

# تولید سوخت RDF از مواد زائد جامد شهری

علی نصیری

Email: alinasiri۸۳@yahoo.com

نادر مختارانی

Emal: mokhtarani@modares.ac.ir

## چکیده

امروزه استفاده از مواد زائد جامد شهری بعنوان سوخت جهت تولید انرژی ، مورد توجه اکثر کشورهای قرار گرفته است، بطوریکه از آن به عنوان کلید اصلی اجرای طرح مدیریت پسماند، نام برده می شود. یکی از راه های استفاده از مواد زائد جامد شهری بعنوان سوخت، پردازش زباله و تبدیل آن به سوخت<sup>۱</sup> RDF می باشد. RDF به پسماندی گفته می شود که پس از طی نمودن فرایندهای مختلف بازیافت، بعنوان سوخت حاصل از مواد زائد بکار برده می شود. RDF در مقایسه با مواد زائد جامد شهری از ارزش حرارتی بالاتری برخوردار است و می توان از آن بعنوان سوخت در کوره ها (مخصوصاً کوره های سیمان) استفاده نمود. تنها با احتراق زباله های شهر تهران، می توان سالانه حدود ۲۳۰ مگاوات الکتریسیته تولید نمود، که منجر به حفظ ۲/۳ میلیون بشکه نفت و یا ۰/۸ میلیون تن زغال سنگ و یا ۴/۹ میلیون تن سرباره سنگ معدن می شود. البته کاربرد RDF با مشکلاتی نیز همراه می باشد. از جمله این مشکلات می توان به ذخیره سازی ، طراحی کوره ها ی سازگار با RDF، ایجاد خوردگی در کوره ها و ایجاد خاکستر زیاد اشاره نمود

## کلمات کلیدی

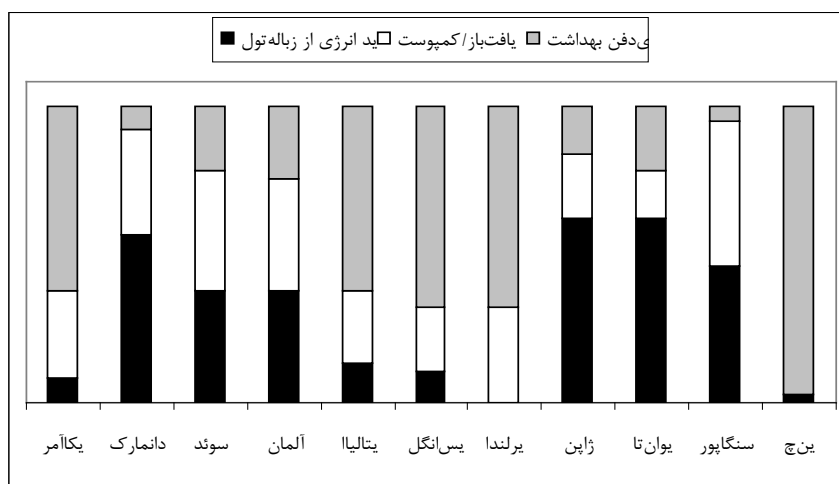
انرژی، زباله، سوخت، RDF.

---

<sup>۱</sup>-Refuse derived fuel

## ۱. مقدمه

همزمان با افزایش جمعیت شهرها و صنعتی شدن، تولید انواع زباله نیز به شکل فزاینده ای افزایش یافته است. این افزایش زباله دولتمردان را برآن داشته تا به دنبال راهکارهای علمی و عملی برای کاهش میزان زباله باشند. یکی از مهمترین راهکارها در این خصوص، بازیافت انرژی از زباله می باشد. در حال حاضر در بیش از ۳۵ کشور جهان تکنولوژی تولید انرژی از زباله مورد استفاده قرار می گیرد. بطوریکه در حدود ۷۸۰ نیروگاه<sup>۱</sup> WTE، سالانه حدود ۱۴۰ میلیون تن زباله به سوخت تبدیل می شود. در شکل شماره ۱ روش های مختلف دفع زباله در کشورهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفته است. همانطور که در شکل دیده می شود کشورهای ژاپن، تایوان و سنگاپور سه کشوری آسیایی می باشند که بیشترین میزان تولید انرژی از زباله در آنها صورت می گیرد و از این لحاظ در رتبه بالاتری نسبت به کشورهای اروپایی و آمریکایی قرار دارند [۵]. این امر لزوم توجه بیشتر به موضوع تولید انرژی از زباله را در کشورمان متذکر می شود. در حال حاضر روزانه حدود ۴۰ هزار تن زباله در کشورمان تولید می شود که می توان با تولید انرژی از آن ها، علاوه بر حل مشکل دفع زباله و کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی، به یک منبع پاک جهت تولید انرژی دست یافت [۱۰].

