اولین کنفرانس بین المللی مطالعات بین رشته ای در مدیریت و مهندسی
۲۳ اسفند ۱۳۹۷ - دانشگاه تهران
1st International Conference Interdisciplinary Studies in Management and Engineering
14 March 2019 - University Of Tehran
ISC
کد اختصاصی 97181-23104
با مجوز شماره ۱۶/۷۶۰۷۷
وزارت علوم تحقیقات و فناوری

(مقایسه اقتصادی و زیست محیطی استفاده از سوخت مشتق شده از زباله و سوخت های فسیلی رایج برای تولید انرژی)

سبا نصیری
کارشناسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تهران
saba.nasiri@ut.ac.ir
محمد ابونجمی
عضو هئیت علمی گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران
abonajmi@ut.ac.ir
نسترن علیزاده
کارشناسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تهران
N_alizade@ut.ac.ir

چکیده

امروزه به دلیل افزایش جمعیت کرۀ زمین، میل به شهر نشینی و مصرف‌گرایی، میزان تولید زباله افزایش یافته است و این مسئله و هم‌چنین روش‌های مختلف امحاء زباله به روش‌های قدیمی مانند دفن انواع زباله در دفنگاه‌ها مشکلات عدیده‌ای را ایجاد کرده و لازم است روش های نوینی برای امحاء زباله و پسماند شهری، به ویژه در شهرهای بزرگ در نظر گرفته شود. از دیگر معضلات جامعۀ پیشرفتۀ امروزی، کمبود انرژی و هم‌چنین رو به اتمام بودن سوخت‌های فسیلی و مشکلات آلودگی محیط زیستی ناشی از سوزاندن آن‌ها است که این امرگرایش به سمت استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر را افزایش می‌دهد. لذا، بهترین راهکار جهت نائل شدن به هدف مشترک تولید انرژی و امحاء زباله، تولید انرژی از زباله است که با فناوریهای مختلفی نظیر هاضم‌های بی هوازی، استفاده از گاز دفنگاه و... انجام می‌گیرد. یکی از روش‌های تولید انرژی از پسماند، تبدیل آن به سوخت جامد با ارزش حرارتی بالاست که به اختصار به آن RDF (Refuse-derived-fuel) می‌گویند و می‌توان از سوخت تجدیدپذیر در صنایع مختلف و نیروگاه‌ها استفاده کرد. در این مقاله به بررسی اجزای تشکیل دهندۀ این سوخت و مواد خطرناک موجود، ارزش حرارتی آن با توجه به ترکیبات و ماده اولیه تولیدی پرداخته شده، از سوی دیگر، میزان گازهای آلاینده و انتشار یافته و قیمت تمام شده که بسیار حائز اهمیت است، هم‌چنین RDF از نظر اقتصادی، محیط زیستی و مواد خطرناک و آلاینده های موجود با دیگر سوخت ها نیز در این مقاله بررسی و مقایسه شده است.

واژگان کلیدی: RDF، پسماند جامد شهری(MSW[1])،سوخت فسیلی، محیط زیست ،آنالیز RDF

[1] Municipal Solid Waste

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

امروزه با توجه به افزایش فرهنگ شهرنشینی و مصرف‌گرایی، حجم پسماند خشک و نیمه خشک افزایش چشم‌گیری داشته است و این میزان پسماند خشک ارزش حرارتی بالایی نیز دارد؛ اما روش‌ها و تدابیر در ارتباط با استفاده و یا امحاء آن‌ها به ویژه در کشور ما هم‌چنان به کندی، در حال پیشرفت است. تولید و استفاده از RDF، نه تنها به عنوان یک روش امحاء پسماند بلکه به عنوان یک سوخت تجدید پذیر، بسیار مورد توجه قرار گرفته است، این تکنولوژی هم اکنون در کشورهای مختلف، از جمله کشورهای اروپایی مورد توجه می‌باشد.

در ایران نیز در اکثر شهرهای بزرگ نظیر تهران، شیراز، اصفهان، تبریز، ارومیه، مشهد و... به دلیل نوع پسماند جامد شهری و ترکیبات آن و رو به افزایش بودن قسمت خشک و نیمه خشک زباله، استفاده از تکنولوژی تولید RDF از زباله و در نظر گرفتن آن به عنوان منبع تولید انرژی حرارتی بسیار اهمیت دارد. نکته مهم در ارتباط با ارزش حرارتی میزان حداقل آن است که برای سوزاندن یک زباله عادی و بدون پردازش زیر ۶ mJ/kg و برای RDF پردازش شده زیر ۱۸ mJ/kg غیر قابل قبول است و ارزش تولید و پردازش و سوزاندن ندارد. به طور میانگین ارزش حرارتی RDF تولیدی HHV(MJ/Kg) ۲۰،۷۰ با انحراف استاندارد ۲،۵۰ و در حالت خشک LHV(MJ/Kg dry) ۱۹،۳۱ با انحراف استاندارد ۲،۳۵ و در حالت خام LHV(MJ/Kg raw) ۱۳،۴۳ با انحراف استاندارد ۱،۷۱ می‌باشد. در جدول ۱ ارزش حرارتی مواد مختلف مورد استفاده در تولید RDF جهت مقایسه آمده است(Trezek ؛ .. & et al,1979)؛ (Chen,& et al,2011)؛ (Gallardo,& et al,2014)؛

(Shri Gireesh,& et al,2015) (Gallardo,& et al,2014)؛ (Standard,2004)؛

جدول1. آنالیز ارزش حرارتی مواد رایج

توضیحات	ارزش حرارتی(mJ/kg)	سوخت
RDF دارای غلظت بالای کاغذ و پلاستیک	۱۲/۵-۲۲= ۱۷/۴۶۰	**کاغذ**
RDF دارای غلظت بالای کاغذ و پلاستیک	۲۹/۵-۴۰ = ۳۷/۲۵۰	**پلاستیک**
	۸/۱۰۰ تا ۱۵/۱۰۰	**ارزش حرارتی زباله قبل از فرآوری**
	۱۴ تا ۱۸,۶ تا 33	**ارزش حرارتی RDF تولیدی**
آلودگی زیست محیطی	۲۸/۵-۳۵kg	**ارزش حرارتی تایر**
(با رطوبت ۱۵-۱۰٪)	۱۷_۱۵	**ارزش حرارتی چوب**

