دو فازی/ یک فازی

فرایندهای فازی در ترکیب با فرایندهای مرحله ای بـه کـار مـی روند که در آن بیومس بعد از مرحله اسید سازی به صـورت یـک فاز جامد و یک فاز مایع در می آید، فـاز جامـد در مرحلـه اسـید سازی بیشتر تصفیه شده و فاز مایع که غنـی از اسـید اسـت وارد مرحله متان سازی می شود. این فرایند بـه خصـوص در سیسـتم های فیلم ثابت باعث افـزایش سـرعت متـان سـازی مـی شـود. فرایندهای فازی به عنوان بخشـی از فراینـدهای مرحلـه¬ای بـا سرعت بالا مطلوب هستند. به علـت مشـکلاتی کـه در تفکیـک

فازها و تثبیت فرایند وجود دارد، فقط کارخانجات معدودی با سیستم فازی بهره برداری شده اند.

۲-۵- محل دفن بی‌هوازی

فرآیند هضم بی هوازی از قسمت های آلی زباله شهری در دنیا به دو صورت عمده صورت می گیرد. استفاده از هاضم های تر یا خشک یا دفنگاه های بیوراکتوری بی هوازی. در هاضم ها با توجه به کنترل شرایط فرآیند و تلقیح میکروارگانیسم، سرعت فرآیند همواره بالاتر است.

در صورتی که محل دفن پسماندهای شهری، دارای محیط کنترل شده و بی هوازی باشند، می توانند مثل یک راکتور بیهوازی عمل کرده و تولید بیوگاز نمایند. در این حالت با جمع آوری گاز محل دفن و ایجاد تاسیسات فراوری و استحصال انرژی، میتوان از بیوگاز جمع آوری شده، تولید انرژی کرد.

۲-۶-پتانسیل استحصال بیوگاز از هاضم

در حالت کلی تولید متان توسط میکروارگانیسم های بی هوازی از زیست توده مطابق رابطه زیر است.

(۱)

$$C_cH_hO_oN_nS_s + yH_2O \rightarrow xCH_4 + nNH_3 + sH_2S + (c-x)CO_2$$

$$x = 1.8 \times (4c + h - 20 - 3n - 2s)$$

$$y = 1.4 \times (4c - h - 20 + 3n + 3c)$$

در دنیا، تحقیقات زیادی در مورد تعیین ویژگی های انواع مختلف خوراک فرآیند بیوگاز، همچنین نرخ تولید بیوگاز و نرخ تولید متان در فرآیند هضم بیهوازی، صورت گرفته هست. در جدول ۱خلاصه‌ای از برخی تحقیقات صورت گرفته در این حوزه مشاهده می‌شود.

جدول ۱ - ویژگی‌های انواع پسماند و پتانسیل تولید متان (Mosier et al. 2005; Saha 2003; Sun and Cheng 2002; Ghosh and Singh 1993; Preethu et al. 2007; Abbasi, Tauseef, and Abbasi 2012; Lei et al. 2010; Balat 2011; Harmsen et al. 2010; Sánchez 2009; Saxena, Adhikari, and Goyal 2009)

ماده آلی	سلولز (%)	هموسلولز (%)	لیگنین (%)	نسبت C/N	پتانسیل متان (m^3/kgODS)
ساقه ذرت	37.5	22.4	17.6	60–120	0.35–0.36
فیبر ذرت	14.3	16.8	8.4	35–45	-
کاه گندم	38.2	21.2	23.4	90	-
ضایعات چمن	31–45	20–31	12–18	12–25	-
برگ	15–20	80–85	-	8–20	0.10–0.30
باگاس	38.2	27.1	20.2	150	-
نیشکر	25	17	12	50	-
اکالیپتوس	38–45	12–13	25–37	34–59	-
کاه برنج	32	24	13	70	0.35
جامدات پساب	8–15	-	24–29		0.590
کودگاو	1.6–4.7	1.4–3.3	2.7–5.7	24	0.15
پسماند شهری	33	9	17	40	0.21–0.22
قسمت آلی پسماند شهری	60	20	20	14–16	0.22–0.24
کاغذ	68.6	12.4	11.3	125–850	0.37
روزنامه	62.1	16.1	21.1	175	0.10
جلبک	20–40	20–50	-	19	0.09–0.34[a]
ضایعات موز	13.2	14.8	14	21–34	0.24–0.32

۳-زباله سوزی

زباله سوزی زباله سوزی یکی از مرسوم ترین روشهای دفع نهایی پسماند هست که با توجه به ارزش حرارتی پسماند ورودی، امکان تولید انرژی را دارد.