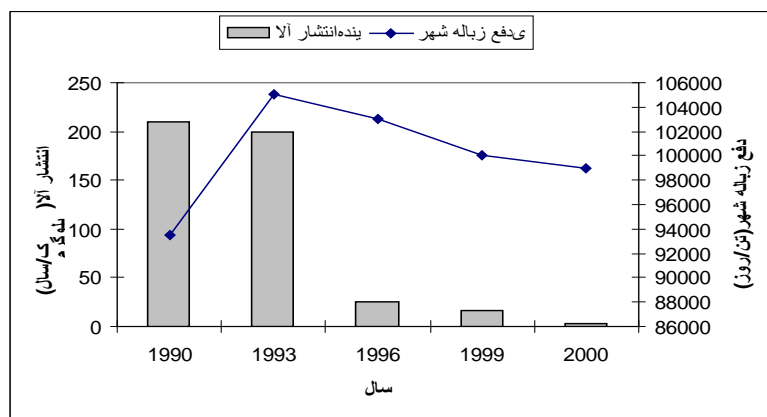


شکل ۱: مقایسه روش های مختلف دفع زباله در برخی از کشورها

- پتانسیل بازیابی انرژی در روش های مختلف تولید انرژی از زباله، متفاوت است و با توجه به ساختار زباله تعیین می شود. امروزه تولید انرژی از زباله عمدتاً به دو طریق صورت می گیرد:
- روش مستقیم: سوزاندن زباله.
  - روش غیر مستقیم: این روش خود شامل روش های گرمایی (مانند گازیفیکاسیون، پیرولیز، دپلمریزاسیون گرمایی و...) و روش های غیر گرمایی (مانند هضم بی هوازی، تصفیه بیولوژیکی مکانیکی، RDF و...) می باشد. بطور کلی مهمترین فواید کاربرد فرایندهای تولید انرژی از زباله را می توان در موارد زیر خلاصه نمود:
  - تولید الکتریسیته بالا: برای هر تن زباله شهری می توان بیش از ۲۸۰۰ کیلووات بر ساعت الکتریسیته تولید نمود که معادل انرژی تولیدی توسط ۴۵ گالن نفت و ۰/۲۸ تن زغال می باشد؛

<sup>۱</sup> - Waste to Energy

- با تولید انرژی از زباله بجای دفن بهداشتی، میزان انتشار دیوکسین و سایر گازهای گلخانه ای کاهش می یابد . براساس تخمین EPA<sup>۱</sup>، با تولید انرژی از زباله می توان سالانه از انتشار ۳۳ میلیون تن دی اکسید کربن در هوا پیشگیری نمود. طبق شکل شماره ۲، هم اکنون در کشور آمریکا کمتر از یک درصد از کل میزان انتشار دیوکسین، از نیروگاه های WTE صورت می پذیرد؛
- حفظ زمین: نیروگاه های WTE، در مقایسه با دفن بهداشتی نیاز به فضای بسیار کمتری دارند (حدود ۹۰ درصد فضای کمتر)، بلبکارگیری RDF می توان مشکلات ناشی از کمبود سوخت و انرژی و همینطور دفع زباله را بطور همزمان حل نمود [۵]؛
- کاهش هزینه دفع زباله: در دفن بهداشتی نیاز به سرمایه گذاری همیشگی در محل می باشد، ولی در روش های تولید انرژی از زباله، تنها هزینه اولیه احداث و یا توسعه نیروگاه مطرح است [۷].



شکل ۲: نرخ انتشار آلاینده از نیروگاه های WTE در کشور آمریکا

## ۲. انواع سوخت حاصل از زباله

سوخت های حاصل از زباله های شهری، بر اساس منبع اولیه، فرآیند آماده سازی، اجزای قابل احتراق زباله و ... به صورت های مختلفی بیان می شوند، که از آن جمله می توان به موارد ذکر شده در جدول شماره ۱ اشاره نمود.