Archive of SID
www.SID.ir

ارزش حرارتی SRFتولیدی	۳۰-۳۳	
انرژی حرارتی مواد آلی	۱/۴	
انرژی حرارتی کل مواد MSW	۱۰,۴	
مواد زائد جامد شهری در اروپا	3_8	
و هر تن زباله ← ارزش حرارتی ۹Mj/kg	9	
نفت سبک	۴۲,۶	با چگالی ۰,۸۴۵ Kg/L
نفت سنگین	۳۹,۵	با چگالی ۰,۹۹۰ Kg/L
ذغال سنگ	۲۹,۳_۱۶,۷	
گاز طبیعی	۳۶	

روش تحقیق

۱- آنالیز ارزش حرارتی RDF

در اولین قدم، دانستن اجزاء تشکیل دهندهٔ RDF از این جهت که بدانیم محصول سوختن چیست، حائز اهمیت می‌باشند؛ البته دانستن استاندارد آلودگی و ترکیبات این سوخت برای مقایسه با انواع سوخت فسیلی نیز اهمیت دارد که در این مقاله همهٔ این موارد مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از موارد مهم و قابل توجه در ارتباط با سوخت RDF، مقایسه ارزش حرارتی آن با سایر انواع دیگر سوخت است، البته این فقط ارزش حرارتی نیست که برای انتخاب یک سوخت مناسب حائز اهمیت است، بلکه میزان انتشار گاز و آلودگی ، قیمت تمام شده و.... نیز دارای اهمیّت است که در بخش‌های دیگر این مقاله به بحث و بررسی آن پرداخته شده.

RDF اولیه تولید و بهره‌گیری از آن در صنایع مختلف به شدت توصیه می‌شود؛ لذا شناخت و آنالیز این سوخت و مقایسهٔ آن با دیگر سوخت‌ها و بررسی ابعاد مختلف اقتصادی و محیط زیستی آن بسیار اهمیّت پیدا می‌کند.

Archive of SID
www.SID.ir

۲- مقایسه RDF با دیگر انواع سوخت

در استفاده از هر سوختی پتانسیل سنجی آن در به صرفه بودن مصرف سوخت بسیار اهمیت دارد و یکی از المان های سنجش مقایسه با دیگر سوخت ها از منظر ارزش حرارتی، درصد رطوبتف درصد خاکستر و دیگر مشخصات فیزیکی و شیمیایی است که در جدول ۲ به تفکیک بیان شده است.(روحانی و ضیائی، ۱۳۹۳)؛(نجفی و طاهری،۱۳۹۴)؛(هادی،۱۳۸۶)؛(نصیری، ۱۳۹۴)؛(CLOVIS,& et al,1979)

با توجه به جدول ارزش حرارتی RDF از زباله پردازش نشده بیشتر ولی در کل نسبت به سوخت هایی همچون مازوت و گازوویبل بسیار پایین تر است اما این نکته باید در نظر گرفته شود که هر RDF تولید شده ویژگی های منحصر به فرد خود را داراست و صنعت تولید RDF درحال پیشرفت های چشم گیری در جهت افزایش ارزش حرارت کیفیت سوخت می-باشد، همچنین ضرورت استفاده از سوخت RDF در چند جهت امحاء زباله، تولید و استفاده از سوخت تجدید پذیر و اهداف زیست محیطی می‌باشد.(Trezek ,& et al,1979)؛(Ganesh,& et al,2013)؛(Sintu,2016)؛(Vatluru,)؛(Nutongkaew, & et al,2014)

جدول۲. مشخصات RDF و TDF و MSW تولید شده و مقایسه آن با دیگر سوخت‌های رایج

نوع سوخت	واحد	ارزش حرارتی	درصد رطوبت	درصد خاکستر(ASH)
RDF	(mJ/kg)	12.5-15	۱۵-۲۰	۲۲-۲۰
TDF	(mJ/kg)	31-35	۵-۱۰	۵
MSW	(mJ/kg)	10-12.5	۳۰-۴۰	۲۵-۳۵
زغال سنگ	(mJ/kg)	27-31	۳-۷	۷-۱۲
گاز طبیعی	(mJ /m3)1	34-36	بسیار ناچیز	بسیار ناچیز
مازوت	(mJ /l)2	40	۰/۵	۰/۴
گازوئیل	(mJ /l)3	38.5	۰/۳	۰/۰۱

همانطور که می‌دانیم RDF به هفت نوع مختلف تقسیم بندی می‌شود که هر نوع آن با توجه به ویژگی های فیزیکی و شیمایی در مکان و شرایط کاربرد خاص دارند لذا دانستن ویژگی های آن ضروری است که در جدول ۳ بیان شده.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳. جدول مشخصات انواع RDF تولیدی در نیروگاه های تولیدRDF

نوع RDF	RDF-۱	RDF-۲	RDF-۳	RDF-۴	RDF-۵	RDF-۶	RDF -۷
ابعاد محصول(mm)	-	٪۹۵<۱۰۰	٪۹۵<۳۸	٪۹۵<۲	-	-	-
درصد رطوبت	-	۱۵-۲۵	۱۲-۲۰	۱-۵	-	-	-
درصد خاکستر	-	۱۲-۲۰	۱۵-۲۰	۱۰-۲۰	-	-	-
ارزش حرارتی	-	-۱۰۴۴۰ ۱۲۷۶۰	-۱۳۹۲۰ ۱۱۶۰۰	-۱۷۴۰۰ ۱۵۰۸۰	-	-۳۴۸۰۰ ۲۳۲۰۰	KcaVm3 ۱۷۶۳-۴۴۰۰
چگالی	-	۴۸-۱۱۱	۳۲-۹۵	۳۹۶-۵۵۵	-		-
درصدRDF تولیدی	۱۰۰	۷۰-۸۰	۵۵-۶۵	-	-	-	-

۳- استانداردهای بین المللی برای RDF

بعد از تولید RDF مانند هر محصول دیگری به استاندارد مورد تأیید و همگانی برای این محصول نیاز داریم، تاکنون استاندارد جهانی برای این تکنولوژی تعریف نشده است؛ اما کشورهای مختلف برای RDF تولید داخل خود استاندارد و روش استاندارد سازی تعریف کرده اند که برای ایران نیز تقریبی از این استانداردها قابل تعریف و استفاده است.

