# روش‌های تبدیل پسماند به RDF

فاطمه هادی

چکیده

در طی سالهای ۱۹۸۰ ۱۹۷۰ به دلیل افزایش قیمت نفت تصمیم به جایگزینی این سوخت با منابع جدید انرژی گرفته شد. در این میان زباله های شهری(Urban Wastes) به عنوان یک منبع بالقوه شناسایی گردید. درصد زیادی از زباله ها را اجزای قابل احتراق تشکیل می دهد که می‌توان از آنها برای تولید انرژی گرمایی استفاده کرد. در عین حال درصدی بالایی از اجزای قابل احتراق در زباله های جامد شهری((Municipal solid waste(MSW زیست تجزیه پذیر هستند و می توانند به سوختهای گازی تبدیل گردند، و از این سوختها برای تولید انرژی گرمایی استفاده کرد.

به طور کلی جداسازی اجزای قابل احتراق از MSW و تبدیل آنها به انرژی با استفاده از روش های پیش فراورش (Front-end) و روش های تبدیلی(Back-end) انجام می شود. اجزای قابل احتراق جدا شده از MSW تحت عنوان Refuse-derived fuel (RDF) شناخته می شوند. این اجزا بیشتر شامل کاغذ وپلاستیک است.

در قسمت پیش فراورش بیشتر اجزای قابل احتراق را به روش های مکانیکی یا دستی یا تلفیقی از دو روش از هم جدا می کنند. مهمترین موضوع در این بخش جداسازی ترکیبات آلی با مواد قابل احتراق از مواد غیر قابل احتراق در MSW است. خروجی این قسمت خوراک قسمت بعد (Back-end) می شود. در این قسمت اجزای قابل احتراق جدا شده با استفاده از تکنیکهای حرارتی یا بایولوژیک تبدیل به سوخت یا انرژی گرمایی می گردند.

**واژگان کلیدی:** پسماند، RDF، احتراق، زباله های شهری، پسماند های صنعتی

## ۱ - مقدمه

انرژی می‌تواند به طرق مختلف از MSW استخراج گردد. شماتیکی از این روش ها در شکل شماره ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که ازشکل واضح است بازیافت انرژی شامل فرایندهای پیش فراورش و فرایندهای تبدیلی است.

با استفاده از روش های پیش فراورش که شامل فرایندهای زیر است، می توان MSW را به RDF تبدیل کرد

- جداسازی در مبدأ
- جداسازی مکانیکی و دسته بندی
- کاهش اندازه (خرد کردن،چیپ کردن و آسیاب کردن)
- جداسازی و غربال
- اختلاط
- خشک کردن و دانه بندی و بسته بندی و ذخیره سازی

غربال گری به منظور جداسازی اجزای قابل بازیافت مثل شیشه و فلزات و نیز جداسازی اجزای قابل فساد که دارای درصد زیادی رطوبت هستند، انجام می‌گیرد. مواد آلی مرطوب می تواند تحت فرایندهای تکمیل، مثل کمپوست قرار گیرد و به عنوان تقویت کننده برای خاک مورد استفاده قرار گیرد. اجزای درشت حاصل از غربال گری به خرد کن برگشت داده شده و اجزا با اندازه متوسط به قسمت خشک کن و دانه بندی برای تولید RDF با ظرفیت حرارتی بالا فرستاده می‌شوند. شماتیکی از این روش ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

در بخش بعد که روش های تبدیلی را شامل می‌شود از روش های حرارتی مثل سوزاندن مستقیم، پیرولیز و Gasification و ... استفاده می‌شود. سوزاندن مستقیم، پیرولیز و Gasification دارای مزایای زیادی از جمله کاهش قابل توجه حجم پسماندها و بازیافت انرژی، نسبت به Landfill هستند. همچنین آلودگی‌ها و مواد آلوده کننده سمی که در روش های پیرولیز و Gasification تولید می‌شود نسبت به سوزاندن مستقیم بسیار کمتر است.

مطالعـات زیادی تاکنون در ارتباط با Gasification و پیرولیز روی RDF انجام گرفته اسـت. مطالعات نشـان داده که می توان با بکار گیری درسـت روش های فوق گاز سـنتز با ارزش حرارتی بالا و درصد کمی مواد سـمی تولید کرد که می توان این مواد را نیز به راحتی از گاز سـنتز جدا کرد [ ۳،۲،۱ ]

به طـور کلی از روش های زیر بـرای تبدیل MSW وRDF به انرژی استفاده می شود.