جدول ۱: انواع سوخت های حاصل از مواد زائد جامد شهری

ردیف	نام سوخت	علامت اختصاری
۱	Recovered Fuel	REE
۲	Packaging Derived Fuel	PDF
۳	Paper & Plastic Fraction	PPF
۴	Process Engineered Fuel	PEF
۵	Refuse Derived Fuel	RDF

بطور کلی RDF را می توان اینطور تعریف نمود: پسماندی که پس از طی نمودن پروسه های مختلف بازیافت

<sup>۱</sup> - Enviromental protection agency

بعنوان سوخت حاصل از مواد زائد بکار برده می شود. در شکل شماره ۳ نمونه هایی از سوخت RDF مشاهده می گردد. مواد آلی زباله های شهری و موادی که ارزش حرارتی بالایی دارند (مانند پلاستیک ها)، از اجزای اصلی RDF به حساب می آیند. کیفیت RDF تولیدی به عوامل مختلفی بستگی دارد که از مهمترین آنها می توان به تکنولوژی مورد استفاده و نحوه اداره سیستم، ملاحظات زیست محیطی در خصوص مواد منتشر شده به اتمسفر، شرایط اقتصادی و میزان سرمایه گذاری اشاره نمود. در واقع حلقه فنی، اقتصادی، زیست محیطی از خواص تعیین کننده و اساسی در تولید و استفاده از RDF می باشند [۴].



شکل ۳: نمونه هایی از RDF تولیدی از زباله شهری

### ۳. منابع اولیه RDF

RDF از اجزای جامد قابل احتراق زباله بدست می آید و علاوه بر MSW از زباله های جامد صنعتی نیز می توان در تولید RDF استفاده نمود [۸]. ولی همانطور که در جدول شماره ۲ به آن اشاره شده است، ویژگی های RDF تولیدی بسته به خواص زباله های هر یک از این منابع، متفاوت است.

جدول ۲: بررسی کیفیت RDF تولیدی از منابع مختلف [۳]

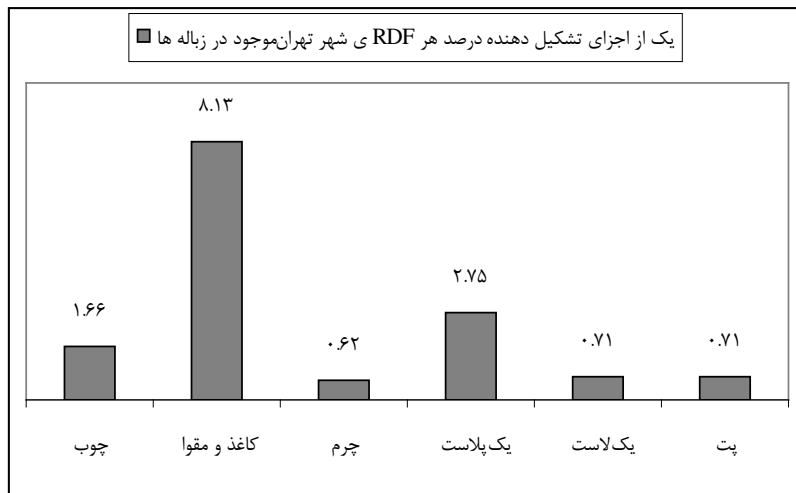
درصد رطوبت	ارزش حرارتی (Kj/Kg)	درصد خاکستر	درصد کلرین	درصد سولفور	منبع RDF
۱۰-۳۵	۱۲-۱۶	۱۵-۲۰	۰/۵-۱	-	زباله های خانگی
۱۰-۲۰	۱۶-۲۰	۵-۷	<۰/۱-۰/۲	<۰/۱	زباله های صنعتی
۳-۱۰	۱۸-۲۱	۱۰-۱۵	۰/۲-۱	-	زباله های تجاری
۱۵-۲۱	۱۴-۱۵	۱-۵	<۰/۱	<۰/۱	نخاله های ساختمانی

در یک تقسیم بندی می توان RDF را بر اساس مربع اولیه به ۳ دسته تقسیم نمود، که عبارتند از: RDF-MS که از مواد زائد جامد شهری تولید می شود، RDF-IMC که از زباله های صنعتی، نخاله های ساختمانی و زائدات تجاری تولید می شود و از لحاظ مقدار کل انرژی قابل استحصال، بیشترین بازده را دارد و RDF-IS که از لجن های صنعتی مثل لجن تصفیه فاضلاب تولید می شود و بدلیل داشتن مقادیر قابل توجهی آب ارزش حرارتی کمی دارد [۳].