انواع استانداردهای مورد استفاده برای WDF ، استاندارد بریتانیا برای SRF - BS EN 15359: 2011 و استاندارد انگلیسی برای سوختهای زیستی جامد - BS EN 14961-1: 2010 استاندارد اروپا (CEN 343) معیار کیفیت RDF ، استاندارد E887 – ASTM جهت تعیین میزان سیلیکا در RDF ، استاندارد E953 – ASTM جهت تعیین قابلیت ذوب خاکستر RDF، قانون 2000/EC/76 جهت دستورالعمل سوزاندن ضایعات، استاندارد کیفی اروپا: درصد وزنی Cd، Cl، Cu، Pb، سرب و قلع و Cl حتماً کمتر از ۱٪استاندارد ASTM-E856-83 سال ۲۰۰۲ RDF به ۷ دسته تقسیم می شود که در بخش‌های بعدی به آن اشاره خواهد شد؛ استاندارد کیفیت CEN/343 ANAs (Kumar,2016)در جدول ۴ یک نمونه استاندارد دستور العمل اتحادیه اروپا EC / ۷۶/۲۰۰۰ برای RDF بیان شده.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۴. دستور العمل اتحادیه اروپا ۷۶/۲۰۰۰ / EC.

مادهٔ مورد نظر	Limit value17.Blm Schv* (average per day)
نیتروژن اکسید	200 mg/m3
اکسید گوگرد	50 mg/m3
خاکستر	10 mg/m3
دی اکسید کربن	50 mg/m3
کربن	10 mg/m3
هیدوژن کلرید	10 mg/m3
فلزات سنگین	0.5 mg/m3
دی اکسین	0.1 ng teq/m3

ویژگی‌های سوخت RDF در سه معیار اصلی زیر قابلیت بررسی و تطابق با جدول استاندار را دارند(Bulow,2014).

۱- اقتصادی ۲- فنی ۳- زیست محیطی

۱- اقتصادی :

الف) ارزش حرارتی ب) محتوای زیست توده یا RDF ج) محتوی رطوبتی

۲- ویژگی فنی که عملکرد را تحت تاثیر قرار می دهد:

الف)کلر که سبب ایجاد خوردگی می شود (باید اول از همه حذف شود)؛

ب) محتوی خاکستر که تحت تأثیر دما قرار گرفته و ذوب می شود و عامل سفت شدن و رسوبات است؛

ج) محتوی توده که روی سطوح حمل و نقل و فضا و سطوح ورودی تأثیر گذار است.

۳- ویژگی های زیست محیطی: که انتشار گازهای آلوده کننده را در بر می گیرد:

الف)محتوای جیوه (Hg) ب) کادمیوم (cd) ج) سایر فلزات سنگین شرکت TAG

Archive of SID

www.SID.ir

استاندار انتشار مواد آلود کننده از دودکش نیروگاه حاصل از سوزاندن RDF

از نظر زیست محیطی با توجه به قوانین پروژه‌های توسعه پاک و قوانین پروتوکل محتوی بیوگرافی RDF با سوزاندن این سوخت جایگزین، بیش از ۱۰۰/۰۰۰ تن در سال کاهش انتشار Co_2 را به همراه خواهدداشت. در جداول زیرنمونه استاندارد های مختلف بیان شده. همانطور که بیان شد استاندارد های مختلفی در کشور های مختلف مد نظر است که جهت مقایسه در جدول۵ بیان شده.

جدول ۵. دستور العمل کشورهای مختلف برای میزان استاندارد عناصر مجاز موجود در RDF و کیفیت مورد قبول

	استاندارد RDF					
عنوان	ایتالیا(۱۹۹۸) mg/Mg	آلمان(۲۰۰۱) mg/Mg	اتحادیه اروپا	تایلند	استاندارد جهانی	کهریزک منطقه حسین آباد
چگالی	–	–	–	۸۸۰	۴۱۲- ۲۲۵	۱۱۵۰
رطوبت(درصد)	۲۵	–	۲۸-۷(برای RDF5) و ۲۸ (برای RDF2)	۴۷	۵۹,۵- ۲۸,۶	۴۸
گرد وغبار(درصد)	۲۰	–	۱۲	۵۹	۷۹,۹- ۳۶,۵	–
ارزش حرارتی (MJ/Kg)	۱۵	–	۱۸,۷	۲۹	۴۰,۴- ۲۰,۲	۱۰,۴
(kg/mg) M n	۴۰۰	۹۴	۲۰۰	۲۱۵,۲	۳۵۳- ۱۰۰	۳۹۹,۵
(kg/mg) Cr	۱۰۰	۱۲۶	۲۰۰	۸۷۰۵	۱۸۶- ۷۵,۵	۸۰,۸
(kg/mg) Cd	–	۰,۳۷	۱۰	۵,۵	۳۸- ۰,۹	۴,۱
(kg/mg) P b	۲۰۰	۸۳	۲۰۰	۴۷,۸	۱۲۷- ۱۳,۲	۳۵۰,۶
(kg/mg) Ni	۴۰	۲۰,۴	۲۰۰	۴۸,۵	۹۴- ۲۴,۲	۹۳,۷

www.SID.ir

۴- **بررسی اقتصادی تولید و استفاده از RDF**

قیمت تمام شده RDF بر اساس نیاز خرید و کیفیت سفارش داده شده قابل مذاکره است. المان‌های مورد بررسی به بخش های زیر تقسیم می‌شود:

- هزینه‌های تولید RDF شامل: هزینه زیرساخت‌های پردازش، در دسترس بودن سایت، جایگزین سوخت ارزان و موجود، هزینه سوزاندن و هزینه نوعی نیروگاه و هزینه تبدیل به انرژی و هزینه فروش آن، انرژی خارج شده، هزینه‌های حمل و نقل خاکستر اضافی، هزینه های تعمیر و نگهداری اضافی به دلیل افزایش خوردگی لوله دیگ بخار، نگهداری سیستم حمل و نقل کم مصرف هزینه‌ها (به طور بالقوه در سیستم های پنوماتیک بالا) و غیره می باشد. (Lahr, 2012) ؛(Engineer at Smart, 2017)؛(Corti,& et al,1979) ؛ (Corti,& et al,1999)
- البته نیاز است قیمت تمام شده RDF با روش‌های دیگر امحاء زباله مانند دفن آن نیز مقایسه شود.
- دوره بهره‌برداری: دوره بهره‌برداری از اهمیّت قابل توجهی برخوردار است؛ به این لحاظ که سرمایه گذاران و بهره برداران تمایل دارند دورهٔ بهره‌برداری، کوتاه بوده و امکان پذیر باشد.
- پیچیدگی اجرا و بهره‌برداری: پیچیدگی اجرا که شامل مراحل طراحی، تولید و نصب در ساختگاه می‌شود.
- ریسک‌های فنی موجود: ریسک‌های فنی موجود در هنگام بهره برداری یکی از نگرانی‌های همیشگی سرمایه‌گذاران است.
- واردات تکنولوژی و محصولات از خارج از کشور: چنان‌چه بتوان، کلیّهٔ تجهیزات و محصولات مورد نیاز پروژه را در بازار داخلی تهیه کرد (ساخت داخل) یک برتری برای گزینه‌ها محسوب خواهد شد، علاوه برآن، هنگام محاسبات، در نظر گرفتن هزینه‌های جابه‌جایی، سوزاندن، هزینه‌های محیط زیستی، تعمیر و نگه‌داری، بازار کربن و... ضروری است.

به طور کلی در محاسبات هزینه‌ها به طور تقریبی، ۵۰٪ سرمایه گذاری RDF معادل مربوط به فیلترهاست،هزینه اولیه راه اندازی سیستم RDF معادل ۱۰۲-۷۵ هزار دلار و هزینه نگهداری به ازای هر تن زباله معادل ۳۶ دلار هزینه ماشین آلات، تأسیسات و جداسازی معادل ۵ میلیارد تومان/kg هزینه CO2 معادل ۱۱/۹۲ ریال به ازای هر KW/h هزینه احداث سیستم با ورودی ۹۰۰ تن ۱۵ میلیارد تومان و هزینه معادل تولید ۱kg RDF ۵۰ _۴۰ هزار تومان و در مقایسه با سوخت‌های دیگر، به طور میانگین هزینه بیشتری دارد.

۵- **مقایسه موردی RDF با دیگر سوخت های در دسترس**

البته این مقایسه قیمت در واقع با قیمت تمام شده RDF معمولی به طور تقریبی است؛ این قیمت ممکن است با توجه به کیفیت-های مختلف RDF متفاوت باشد، برای مثال نوع d-RDF ، گرانترین نوع RDF است ولی حمل نقل و انتقال آن راحت تر است. در جدول ۶ یک مقایسه کلی بیان شده که البته قیمت ها هر روز متفاوت خواهد بود و فقط حالت مقایسه‌ای دارد

(Ganesh,& et al,2013)((Kara,& et al,2008).

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۶. قیمت تقریبی سوخت های رایج

ردیف	فرآورده	واحد	نوع مصرف	قیمت اول- ریال	قیمت دوم - ریال	توضیحات
۱	CNG	متر مکعب	حمل و نقل	۴۰۵۰	-----	به مبلغ CNGحق العمل ۴۰۰ ریال به ازای هر متر مکعب به جایگاه داران پرداخت می شود
۲	LPG	لیتر	حمل و نقل	۳۰۰	-----	-----
۳	سیلندر LPG ۱۱ کیلولتر	لیتر	خانوار	۱۰۰۰	-----	توزیع با کالابرگ از پایان دی ماه آغاز می شود
۴	بالک و LPG سیلندرهای بیش از ۱۱ کیلوگرم	لیتر	مصارف غیر خانگی، صنایع و اصناف	۳۰۰۰	-----	هزینه های توزیع توسط سازمان حمایت تعیین می شود
۵	بنزین موتور	لیتر	حمل و نقل	۴۰۰۰	۷۰۰۰	تعیین سهمیه توسط ستاد مدیریت حمل و نقل سوخت
۶	بنزین سوپر	لیتر	حمل و نقل	۵۰۰۰	۸۰۰۰	تعیین سهمیه توسط ستاد مدیریت حمل و نقل سوخت
۷	بنزین موتور	لیتر	خودروهای دولتی و نیروهای مسلح	۷۰۰۰	------	---------
۸	بنزین سوپر	لیتر	خودروهای دولتی و نیروهای مسلح	۸۰۰۰	----	-------
۹	بنزین موتور	لیتر	حمل و نقل دریایی، شناور صیادی و سفاری	۴۰۰۰	-----	تعیین سهمیه طبق روال جاری
۱۰	بنزین موتور	لیتر	حمل و نقل دریایی، شناور تفریحی و باری	۷۰۰۰	----	بر اساس مالکیت، پرچم ایرانی، تردد در آبهای داخلی

www.SID.ir

مقایسه RDF و سوزاندن چوب: برای کارخانه‌های برنج و دیگر صنایع که نیاز به آتش گرم برای خشک کردن دارند استفاده از چوب توصیه می‌شود. هزینه RDF برای یک تن تنها ۳۱$ است.اما هزینه آتش سوزی چوب در حدود ۲۵۷ $ است.

مقایسه RDF و نفت: هزینه یک تن نفت حدود ۷۶۴$ است، اما یک تن RDF تنها حدود ۳۱$ است که بسیار کمتر از نفت می باشد و سودآور هم‌چنین تزریق RDF به میزان کمتری گازهای خاکستر و گازوئیل را تولید می کند.

مقایسه RDF و ذغال سنگ: مقدار ارزش حرارتی RDF در صورتی که رطوبت آن کم‌تر و ارزش حرارتی آن بیشتر از ذغال سنگ باشد با وجود قیمت گران‌تر بودن، ارزش جایگزینی دارد و در غیر این صورت استفاده از ذغال سنگ به ویژه در کشورهای دارای منبع سوخت فسیلی بیشتر توصیه می‌شود که البته با در نظر گرفتن بازار کربن و مباحث محیط زیستی این نتیجه معکوس خواهد شد. (Nutongkaew & et al,2014)

۶- مشلات بازار ناشی از مشکلات اقتصادی تولید و استفاده از RDF

مخالفت جامعه، عدم اطمینان به سیاست های موجود، مشکل عرضهٔ مواد اولیّه، استفاده از تکنولوژی کمتر ثابت شده و محدود فنی، کمبود نیروی متخصص و گران بودن نیروی انسانی، وابستگی به بازارهای صادراتی که محدودیت در کیفیت را ایجاد می‌کند. (Kara,& et al,2008) با این حال محصولات و فرآیند تولید RDF یک فعالیت اقتصادی مناسب و مستدام به شمار می‌آید.