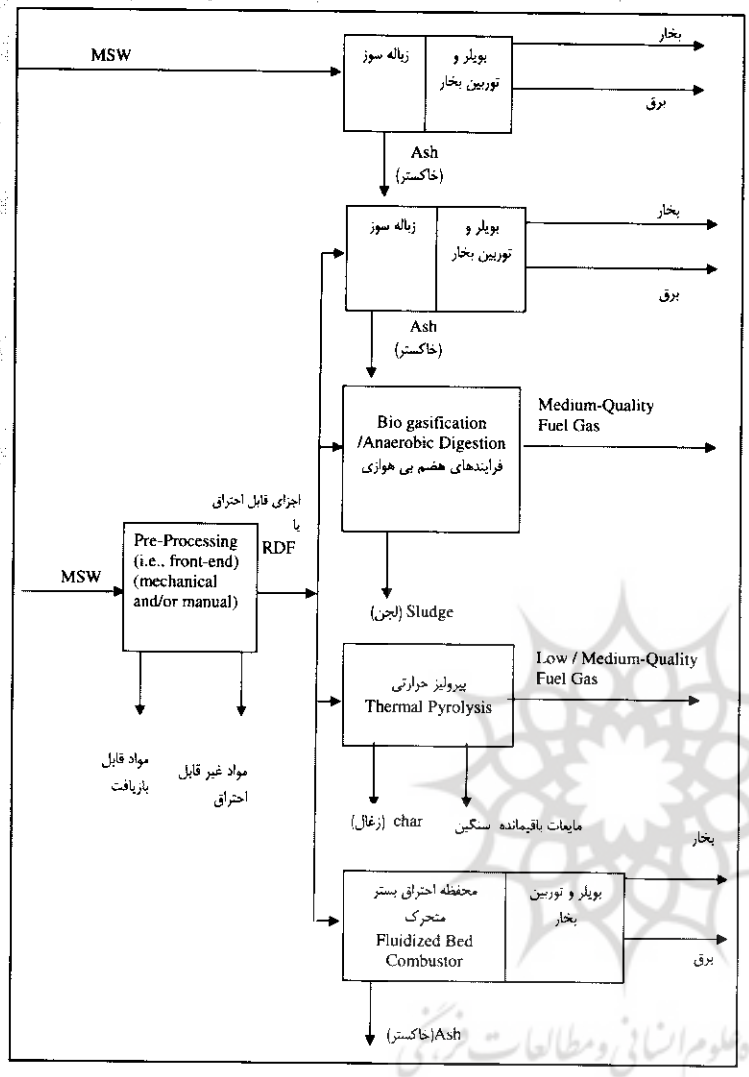
- محفظه احتراق بستر متحرک (Fluidized bed combustor )
- Gasification
- پیرولیز
- ترکیب با زغال سنگ در بویلرهای تولید بخار
- سوزاندن در کوره های سیمان

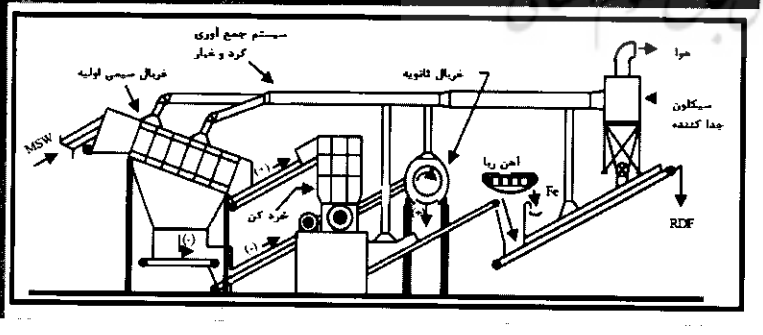
## ۲- مشخصات و کیفیت سوختهای تولید شده

به طور کلی ارزش یک سوخت با مقدار انرژی یا گرمای تولید شده توسط آن سوخت سنجیده می‌شود. عناصر اصلی که تولید گرما می‌کنند نیز شـامل کربن و هیدروژن است. به عبارت دیگر ارزش سوختی پسماند به طور مستقیم با میزان مواد قابـل احتراق در آن و به طور معکوس با مقدار رطوبت موجود در آن بسـتگی دارد. به همین دلیل قبل از سوزاندن مسـتقیم یا در هنگام تولیدRDF، باید مواد فسـاد پذیر که درصد بالایی از رطوبت را دارا هستند از پسماند جدا یا خشک شوند.