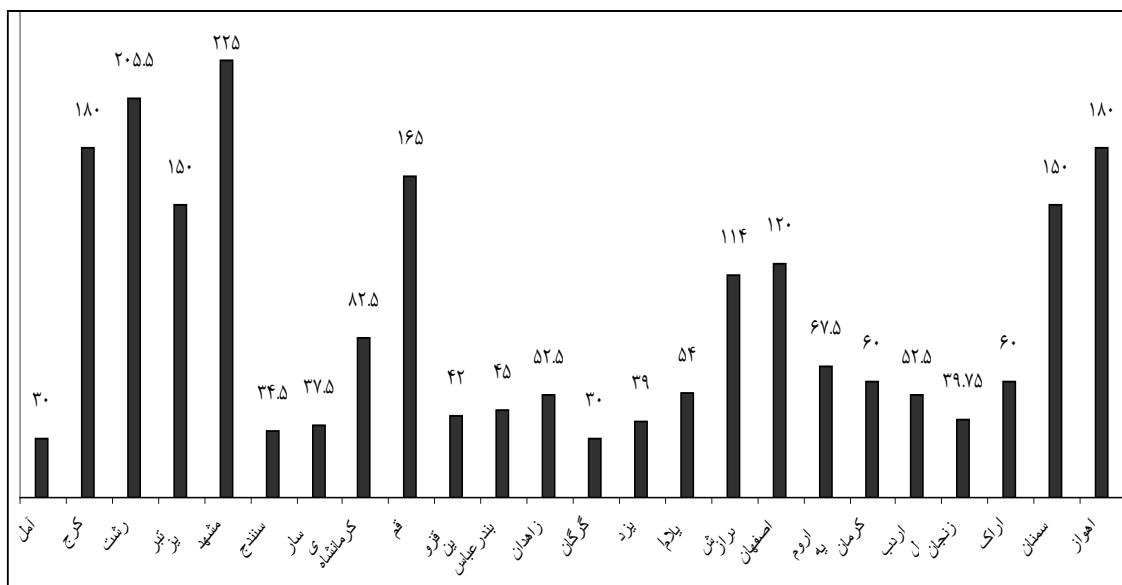
### ۴. اجزاء اصلی تشکیل دهنده RDF

تایرها با ظرفیت گرمایی ۲۸/۵-۳۵ Mj/Kg، کاغذها با ظرفیت گرمایی حدود ۱۲/۵ تا ۲۲ Mj/Kg، پلاستیک

ها با ظرفیت گرمایی ۲۹-۴۰ Mj/Mg و زائدات چوب با ظرفیت گرمایی متغیری بین ۱۵ تا ۱۷ Mj/Kg (بازای رطوبت ۱۰ تا ۱۵ درصد)، از جمله اجزای اصلی تشکیل دهنده RDF بشمار می روند [۴]. براساس آخرین آنالیز فیزیکی صورت گرفته بر روی زباله های تولیدی در شهر تهران [۱۰]، حدود ۱۵ درصد از زباله ها را اجزای مطلوب جهت تولید RDF تشکیل می دهد. در حال حاضر روزانه بیش از ۷۰۰۰ تن زباله در شهر تهران تولید می شود [۱]، که از این میزان ، بیش از ۱۰۰۰ تن از زباله را اجزای مطلوب جهت تولید RDF تشکیل می دهد. در شکل شماره ۴ مقایسه ای بین هر یک از اجزای اصلی تشکیل دهنده RDF موجود در زباله های شهر تهران مشاهده می شود . از آنجا که زباله های تولیدی در کشور عمدتاً از ماهیت فیزیکی یکسانی برخوردار می باشند، می توان همانند شهر تهران حدود ۱۵ درصد از زباله های تولیدی در هر شهر را برای تولید RDF مناسب دانست. با توجه به میزان زباله تولیدی در برخی شهر های کشور [۱]، می توان پتانسیل تولید RDF از زباله های تولیدی در هر یک از این شهرها در شکل شماره ۵ بررسی نمود.



شکل ۴: میزان هر یک از اجزای اصلی تشکیل دهنده RDF در زباله های شهر تهران



شکل ۵: میزان تولید اجزای اصلی تشکیل دهنده RDF در زباله برخی شهرهای ایران (تن در روز)

## ۵. فوائد و معایب کلی کاربرد RDF

از جمله فوائد استفاده از سوخت RDF می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- RDF از لحاظ فیزیکی و شیمیایی دارای ساختاری همگن است [۶]؛
- سهولت در ذخیره سازی، جابجایی و کاربرد RDF بدلیل ساختار همگن، کیفیت یکنواخت و پایداری بالا؛
- RDF پردازش یافته ارزش حرارتی بالایی دارد (تقریباً نیمی از ارزش حرارتی زغال سنگ)؛
- قابلیت کاربرد RDF بعنوان سوخت مکمل یا سوخت جایگزین در بسیاری از بویلرها در صنایع مختلف؛
- کاهش انتشار بو، با انجام فرایندهای خشک کردن و کاهش میزان رطوبت مواد قابل احتراق RDF؛
- حفظ منابع طبیعی و سوخت های فسیلی مانند نفت و گاز؛