یکی از موارد مهم استفاده از RDF صنعت سیمان می‌باشد لذا بررسی اقتصادی آن واجب است، با توجه به جداول ۷ که مقایسه ای بین قیمت های تمام شده می‌باشد مشاهده می‌شود که هنوز RDF تولیدی از نظر قیمت تمام شده به صرفه نیست اما با در نظر گرفتن مزایای دیگر و هزینه های زیست محیطی و لزوم استفاده از سوخت های پاک مقرون به صرفه خواهد شد.

جدول۷. مقایسه اقتصادی درآمد حاصل از صرفه جویی سوخت در صنایع سیمان(۸,۴*۱۰۶/kcal)

نوع سوخت	واحد	قیمت داخل ایران(ریال)	مقدار مصرف برای تولید ۱تن کلینکر(بر حسب واحد)	هزینه انرژی برای تولید ۱تن کلینکر(ریال)
RDF	Kg	۵۵۰-۶۰۰	۲۶۰	۱۴۸۵۰۰
TDF	kg	۵۰۰-۵۵۰	۱۱۴	۵۹۸۵۰
گاز طبیعی	M3	۷۰۰	۱۰۴	۷۲۸۰۰
مازوت	L	۷۰۰	۸۹	۶۲۳۰۰

Archive of SID
www.SID.ir

۷- بررسی محیط زیستی تولید و استفاده از RDF

اثرات محیط زیستی تولید و استفاده از RDF از جنبه های مختلف قابل بررسی است؛ اولین اثر استفاده از RDF بازیابی کامل منابع است به این معنی که پسماند به طور کامل بازیابی و تبدیل به محصولات جدید شده و به چرخه مصرف بازگردانده می‌شود و این امر، عامل استفاده کامل از پتانسیل تولید انرژی زباله و باز تولید یک منبع طبیعی است و مانع از مصرف و کاهش منابع اولیه انرژی می شود. (Kara,& et al,2008)

تاثیرات منفی محیط زیستی استفاده از RDF بر فاکتورهای آب‌های سطحی، آب‌های زیر زمینی، خاک، هوا، پوشش گیاهی و حیاط وحش نسبت به سوخت‌های فسیلی و روش های دیگر امحاء زباله بسیار ناچیز است هم‌چنین زمین مورد نیاز جهت دفن نیز بسیار کمتر خواهد شد. سوزاندن RDF مانند تمام سوخت های دیگر باعث تولید محصولات جانبی نظیر دود(که میزان و ترکیبات دود با توجه نوع و ترکیبات RDF و روش سوزاندن آن متفاوت است) می شود(Corti,& et al,1979) . یک نمونه تقریبی از ترکیبات دود خروجی حاصل از سوزاندن RDF در جدول ۸ بیان شده است.

جدول۸. آنالیز گازهای خروجی از بخش پیرولیزراکتور بستر حرکت

RDF(kg/h)	H2	O2	N2	CH4	CO	CO2	C2H4	C2H6
۳	۴,۷۷	۱,۱۲	۶۷,۵۴	۳,۴۶	۹,۰۱	۹,۵۵	۴,۲۹	۰,۲۵

در ارتباط با بحث LCA و انتشار گازهای گلخانه ای از تولید RDF و به خصوص RDF_5 که معمولاً با روش استاندارد بین المللی LCA اندازه‌گیری می شود، به نسبت تولید سوخت های دیگر بسیا ر کم تر است و بالا ترین انتشار گاز های گلخانه ای فقط از پلاستیک RDF است؛ هم‌چنین در طرح جامع مکانیسم توسعه پاک (CDM) قابل بازگشت می‌باشد و پتانسیل کاهش انتشار (ER) آن مورد توجه و قابل احتساب است؛ با توجه به قوانین توسعه پاک سوزاندن RDF به جای سوخت های خیلی سالانه و انتشار ۱۰۰,۰۰۰تن CO2 جلوگیری میکند. مقدار انتشار کربن (Co2) سوخت RDF ۰/۱۴ kg/kwh و در مقایسه با نیروگاه‌ها با سوخت فسیلی که ۶۰kg/kwh است، بسیار کمتر می‌باشد. (نصیری، ۱۳۹۴)

۸- مشکلات RDF

با اینکه RDF نوعی زیست توده است و به نسبت سوخت های فسیلی دیگر پاکمی باشد اما مشکلاتی هم دارد:

RDF معمولاً دارای مقادیر زیادی کلر می‌باشد که در طی واکنش سوختن و ترکیب با هیدروژن آزاد به کلرید هیدروژن (HCl) تبدیل می شود و همان‌طور که شناخته شده است، در بسیاری از شرایط HCl می‌تواند اثر خوردگی بر روی سطوح داخلی مشعل و بخش‌های دیگ بخار، به خصوص لوله های دیگ بخار داشته باشد و حضور ذرات کوچک فلز و ذرات شیشه ای (<۰,۱۲۵ سانتیمتر) در RDF می‌تواند مشکلات در سیستم احتراق ایجاد کند و حذف این ذرات کوچک در RDF یک بسیار دشوار است. به علاوه تشکیل دی اکسید سیلیکون و رسوبات اکسید فلزی روی سطوح انتقال حرارت دیگ در پایان کار اتفاق می‌افتد (احتراق MSW نیز این مشکل را دارد) که فساد حاصل می‌تواند منجر به از دست رفتن ظرفیت انتقال حرارت در سطوح شود.