RDF را بـا کیفیت‌هـای متفـاوت بسـته بـه نیـاز بـازار می‌تـوان تولید کرد. مشـخصات RDF تولید شـده و مقایسـه آن بـا MSW و زغـال سـنگ در جـدول شـماره۱ آورده شده اسـت. این مشـخصات برای RDF کـه در کشـورهای صنعتـی تولید می‌شـود صادق اسـت. بـرای کشـورهای در حـال توسـعه بـه ایـن دلیـل که، زبـا له ها دارای رطوبت زیادی هسـتند و فرایند های پیش فـراورش به خوبی انجام نمی گیـرد، RDF تولیدی دارای ظرفیـت حرارتی کمی می‌باشـد. مشـخصات MSW در کشـورهای مختلف نیز در جدول شـماره۲ آورده شده است. همان‌طور که مشخص اسـت به دلیل جدا سازی درست در مبدأ درصد مواد قابل فسـاد که دارای درصد زیادی رطوبت

**شکل شماره ۱- روش های بازیافت انرژی از زباله**



جدول شماره ۱- مشخصات FDR تولید شده و مقایسه آن با WSM و زغال سنگ

| Location | Putrescibles | Paper | Metals | Glass | Plastics, Rubber, Leather | Textiles | Ceramics, Dust, Stones |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bangalore, India | 75.2 | 1.5 | 0.1 | 0.2 | 0.9 | 3.1 | 19.0 |
| Manila, Philippines | 45.5 | 14.5 | 4.9 | 2.7 | 8.6 | 1.3 | 27.5 |
| Asunción, Paraguay | 60.8 | 12.2 | 2.3 | 4.6 | 4.4 | 2.5 | 13.2 |
| Seoul, Korea | 22.3 | 16.2 | 4.1 | 10.6 | 9.6 | 3.8 | 33.4 |
| Vienna, Austria | 23.3 | 33.6 | 3.7 | 10.4 | 7.0 | 3.1 | 18.9 |
| Mexico City, Mexico | 59.8 | 11.9 | 1.1 | 3.3 | 3.5 | 0.4 | 20.0 |
| Paris, France | 16.3 | 40.9 | 3.2 | 9.4 | 8.4 | 4.4 | 17.4 |
| Australia | 23.6 | 39.1 | 6.6 | 10.2 | 9.9 | | 9.0 |
| Sunnyvale, California, USA | 39.4 | 40.8 | 3.5 | 4.4 | 9.6 | 1.0 | 1.3 |
| Bexar County, Texas, USA | 43.8 | 34.0 | 4.3 | 5.5 | 7.5 | 2.0 | 2.9 |

جدول شماره ۲ - مشخصات MSW در کشورهای مختلف(Wet wt%)

| نوع سوخت | ارزش حرارتی(J/g) | درصد رطوبت | درصد خاکستر(Ash) |
|---|---|---|---|
| RDF | ۱۲۰۰۰-۱۶۰۰۰ | ۱۵-۲۵ | ۲۰-۲۲ |
| زغال سنگ | ۲۱۰۰۰-۳۲۰۰۰ | ۳-۱۰ | ۵-۱۰ |
| MSW | ۱۱۰۰۰-۱۲۰۰۰ | ۳۰-۴۰ | ۲۵-۳۵ |

هستند در کشورهای پیشرفته بسیارکم است.

همان‌طور که مشخص است RDF سوختی با ارزش حرارتی و کیفیت بالاتر از MSW می باشد و ظرفیت حرارتی آن به زغال سنگ بسیار نزدیک است، بنابراین می‌توان از آن به عنوان سوخت یا سوخت متمم همراه زغال سنگ برای بویلرها و کوره ها استفاده کرد.