زباله سوزی، شامل فرآیند سوختن پسماند، و اکسیداسیون محصولات بدست آمده از سوختن در کنار فرآیندهایی برای تصفیه گاز و کنترل آلودگی هست. به صورت کلی، زباله سوزی شامل انواع مختلف من جمله توده سوزی، کوره های دوار، کوره های بستر سیال و ... میشود. انرژی حرارتی حاصل از سوختن خوراک، حرارت لازم را برای بویلرها فرآهم کرده و بویلرها هم اقدام به تبخیر آب و راه اندازی سیکل استحصال انرژی می‌کنند

٤-محدوده مورد مطالعه

شهر آمل واقع در جلگه مازندران و طرفین رود هراز با ارتفاع ۷۶ متر از سطح دریا در ۵۲ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی و ۲۶ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی و در فاصله ۷۰ کیلومتری غرب ساری، مرکز استان، ۱۸ کیلومتری جنوب دریای خزر و شش کیلومتری شمال دامنه کوه البرز و ۱۸۰ کیلومتری شمال شرقی تهران قرار دارد.

میزان تولید زباله در آمل روزانه تقریبا ۲۰۰ تن است. این زباله ها پس از دپوی موقت در ۷ کیلومتری شهرستان آمل به همراه زباله های شهرستان های محمود آباد و مناطق روستایی به سایت دفن پسماند عمارت منتقل می شود که مجموع زباله حمل شده به سایت دفن زباله عمارت آمل به حدود ۳۰۰ تن در روز می رسد.

٥-آزمایش و نمونه برداری

تولید انرژی در فرآیند هضم بیهوازی در هاضم‌ها با جمع آوری بیوگاز صورت می‌گیرد. در ادامه بسته به فرآیند تکمیلی بیوگاز به صورت تصفیه نشده وارد خوراک مولد های بیوگاز می‌شود که گرانقیمت هستند یا بعد از عملیات شیرین سازی، وارد مولد توان می‌شود.

برای نمونه برداری از پسماند بر اساس استاندارد، نمونه برداری فیزیکی به صورت ۳ مرتبه در هفته و یک هفته در ماه به مدت ۹ ماه در محل سایت دپو موقت محمودآباد پیش از حمل به محل دفن صورت گرفت. حجم نمونه ۱۰۰ کیلوگرمی بوده که از ۵ ماشین مختلف حمل پسماند به صورت تصادفی هر کدام ۱۰۰ کیلو انتخاب شده و در نهایت از ۵۰۰ کیلو پسماند جمع آوری شده، ۱۰۰ کیلو مورد آنالیز قرار گرفت. به این صورت که به صورت دستی، مطابق جدول ۱ قسمت‌های مختلف پسماند جداسازی شده و سپس هر قسمت با ترازو وزن شد. همچنین هر هفته نیز یک نمونه برای اندازه گیری عناصر سازنده بعد از خرد شدن، خشک شدن، سپس اسیاب شدن و پودر شدن به آزمایشگاه جهت آنالیز شیمیایی فرستاده شد. بعد از دریافت نتایج آزمایشگاه و محاسبه میزان رطوبت کسر شده طی فرآیند خشک کردن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد، آنالیز شیمیایی پسماند از داده‌های آزمایشگاهی بدست آمد. همچنین آنالیز شیمیایی بر مبنای نتایج حاصل از تفکیک و آنالیز فیزیکی نیز محاسبه و گرد آوری شد.

میانگین وزنی نمونه ها در فصول مختلف به صورت خلاصه در جدول زیر مشاهده می‌شود.