Archive of SID
www.SID.ir

در موارد شدید، تخریب می تواند به اندازهای وسیع باشد که نیاز به خاموش شدن و تعمیر مجدد دیگهای باشد (غیرقابل برنامه-ریزی)؛ نکته قابل توجه این است که پیشرفت‌های اخیر در متالورژی و پوشش های سطحی برای لوله های بویلر باعث کاهش قابل توجه خوردگی های آتش سوزی در دیگهای بخار زدایی شده است. گاهی ممکن است خاکستر حاصل از احتراق RDF ۴ تا ۶ برابر احتراق زغال سنگ باشد.(Kumar,2016)

۹- **روش های پاکسازی دود کارخانه های سوزاننده RDF**

معمولاً برای تصفیه و مدیریت هر نوع محصول احتراق RDF روش های متفاوتی وجود دارد؛ برای مثال از روش FGD برای پاک سازی SOx های ناشی از احتراق و از روش‌های ویژه‌ای برای کنترل غبار یا NOx استفاده می شود که بسته به تجهیزات آن کارخانه دارد.(Bulow,2014) .

۱- استفاده از محلول اوره اولیّه؛

۲- در یک فرآیند غیرکاتالیزوری انتخابی، اکسید نیتروژن خطرناک به نیتروژن عادی که خطری ندارد، تبدیل می شود ⇦ فرآیند (SNCR) ؛

۳- از سیلیکون برای جدا سازی گرد و غبار مواد خطرناک از گاز دودکش استفاده می کنند؛

۴- از کربنات سدیم برای جداسازی اجزاء اسیدی مثل SO2 و NOX HCL و ذغال چوب مغال استفاده می کنند؛

۵- از یک فیلتر پارچه ای جهت واکنش FGT جهت پاکسازی کامل نیز استفاده می شود.

نیروگاه RDF شرکت SPSA ← نیروگاه RDF دارد.

۶- حذف اکسیدهای نیتروژن :جهت حذف اکسیدهای نیتروژن عمدتاً دو فرآیند مورد توجه قرار می‌گیرند:

- فرآیند Selective Catalytic Reduction (SCR)
- فرآیند Selective Non- Catalytic Reduction (SNCR)

۷- حذف گازهای اسیدی : در سامانه زباله‌سوزی پیشنهادی، سه فرآیند اصلی برای حذف ترکیبات اسیدی از جریان گاز خروجی از محفظه احتراق مورد بررسی قرار می‌گیرند:

- فرایند جذب خشک (Dry Absorption Process- DAP)
- فرآیند جذب نیمه‌خشک (Semi Dry Absorption Process- SDAP)
- فرآیند اسکرابینگ تر (Wet Scrubbing Process)

Archive of SID
www.SID.ir

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب این مقاله در بخش اول، با بررسی و آنالیز ارزش حرارتی RDF مشخص شد که ارزش حرارتی آن نباید از ۱۸ MJ/Kg کمتر باشد و با توجه به جداول ارزش حرارتیRDF از نوع تایر مقدار MJ/Kg ۳۵ می باشد اما از طرفی با مشکل آلودگی محیط زیستی آن مواجه هستیم. معمولاً RDF های تولیدی ارزش حرارتی بین ۱۸ تا ۳۵ MJ/Kg دارند که به طور میانگین ۲۰,۷ MJ/Kg تخمین زده می‌شود،که نسبت به ارزش حرارتی و قیمت تمام شده به صرفه نمی باشد.اما در مقایسه با زغال سنگ با ارزش حرارتی ۱۶,۲۹MJ/Kg و با توجه به میزان و هزینه های محیط زیستی زغال سنگ، RDF قابلیت جایگزینی با این سوخت است. اما در مقایسه با مازوت و گازوئیل به علت چگالی بالای انرژی مقرون به صرفه نمی‌باشد مگر این‌که هزینه‌های محیط زیستی را افزایش دهیم یا قیمت تمام شدهٔ RDF بسیار کاهش یابد.

در ارتباط با ویژگی های تولیدی RDF مشاهده می‌شود که مشخصات و المان‌های مختلفی روی یکدیگر تاثیر مستقیم دارند. برای مثال ابعاد و درصد رطوبت سوخت تاثیر مستقیم روی ارزش حرارتی آن دارد همچنین چگالی سوخت تولیدی و همگن بودن آن بسیار تأثیرگذار و حائز اهمیت است. چنان‌چه مشاهده می شود هرچه ابعاد سوخت کوچکتر و درصد رطوبت آن کمتر باشد، ارزش حرارتی بیشتری خواهد داشت. اما درصد خاکستر ارتباط مستقیم با ترکیبات اولیه تولید دارد و عامل پایین آمدن کیفیت سوخت می‌باشد؛ به همین جهت در پروسه تولید سعی بر آن است تا موادی که ایجاد خاکستر می‌کنند حذف شوند.

در ارتباط با استانداردهای موجود برای RDF معمولاً هر کشور با توجه به نیاز و میزان سخت‌گیری، استاندارد منحصر به فرد خودش را برای RDF تعیین می‌کند. برای هر یک از ترکیبات هم، گاهی استاندارد خاص در نظر گرفته می شود که با توجه به میزان اهمیت آن ماده تعیین می شود. هم‌چنین از نظر محیط زیستی، در نظر گرفتن استاندارد برای حداکثر میزان انتشار گازهای خطرناک نیز حائز اهمیت می باشد.استاندارد در سه بخش:

۱. استاندارد در کیفیت سوخت؛

۲. استاندارد در میزان مجاز عناصر؛

۳. استاندارد در میزان مواد انتشار یافته یا باقی مانده بعد از سوختن بررسی می شود.

به صرفه بودن تولید و استفاده از RDF به شدت به قیمت تمام شده آن وابسته است.البته لازم است هزینه های محیط زیستی و هزینه های کاهش یافته امحاء زباله از میزان قیمت تمام شده کسر گردد که این عامل اصلی اقتصادی شدن تولید و مصرف RDF می باشد؛ اما به طور کلی استفاده از یک سوخت با توجه به پتانسیل سنجی محل مصرف از منظرهای مختلف و از منظر مقایسه با سوخت های رقیب بسیار متغیر است. در کشور ایران با وجود نفت ارزان و فراوان شاید تولیدRDF به اندازه اروپا اقتصادی نباشد. همچنین سوزاندن و استفاده از انرژی RDF نیاز به تجهیزات و تمهیدات خاصی از قبیل انواع فیلترهای پیشرفته می باشد که متاسفانه کشور ما هنوز در این زمینه ضعیف است.