ارزش حرارتی RDF را می توان با استفاده از غربالهای مناسب قبل و بعد از کاهش اندازه، افزایش داد. خارج کردن ذرات خیلی ریز، مواد غیر آلی یا مواد غیر قابل احتراق و مواد آلی مرطوب از RDF می تواند ارزش حرارتی RDF را تا ۲۰٪ نسبت به RDF که دارای ذرات خیلی ریز یا مواد آلی مرطوب هستند، افزایش دهد [ ۴ ].

## ۳- تولید RDF از پسماندهای صنعتی

در حال حاضر بسیاری از کشورهای اروپایی از پسماندهای صنعتی به عنوان سوخت‌های متمم (Secondary fuel) استفاده می کنند. این پسماندها شامل کاغذ، کارتن، پلاستیکهای غیر قابل بازیافت، الیاف، نخ، تایر، چوب، لجن های حاصل از فاضلاب، وپسماندهای ویژه شامل روغن ها و حلالهای مستعمل است.

این پسماندها قبل از اینکه به عنوان سوخت مورد استفاده قرار گیرند باید تحت فرایندهای پیش تصفیه مثل هموژناسیون و حذف ترکیبات خطرناک مثل کلر، فسفر قرار گیرند.

RDF که به این طریق تولید می شود، نسبت به RDF تولیدی از MSW نیاز به فرایندهای پیشرفته پیش فراورش مثل کاهش اندازه یا غربال گری ندارد و فقط باید آلودگی‌های موجود در آن حذف شود .

طبق مطالعاتی که انجام شده ظرفیت حرارتی تایرها در حدود ۵۳-۸۲/۵ MJ/Kg می باشد. تایر دارای درصد بالایی آهن، روی و سولفور می‌باشد، که باعث آلودگی‌های زیست محیطی می گردد. همچنین کاغذ دارای ارزش حرارتی ۲۲-۲۱/۵ MJ/Kg و پلاستیکهای غیر قابل بازیافت دارای ارزش حرارتی ۰۴-۹۲/۵ MJ/Kg و چوب دارای ارزش حرارتی ۷۱-۵۱ MJ/Kg هستند. با توجه به ارزش حرارتی بالای این مواد، در حال حاضر در بسیاری از کشورهای صنعتی از این مواد به عنوان سوخت‌های متمم همرا با سایر سوختها استفاده می‌شود. عمده ترین کاربرد این مواد در صنایع سیمان(کوره های سیمان پزی) و صنایع نیرو می باشد [ ۴ ].

## ٤ - کاربرد RDF و مشکلات استفاده از آن

همان‌طور که قبلاً گفته شد، عمده ترین کاربرد RDF استفاده از آن به عنوان سوخت یا سوختهای متمم در بویلرها و کوره ها می‌باشد. استفاده از RDF در بویلرها با مشکلاتی همراه است،که شامل موارد زیر است.

- درصد هوای اضافی زیادی مصرف می‌شود.
- زمان اقامت RDF در بویلر برای سوختن کامل کافی است.

سوختن ناکامل RDF باعث کاهش ظرفیت حرارتی بویلر و تولید مقادیر زیادی خاکستر به ازای واحد انرژی تولید شده و همچین باعث اضافه ظرفیت در سیستم جابه جایی خاکستر می گردد. به علاوه سوختن ناکامل به طور معکوس روی بازده حرارتی و بازیافت انرژی اثر گذار است.

همانطور که قبلاً گفته شد، RDF بیشتر شامل کاغذ و پلاستیک می باشد که دارای ارزش حرارتی بالایی نسبت به زغال سنگ می باشند، ولی تقریباً دارای درصد بالایی از خاکستر(۶-۴برابر بیشتر از زغال سنگ) هستند که می‌تواند به کوره ها و بویلرها آسیب برساند و همچنین به تجهیزات بیشتر و گرانتری برای حمل ونقل خاکستر نیاز است. RDF

جدول شماره۳- آنالیز گازهای خروجی از بخش بستر راکتور بستر متحرک

| RDF (kg/h) | gas composition (vol %, dry basis) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $H_2$ | $O_2$ | $N_2$ | $CH_4$ | CO | $CO_2$ | $C_2H_4$ | $C_2H_6$ |
| 3 | 4.77 | 1.12 | 67.54 | 3.46 | 9.01 | 9.55 | 4.29 | 0.25 |