جدول ۲- ماینگین وزنی آنالیز فیزیکی پسماند نمونه برداری شده

نوع	درصد وزنی پسماند
کاغذ (شامل مقوا، دستمال و...)	۱۰/۳
پلاستیک ها (غیر از پت)	۲/۲
پت	۱/۶
فیلم پلی اتیلن	۸/۷
دور ریز مواد غذایی	۶۶/۸
چوب	۰/۳
آهن	۲/۳
آلومنیوم	۰/۳
شیشه	۱/۹
منسوجات	۵/۶
جمع	۱۰۰

خلاصه نتایج آنالیز شیمیایی پسماند نیز در جدلو بعد مشاهده می‌شود. بر این اساس پسماند دارای رطوبت بالایی است همچنین بارندگی نیز در منطقه زیاد هست و در برخی فصول رطوبت باران نیز در محل دپوی موقت یا در محل دفن، با پسماند ترکیب می‌شود. همچنین بخش اصلی پسماند مورد آزمایش را مواد آلی فسادپذیر تشکیل می‌دهند که به فرهنگ منطقه از یک طرف و جداسازی بخش زیادی از اجزای قابل بازیافت و خشک در ایستگاه‌های بازیافت یا توسط دوره گردها یا هر روشی پیش از محل دپو موقت مرتبط هست. که این امر موجب بالاتر رفتن نسبت پسماندهای غیر قابل بازیافت مثل پسماندهای آلی تجزیه پذیر می‌شود.

جدول ۳- آنالیز شیمیایی پسماند نمونه برداری شده

رطوبت	۷۰/۸
ترکیب درصد مولی کربن	۵۰/۱
ترکیب درصد مولی هیدروژن	۷
ترکیب درصد مولی نیتروژن	۲/۲
ترکیب درصد مولی اکسیژن	۳۹/۸
ترکیب درصد مولی گوگرد	۰/۲
ترکیب درصد مولی کلر	۰/۸
ارزش حرارتی (کیلوژول بر کیلوگرم)	۴۲۹۰
ارزی حرارتی پسماند ریجکتی (کیلوژول بر کیلوگرم)	۱۱۲۰۰

٦-نتایج

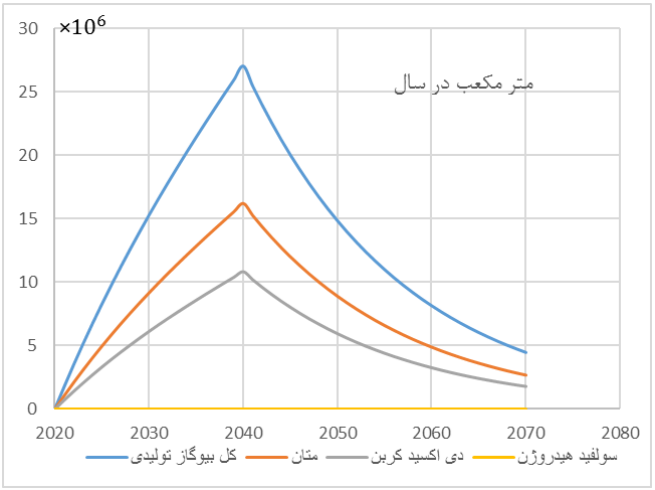
در این قسمت، نتایج حاصل از پتانسیل استحصال انرژی از پسماند به روش هضم بی هوازی با جمع آوری گاز محل دفن یا استفاده از هاضمهای بی هوازی و همچنین پتانسیل انرژی زباله سوزی، ارائه میشود. در محاسبات فرض شده سالانه ۲ درصد به پسماند تولیدی شهر اضافه میشود که این رقم با توجه به رشد تولید ناخالص داخلی از یک طرف و برنامه های کاهش تولید پسماند از طرف دیگر در نظر گرفته شده. همچنین ۷ درصد از حجم زباله، به عنوان پسماند قابل بازیافت در نظر گرفته شده. در کنار این با توجه به توریستی بودن منطقه، پیک مسافر به صورت دو برابر شدن پسماند در روزهای اخر هفته تابستان و عید در محاسبات وارد شد.