به طور کلی از دیدگاه انرژی و ارزش حرارتی، استفاده از RDF به صرفه نمی باشد؛ اما با در نظر گرفتن دو مسئلهٔ مهم از جمله: فرآیند مدیریت پسماند و معضل انتشار گازهای گلخانه ای و در دسترس نبودن سوخت‌های فسیلی در بعضی از مناطق جهان و رو به اتمام بودن این سوخت ها، تولید و استفاده از RDF به شدت اهمیّت پیدا می‌کند.

Archive of SID
www.SID.ir

منابع

۱- روحانی، سعید و ضیائی، عماد(۱۳۹۳) بررسی استفاده از سوخت مشتق شده پسماند RDF شهر رشت به عنوان سوخت جایگزین در کارخانه سیمان لوشان.

۲- نجفی، آرش وطاهری، سعید(۱۳۹۴) مروری کوتاه بر انواع سوخت قابل استفاده در صنعت سیمان ، دانشگاه محقق اردبیلی اردبیل.

۳- هادی، فاطمه(۱۳۸۶) روش های تبدیل پسماند به RDF. , تهران، سازمان شهرداریها و دهداریهای کشور، سازمان حفاظت محیط زیست، https://www.civilica.com/Paper-NCWM03-NCWM03_019.html

۴- نصیری ،جواد(۱۳۹۴) صرفه جویی در مصرف انرژی و کاهش دفن پسماندهای جامد شهری با الزامات فنی، اقتصادی و قانونی، جلوگیری از فرصت سوزی ، RDF تولید،مدیر دفتر انرژی زیست توده، سازمان انرژیهای نو ایران.

5- Corti, A., & Lombardi, L. (2001). Life cycle assessment approach for refuse derived fuel (RDF) systems for Tuscany. WIT Transactions on Biomedicine and Health, 5.

6- Lahr, U. (2012)Basics of waste management. *Germany: Techniche Universität Darmstadt*. January 2012.

7- Refuse Derived Fuel - RDF: An inefficiently tapped opportunity in India, Published on February 16, 2017, Energy Engineer at Smart Joules Pvt. Ltd

8- Chang, N. B., Wang, H. P., Huang, W. L., & Lin, K. S. (1999). The assessment of reuse potential for municipal solid waste and refuse-derived fuel incineration ashes. *Resources, Conservation and Recycling*, *25*(3-4), 255-270.

9- Trezek, G. J., Diaz, L. F., Savage, G. M., & White, R. (1979). *Prediction of the impact of screening on refuse-derived fuel quality. Final report* (No. EPRI-FP-1249). Cal Recovery Systems, Inc., Richmond, CA (USA); Midwest Research Inst., Kansas City, MO (USA).

10-Kara, M. U. S. T. A. F. A., Günay, E. S. İ. N., Tabak, Y. A. S. E. M. İ. N., Yıldız, S., & Enç, V. O. L. K. A. N. (2008, August). The usage of refuse derived fuel from urban solid waste in cement industry as an alternative fuel. In *The 6th IASME/WSEAS International Conference on Innovation Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment (HTE'08)* (pp. 20-22).

11-Ganesh, T., Vignesh, P., & Kumar, G. A. (2013). Refuse Derived Fuel To Electricity. *Carbon*, *35*, 40-0.

12-ENERGY-WASTE LIFE09/ENV/GR/00307 : ENERGY EXPLOITATION OF NON-RECYCLABLE URBAN WASTE IN A SUSTAINABLE WASTE-TO-ENERGY MARKET REFUSE DERIVED FUEL ANALYSES

Archive of SID
www.SID.ir

13-DEVELOPMENT OF REFUSE DERIVER FUEL (RDF) PELLETS AND IMPLICATION FOR THE LIME INDUSTRE Oscar O. Ohlsson P.E. ،Energy System Division Argonne National Laboratory. 9700 South Cass

14-Integrated Environmental Solutions brought by INTERWASTE By: Sintu Mhlonyane,27 July 2016, Johannesburg

15-Status Paper on Utilisation of Refuse Derived Fuel (RDF) in India, Dr. (Mrs.) Regina Dube, Senior Advisor & Head,Sustainable Urban Habitat ,Mrs. Vaishali Nandan, Senior Advisor, Sustainable Urban Habitat , Ms. Bineesha P., Advisor, Ms. Shweta Dua, Junior Project Advisor, Sustainable Urban Habitat

16-ALS Environmental Ltd., Torrington Avenue, Coventry, CV4 9GU, U.K.

17-CENTRAL ELECTRICITY REGULATORY COMMISSION, NEW DELHI, Date : 07th October , 2015Coram: Shri Gireesh B. Pradhan, ChairpersonShri A. K. Singhal, MemberShri A. S. Bakshi, Member,Dr. M.K.Iyer , Member

18-Gallardo, A., Carlos, M., Bovea, M. D., Colomer, F. J., & Albarrán, F. (2014). Analysis of refuse-derived fuel from the municipal solid waste reject fraction and its compliance with quality standards. *Journal of cleaner production*, *83*, 118-125.

19-REFUSE DERIVED FUEL: FUTURE ENERGY SOURCE IN INDIA S. Sriram, Department of Mechanical Engineering, Ramachandra college of Engineering, Vatluru, W.G.Dt Andhra Pradesh, India

20-Refuse Derived Fuel – Case Study of Waste as Renewable Resource [1]S.S.Chen, [1]Isnazunita Ismail, [2]Abdul Nasir Adnan, [2]Puvaneswari Ramasamy [1]Environment & Bioprocess Technology Centre, SIRIM Berhad, Shah Alam, Malaysia, [2]Core Competencies Sdn. Bhd., Bandar Sri Damansara, Kuala Lumpur, Malaysia,

21-Standard, A. S. T. M. (2004). Standard test method for gross calorifc value of refuse-derived fuel by the bomb calorimeter. *Annual Book of ASTM Standards ASTM International*, *105*.

22-HEATING VALUE OF REFUSE DERIVED FUEL STANLEY T. MRUS Burns and Roe Industrial Services Corp. Paramus, N.J. CLOVIS A. PRENDERGAST , DSI/Resource Systems Group, Inc. Boston, Massachusetts

23-d-RDF (Refused Derived Fuel) for SMART-CITIES of INDIA Dr. Dharmendra C. Kothari Dept. of Chemical Engg. & Technology, Saint GADAGE Baba University Babulgaon (Jh.), AKOLA, Amravati Division Prof. Prashant V. Thorat (H.O.D.) Dept. of Chemical Engg. & Technology, Saint GADAGE Baba University Babulgaon (Jh.), AKOLA, Amravati Division

24-Kumar, S. S. S. (2006). *A Feasibility Study on Use of Alternative Fuels at Construction Site Activities* (Doctoral dissertation, University of Strathclyde).