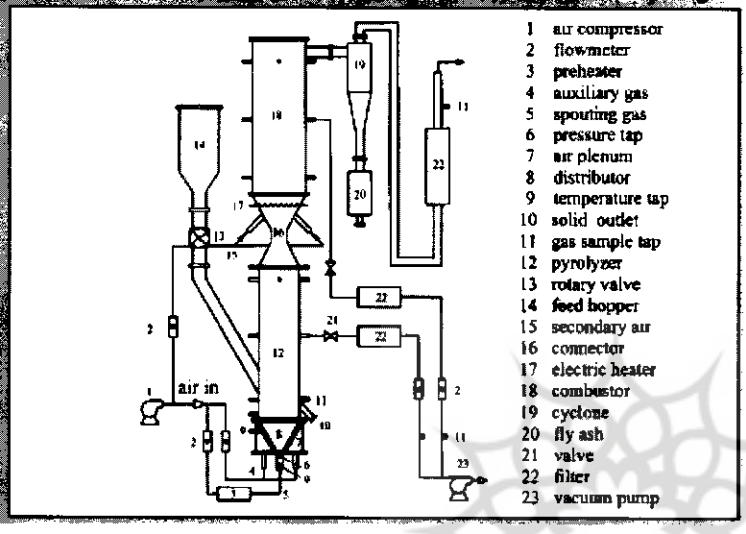
ممکن است شامل کلر باشد و باعث خوردگی تیوبهای داخل بویلرها و آسیب به کوره ها شود.

حضور ذرات بسیار ریز شیشه و فلز موجود در RDF نیز می‌تواند باعث ایجاد اشکال در احتراق گردد.

در حال حاضر نیـز مطالعات زیادی پیرولیز وSteam gasification پسـماندهای جامـد و RDF هـا انجام گرفته است. مطالعات نشان می‌دهد که با این روش می‌توان گاز سـنتز را در دمای پایین و با هوای اضافی کم تولید کرد. در این نوع پیرولیز RDF به طور پیوسـته به قسمت بستر متحرک راکتور تغذیه می‌شود. در این حالت RDF به طور جزئی می سـوزد و گرمای مورد نیاز برای پیرولیز RDF را دردمای پایین تامین می کند.

نمایی از این راکتور در شـکل شـماره۳ نشان داده شده اسـت. همانطور که واضح اسـت راکتور از دو بخش پیرولیز یا بسـتر متحرک و محفظه احتراق تشـکیل شده است. در قسـمت پیرولیز بسـتر را با سـنگهایی از جنس سـیلیکا پر می‌کنند، سپس با گرم کن های خارجی و هوای گرم، بخش پیرولیز را تا دمای ۳۵۰-۴۰۰°C گرم کرده و سپس RDF به بستر تزریق شـده و برای تماس بهتر با سنگ های گرم و تجزیـه حرارتـی آن دبی هوای ورودی بـه محفظه را در حـد معقول کنترل می‌کنند. محصـول حاصل از پیرولیز به قسمت احتراق رفته و در مجاورت با هوای اضافی می‌سوزد. نتایج نشـان داده که با این روش می‌توان گاز سنتز شامل H2, CH4, CO, C2H4, C3H6 را تولیـد کـرد. نمونه ای از این آنالیز در جدول شماره۳ آورده شده است.

شکل شماره۳- نمایی از راکتور بستر متحرک مورد استفاده برای پیرولیز RDF




## منابع


www.unep.or.jp/ietc/Publications/spc/Solid_Waste_Management/Vol_I/16-Chapter10.pdf

Zhiqi Wang, Haitao Huang, Haibin Li, Chuangzhi Wu, and Yong Chen , " Pyrolysis and Combustion of Refuse-Derived Fuels in a Spouting-Moving Bed Reactor ", Energy & Fuels 2002, 16, 136-142

Li, A. M.; Li, X. D.; Li, S. Q.; Ren, U.; Shang, N.; Chi, Y.; Yan,J. H.; Cen, K. F. Energy 1999, 24, 209-218.

www.unep.or.jp/ietc/Publications/spc/Solid_Waste_Management/Vol_I/18-Chapter12.pdf

www. ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/rdf.pdf