٦-١- انرژی حاصل از محل دفن بیهوازی

با ارائه فرضیات بیان شده ، همچنین وارد کردن نرخ تولید متان، پتانسیل تولید متان و محتوی متان، به کمک رابطه ۱و جدول ۱، و تعیین شرایط مرطوب برای راکتور با توجه به میزان بارش و اقلیم منطقه، با استفاده از نرم افزار Landgem ، وضعیت انتشار و تولید بیوگاز (شامل دی اکسید کربن، متان و سولفید هیدروژن) از محل دفن بیوراکتوری پسماند، بدست آمد.

در این مرحله فرض شده محل دفن از سال ۲۰۲۰ به مدت ۲۰ سال روزانه ورودی پسماند داشته باشد. بعد از ۲۰ سال محل دفن بسته شده و وضعیت انتشار گاز تا ۳۰ سال بعد از تعطیلی محل دفن در نمودار ۱ و جدول ۴ مشاهده می‌شود.

نمودار۱-گازهای تولیدی از محل دفن



بر این اساس میزان انرژی حاصل با استفاده از مبدل تولید همزمان برق و قدرت در سال در جدول زیر مشاهده می‌شود. برای استحصال انرژی لازم است بیوگاز شیرین سازی شده و بعد از حذف ترکیبات مرکاپتانی و سولفید هیدروژن در مولد مورد استفاده قرار بگیرد. البته می‌توان از مولدهای بیوگاز سوز نیز استفاده کرد که دارای قیمت های بسیار بالایی هستند و غالبا اقتصادی نیستند. در فرآیند شیرین سازی برای احیای حاذب یا حلال، لازم است بخشی از حرارت تولیدی حاصل از سوختن بیوگاز مورد استفاده قرار گیرد. در این جدول همچنین توان تخمینی نیروگاه با توجه به وضعیت انتشار نیز مشاهده می‌شود.

جدول ۴-پتانسیل استحصال انرژی از محل دفن بی هوازی

نوع انرژی	مقدار	واحد
ارزش حرارتی بیوگاز	۱۹/۸	MJ/m^3
حداکثر پتانسیل تولید انرژی	۱۰۰۵۴۸۰۰۰۰	MJ
حداکثر پتانسیل تولید انرژی	۲۷۹۳۰۰	MWh
متوسط تولید برق در ۵۰ سال	۵۷۲۴۰	MWh
متوسط تولید حرارت در ۵۰ سال	۶۱۳۲۰	MWh
ظرفیت نیروگاهی	۱۳/۵	MW