25-Standard for the production and use of Refuse Derived FuelFor further information please contact: Information Officer Environment Protection Authority GPO Box 2607 Adelaide SA 5001 February 2010

26-Bulow, C. (2014). Small decentralised thermal power stations for refuse-derived fuel. *WIT Transactions on State-of-the-art in Science and Engineering*, *84*, 77-81.

Archive of SID

www.SID.ir

27-Market summary – refuse-derived fuel Sustainability Victoria Level 28, Urban Workshop, 50 Lonsdale Street, Melbourne Published by Sustainability Victoria. Market summary – refuse-derived fuel © Sustainability Victoria, September 2014 IWM030.

28-Gendebien, A., Leavens, A., Blackmore, K., Godley, A., Lewin, K., & Whiting, K. J. (2003). European Commission-Directorate General Environment: Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspective.

29-Chen, W. S., Chang, F. C., Shen, Y. H., & Tsai, M. S. (2011). The characteristics of organic sludge/sawdust derived fuel. Bioresource technology, 102(9), 5406-5410.

30-Refuse Derived Fuel – Case Study of Waste as Renewable Resource , [1]S.S.Chen, [1]Isnazunita Ismail, [2]Abdul Nasir Adnan, [2]Puvaneswari Ramasamy

31-Nzioka, A. M., Kim, M. G., Hwang, H. U., Yan, C. Z., Ved, V. E., Meshalkin, V. P., & Kim, Y. J. (2016). Experimental investigation on the drying of loosely-packed and heterogeneous municipal solid waste. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, *50*(4), 414-421.

32-Cleary, J. (2009). Life cycle assessments of municipal solid waste management systems: A comparative analysis of selected peer-reviewed literature. Environment international, 35(8), 1256-1266.

33-Chen, X. (2012). Life Cycle Assessment (LCA) of Five Municipal Solid Waste Management Systems (MSWMS): A Case Study of Nanjing, China.

34-Pohl, M., Beckmann, M., & Gebauer, K. (2008, March). Characterisation of refuse derived fuels in view of the fuel technical properties. In *The 8th European Conference on Industrial Furnaces and Boilers (INFUB-8)* (Vol. 25, No. 28.03).

35-Kothari, D. C., & HOD, P. V. T. (2014). d-RDF (Refused Derived Fuel) for SMART-CITIES of INDIA. *International Journal of Advanced Research in Chemical Science*, *1*, 14-21.

36-Rising, B. W., & Allen, J. M. (1985). *Emissions assessment for refuse-derived fuel combustion. Project report, February 1979-October 1980* (No. PB-86-111218/XAB). Battelle Columbus Labs., OH (USA).

37-Nutongkaew, P., Waewsak, J., Chaichana, T., & Gagnon, Y. (2014). Greenhouse gases emission of refuse derived fuel-5 production from municipal waste and palm kernel. *Energy Procedia*, *52*, 362-370.

38-Nutongkaew, P., Waewsak, J., Chaichana, T., & Gagnon, Y. (2014). Greenhouse gases emission of refuse derived fuel-5 production from municipal waste and palm kernel. *Energy Procedia*, *52*, 362-370.

39-http://infohouse.p2ric.org/ref/11/10516/refuse.html

Archive of SID
www.SID.ir

40-http://www.recyclingwasteworld.co.uk/in-depth-article/is-it-the-end-for-refuse-derived-fuel-discuss/71125/
41--WRAP – A CLASSIFICATION SCHEME TO DEFINE THE QUALITY OF WASTE DERIVED FUELS – October 2012 BSI 2007, PD CEN/TR 15508: 2006 – Key properties on solid recovered fuels to beused for establishing a classification system, London 2006.

Archive of SID

www.SID.ir

اولین کنفرانس بین المللی مطالعات بین رشته ای در مدیریت و مهندسی
۲۳ اسفند ۱۳۹۷ - دانشگاه تهران
1st International Conference Interdisciplinary Studies in Management and Engineering
14 March 2019 - University Of Tehran
ISC
کد اختصاصی 97181-23104
با مجوز شماره ۱۶/۷۶۰۷۷
وزارت علوم تحقیقات و فناوری

(Economic and Environmental Comparison of Utilization of Waste-Derived Fuels (RDF) and Common fossil fuels for energy production)

Saba Nassiri

Bachelor of Mechanical Biosystems, Tehran University, Iran
saba.nasiri@ut.ac.ir

Mohammad Aboonajmi

Dept of Agrotechnology, Aburaihan Campus, University of Tehran, Iran

abonajmi@ut.ac.ir

Nastaran Alizade

Bachelor of Mechanical Biosystems, Tehran University, Iran
N_alizade@ut.ac.ir

Abstract

Today, due to the increase in the Earth's population, the desire for urbanization and consumerism, the amount of waste production has increased, and this issue as well as various methods of disposing of waste in old ways, such as the dumping of various types of waste in the fields of concern There are a number of places such as scarcity, pollution, immovable landfills and a huge radius of landfill, and it is necessary to consider new methods for disposing of municipal waste and waste, especially in big cities. Another challenge for today's modern society is the lack of energy and the fossil fuels and the environmental pollution problems caused by burning them, which increases their use of renewable energy.

Therefore, the best way to achieve the common goal of energy production and waste disposal is to generate energy from waste, which is carried out using various techniques such as anaerobic digestion, gas application, etc. One method The energy generated from the waste is converted into high-thermal solid fuel, which is briefly referred to as RDF (refuse-derived-fuel), and renewable fuel can be used in various industries and power plants.

In this paper, the components of this fuel and the hazardous materials present, its thermal value are considered with respect to the components and the raw material produced, on the other hand, the amount of pollutants and emissions released and the cost is very important, too The RDF has also been compared to other economical, environmental and hazardous materials and pollutants with other fuels.

Keywords: RDF, Urban Solid Waste (MSW), Fossil Fuels, Environment, Economy, RDF Analysis

Archive of SID
www.SID.ir