جدول ۵- انتشارگازاز محل دفن بیوهوازی در سال های مختلف

سال	کل پسماند (Mg)	کل بیوگاز تولیدی (m^3/year)	متان (m^3/year)	دی اکسید کربن (m^3/year)	سولفید هیدروژن (m^3/year)
2020	0	0	0	0	0
2021	101,835	1.784E+06	1.071E+06	7.138E+05	6.424E+01
2022	205,707	3.501E+06	2.100E+06	1.400E+06	1.260E+02
2023	311,656	5.153E+06	3.092E+06	2.061E+06	1.855E+02
2024	419,724	6.747E+06	4.048E+06	2.699E+06	2.429E+02
2025	529,953	8.286E+06	4.971E+06	3.314E+06	2.983E+02
2026	642,387	9.773E+06	5.864E+06	3.909E+06	3.518E+02
2027	757,070	1.121E+07	6.728E+06	4.485E+06	4.037E+02
2028	874,047	1.261E+07	7.566E+06	5.044E+06	4.540E+02
2029	993,363	1.397E+07	8.380E+06	5.587E+06	5.028E+02
2030	1,115,065	1.529E+07	9.172E+06	6.114E+06	5.503E+02
2031	1,239,201	1.657E+07	9.943E+06	6.628E+06	5.966E+02
2032	1,365,820	1.782E+07	1.069E+07	7.130E+06	6.417E+02
2033	1,494,972	1.905E+07	1.143E+07	7.620E+06	6.858E+02
2034	1,626,706	2.025E+07	1.215E+07	8.100E+06	7.290E+02
2035	1,761,075	2.142E+07	1.285E+07	8.570E+06	7.713E+02
2036	1,898,132	2.258E+07	1.355E+07	9.031E+06	8.128E+02
2037	2,037,929	2.371E+07	1.423E+07	9.485E+06	8.537E+02
2038	2,180,523	2.483E+07	1.490E+07	9.932E+06	8.939E+02
2039	2,325,968	2.593E+07	1.556E+07	1.037E+07	9.336E+02
2040	2,474,323	2.702E+07	1.621E+07	1.081E+07	9.728E+02
2041	2,474,323	2.545E+07	1.527E+07	1.018E+07	9.162E+02
2042	2,474,323	2.397E+07	1.438E+07	9.587E+06	8.628E+02
2043	2,474,323	2.257E+07	1.354E+07	9.029E+06	8.126E+02
2044	2,474,323	2.126E+07	1.275E+07	8.503E+06	7.653E+02
2045	2,474,323	2.002E+07	1.201E+07	8.008E+06	7.207E+02
2046	2,474,323	1.885E+07	1.131E+07	7.541E+06	6.787E+02
2047	2,474,323	1.776E+07	1.065E+07	7.102E+06	6.392E+02
2048	2,474,323	1.672E+07	1.003E+07	6.689E+06	6.020E+02
2049	2,474,323	1.575E+07	9.449E+06	6.299E+06	5.669E+02
2050	2,474,323	1.483E+07	8.898E+06	5.932E+06	5.339E+02

بخشی از گازهای تولیدی در محل دفن شامل مونوکسید کربن، استون، بنزن، زایلن، سایر هیدروکربن ها و ... هستند که حجمشان و اهمیتشان در برابر گازهای اشاره شده در جدول ناچیز هست و در جدول نیامده.

البته در حالت واقعی عملا جمع آوری همه بیوگاز حاصل از محل دفن ناممکن هست و هر میزان لوله گذاری نیز در محل دفن صورت بگیرد خواه ناخواه بخش زیادی از بیوگاز، از خلل و فرج-های زمین هدر می‌رود. همچنین محاسبات برای محل دفن بیوراکتوری مرطوب با فرض ۱۰۰ درصد جمع آوری گاز بوده که عملا رسیدن به این وضعیت در شرایط واقعی ناممکن هست و پتانسیل حدامثری تولید انرژی را نشان می‌دهد.

٦-٢- انرژی حاصل از هاضم

فرآیند بیولوژیکی و گازهای تولیدی در محل دفن بیهوازی با هاضم‌ها تقریبا مشابه هست. البته در هاضم با توجه به اینکه عملیات راهبری تحت کنترل می‌باشد، فرآیند بیهوازی می‌تواند با سرعت و سینتیک متفاوتی پیش رود.

در هاضم‌های بیهوازی، با توجه به وضعیت راهبری فرآیند، بهتر است قسمت آلی تجزیه پذیر را از سایر قسمت های پسماند جدا کرده و مستقلا وارد راکتور نماییم. با توجه به پتانسیل تولید متان از پسماند شهری و با توجه به نمودار ۱ و جدول ۱ ، تخمین پتانسیل تولید انرژی از هاضم بیوگاز با فرض ۷۰ درصد پیشرفت واکنش تخمیر، داریم.(برای راکتور ۲۰۰ تن در روز برای پسماند آلی تجزیه پذیر با فرض ۳۳۰ روز کاری در سال)

جدول ۶-پتانسیل استحصال انرژی از هاضم بیهوازی پسماند آلی

نوع انرژی یا ماده	مقدار	واحد
ارزش حرارتی بیوگاز	۱۹/۸	MJ/m^3
گاز تولیدی در روز	۱۲۰۹۶۰۰	m^3
متوسط تولید برق در سال	۵۷۰۰۰	MWh
متوسط تولید حرارت در سال	۶۸۰۰۰	MWh
مصرف انرژی فرآیند در سال	۹۰۰۰	MWh
مصرف حرارت در فرآیند در سال	۲۱۹۰۰	MWh
ظرفیت نیروگاهی	۱۴	MW

٦-٣- انرژی حاصل از زباله سوزی

با توجه به ارزش حرارتی پسماند، عملا پسماند شهر دارای ارزش حرارتی کافی برای سوختن در زباله سوزهای دوار یا توده سوزهای ثابت مرسوم نیست. لذا به این منظور در صورت ترکیب شدن فرآیند با هاضم بی هوازی، قسمت‌های ریجکتی غیر قابل بازیافت فرآیند، دارای ارزش حرارتی مناسبی برای زباله سوزی هستند. این قسمت از پسماند حدود ۲۵ درصد پسماند ورودی به محل دفن را شامل می‌شود.

انرژی حاصل از سوزاندن این زباله ها در جدول زیر مشاهده می-شود.

(۲)

$$P(MWh) = R\left(\frac{t}{d}\right) * HV\left(\frac{mj}{kg}\right) \times 1.157 \times 10^{-5} \times 25\%$$

بر این اساس، توان این نیروگاه برابر با ۲/۴ مگاوات خواهد بود.

۷-نتیجه گیری

پسماند به ماده ای گفته می شود که در زمان مشخص برای دارنده آن کاربری ندارد. این ماده در صورتی که به خوبی راهبری نشود می تواند منبعی جهت اشاعه بیماری و الودگی و تخریب محیط زیست باشد. از روش های مدیریت پسماند، استحصال انرژی است. در شهر آمل با وجود بخش آلی زیاد در زباله (تقریبا ۶۵ درصد) می توان پتانسیل تولید بیوگاز و یک نیروگاه ۱۳/۵ مگاواتی بیوگاز سوز را از یک محل دفن بیوراکتوری انتظار داشت. همچنین در صورت نصب هاضم بی هوازی، پتانسیل تولید انرژی و نیروگاه ۱۴ مگاواتی از قسمت آلی پسماند شهری، در شرایط ترموفیلیک پیش بینی می‌شود. همچنین در صورت راه اندازی زباله سوز برای ریجکتی های پسماند با ارزش حرارتی بالا، این پسماندها توان تولید ۲/۴ مگاوات انرژی را در زباله سوزهای توده ای جدید دارند. در مدیریت جامع پسماند روش های مختلف در کنار هم با بالاترین راندمان دیده می شوند. از بخش هایی از پسماند که برای تولید بیوگاز مناسب نیست و شامل بخش های غیر آلی می شود می توان در یک زباله سوز جهت تولید انرژی و به راه اندازی یک نیروگاه ۱/۷ مگاواتی استفاده کرد که جمع پتانسیل استحصال انرژی از زباله را در آمل در بهترین حالت به ۶/۴ مگاوات می رساند و مهمتر از آن مانع اشاعه الودگی های پسماند و حفظ محیط زیست می شود. البته یک نکته قابل ذکر این است که همواره بهترین راه برای صرفه جویی انرژی در نگاه جامع کاهش تولید پسماند و بازیافت است به طور مثال بازیافت در کاغذ که یکی از پسماندهای الی و حاصل قطع درختان است، برای تولید یک تن کاغذ نیاز به قطع کردن حدود ۱۸ درخت می باشد.بازیافت یک تن کاغذ سبب ۵۰٪ صرفه جویی در مصرف آب ، ۶۴٪ صرفه جویی در مصرف انرژی و ۷۴ ٪ کاهش آلودگی میشود.

منابع

- احمدی زاده، م.، ۱۳۷۶. سم شناسی صنعتی فلزات سنگین، نشر هزاران.
- بیات، ر. ۱۳۸۳. سهم‌بندی منابع آلودگی هوای تهران: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.
- احمدی، ع.، غلامی، د.، ۱۳۹۱. مدلسازی انتشار غبار خروجی دودکش کارخانه سیمان، مجله مهندسی محیط زیست، سال ۹، شماره ۲۹، ص ۱۳۲-۱۴۱.
- Al-Khashman, O. 2007. Determination of metal accumulation in deposited street dusts in Amman, Jordan, Environmental geochemistry and health, Vol. 5, P. 1-10.
- Borai, A. A., et al. 2001. Monitoring and statistical evaluation of heavy metals in airborne particulates in Cairo, Egypt, E. H. Chromatography, Vol. 10, P. 261–269.
- Nabi, G., Pardakhti, A. 2011. Comparative cancer risk assessment of THMs in drinking water from well water sources and surface water sources, Environ Monit Assess, Vol. 179, P. 499-507.
- IRIS. 2005. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment, EPA.
- Kent, C. 1998. Basics of Toxicology.
- U.S-EPA. 2000. Exposure Factors Handbook. Office of environmental health and hazard assessment, Washington DC.
- Yongming, H. 2006. Multivariate analysisof heavy metal contamination in urban dusts of xi'an, Central China. The Science of the Total Environment, P. 176-186.
- Abbasi, Tasneem, SM Tauseef, and SA Abbasi. 2012. 'Anaerobic digestion for global warming control and energy generation—an overview', *Renewable and sustainable energy reviews*, 16: 3228-42.
- Balat, Mustafa. 2011. 'Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: a review', *Energy conversion and management*, 52: 858-75.
- Dai, Xiaohu, Chongliang Hu, Dong Zhang, Lingling Dai, and Nina Duan. 2017. 'Impact of a high ammonia-ammonium-pH system on methane-producing archaea and sulfate-reducing bacteria in mesophilic anaerobic digestion', *Bioresource technology*, 245: 598-605.
- Ghosh, Purnendu, and Ajay Singh. 1993. 'Physicochemical and biological treatments for enzymatic/microbial conversion of lignocellulosic biomass.' in, *Advances in Applied Microbiology* (Elsevier).
- Global, BP. 2016. "BP statistical review of world energy. 2015." In.
- Harmsen, PFH, Wouter Huijgen, Laura Bermudez, and Robert Bakker. 2010. "Literature review of physical and chemical pretreatment processes for lignocellulosic biomass." In.: Wageningen UR-Food & Biobased Research.
- Kamali, Mohammadreza, Tânia Gameiro, Maria Elisabete V Costa, and Isabel Capela. 2016. 'Anaerobic digestion of pulp and paper mill wastes–An overview of the developments and improvement opportunities', *Chemical Engineering Journal*, 298: 162-82.
- Lei, Yichao, Shijie Liu, Jiang Li, and Runcang Sun. 2010. 'Effect of hot-water extraction on alkaline pulping of bagasse', *Biotechnology advances*, 28: 609-12.
- Mercer, John H. 1978. 'West Antarctic ice sheet and CO2 greenhouse effect: a threat of disaster', *Nature*, 271: 321.
- Mosier, Nathan, Charles Wyman, Bruce Dale, Richard Elander, YY Lee, Mark Holtzapple, and Michael Ladisch. 2005. 'Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass', *Bioresource technology*, 96: 673-86.
- Preethu, DC, BNUH Prakash, CA Srinivasamurthy, and BG Vasanthi. 2007. "Maturity indices as an index to evaluate the quality of compost of coffee waste blended with other organic wastes." In *Proceedings of the International Conference on Sustainable Solid Waste Management, Chennai, India*, 270-75. Citeseer.
- Saha, Badal C. 2003. 'Hemicellulose bioconversion', *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 30: 279-91.
- Sakai, Shin-ichi, Hideto Yoshida, Yasuhiro Hirai, Misuzu Asari, Hidetaka Takigami, Shin Takahashi, Keijirou Tomoda, Maria Victoria Peeler, Jakub Wejchert, and Thomas Schmid-

Unterseh. 2011. 'International comparative study of 3R and waste management policy developments', *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 13: 86-102.

- Sánchez, Carmen. 2009. 'Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi', *Biotechnology advances*, 27: 185-94.
- Saxena, RC, DK Adhikari, and HB Goyal. 2009. 'Biomass-based energy fuel through biochemical routes: a review', *Renewable and sustainable energy reviews*, 13: 167-78.
- Sun, Ye, and Jiayang Cheng. 2002. 'Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review', *Bioresource technology*, 83: 1-11.