از جمله معایب استفاده از سوخت RDF می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- RDF در مقایسه با دیگر سوخت ها آسیب بیشتری (خوردگی و فرسایش) به لوله ها و بویلرها وارد می سازد؛
- مصرف بالای انرژی الکتریکی در فرایند تولید RDF؛
- ارزش حرارتی کمتر RDF در مقایسه با دیگر سوخت های فسیلی؛
- فضای مورد نیاز جهت پردازش MSW و تولید RDF؛
- هزینه های بالا و صرف زمان طولانی در فرایند تولید RDF [۲].

## ۶. تولید RDF در ایران

بررسی میزان زباله تولیدی در کشور و روش های دفع آنها، حاکی از آنست که ما بی رحمانه در حال نابودی منابع طبیعی هستیم. امروزه در جهان حدود ۵/۳ میلیون تن زباله در روز (با میانگین سرانه ۶۵۰ گرم) تولید می شود. و از این میزان، سهم ایرانی ها از تولید زباله، حدود ۴۰ هزار تن زباله در روز (با میانگین سرانه ۷۵۰ گرم) می باشد. در جدول شماره ۳ مقایسه ای بین برخی شهرهای ایران از لحاظ میزان زباله تولیدی صورت گرفته است. همانطور که مشاهده می شود، تنها در ۷ کلانشهر ایران روزانه ۱۵ هزار تن زباله تولید می شود. متأسفانه تنها ۴ درصد از زباله های تولیدی در کشور بازیافت می شود، در حالیکه این رقم در کشور سوئیس حدود ۵۰ درصد، در ژاپن ۲۰ درصد، در انگلیس ۱۷/۷ درصد، در آلمان حدود ۸۰ درصد و در آمریکا حدود ۲۸ درصد می باشد.

جدول ۳: مقایسه تولید زباله در برخی شهرهای ایران

ردیف	شهر	تولید زباله (تن)	جمعیت	ردیف	شهر	تولید زباله (تن)	جمعیت
۱	ایران	۴۰/۰۰۰	۷۰/۴۷۲/۸۴۶	۱۷	زاهدان	۳۵۰	۶۷۵/۲۸۲
۲	تهران	۷/۷۰۰	۸/۲۴۳/۰۰۰	۱۸	اردبیل	۳۵۰	۴۱۲/۶۶۹
۳	ساری	۲۵۰	۲۵۰/۰۰۰	۱۹	کرج	۱۲۰۰	۱/۳۷۷/۴۵۰
۴	کرمان	۴۰۰	۶۷۷/۶۴۱	۲۰	یزد	۲۶۰	۵۲۶/۲۷۶
۵	سنندج	۲۳۰	۳۱۶/۸۶۲	۲۱	ایلام	۳۶۰	۵۲۰/۰۰۰
۶	مشهد	۱۵۰۰	۲/۴۸۰/۸۰۰	۲۲	شیراز	۷۶۰	۱/۳۱۲/۵۷۹
۷	تبریز	۱۰۰۰	۱/۳۷۸/۹۳۵	۲۳	اصفهان	۸۰۰	۴۷۳/۱۴۹
۸	رشت	۱۳۷۰	۷۱۵/۰۹۷	۲۴	ارومیه	۴۵۰	۵۷۷/۳۰۷

آنالیز فیزیکی زباله های شهر تهران براساس جمع آوری نمونه ها و تجزیه و تحلیل اطلاعات بدست آمده از مبلدی تولید پسماند، ورودی ایستگاه های انتقال و ورودی مراکز دفن زباله، در جدول شماره ۴ ارائه شده است [۱۰]. هم اکنون شهروندان تهرانی، روزانه بیش از ۷ هزار تن زباله تولید می کنند، که هزینه سالانه جمع آوری آن برای شهرداری تهران حدود ۵۰ میلیارد تومان است [۱].

جدول ۴ : آنالیز فیزیکی زباله های شهر تهران (تابستان ۱۳۸۲)

نوع زباله	میانگین	نوع زباله	میانگین
پسماندهای تر	۶۷/۸۲	چوب	۱/۶۶
نان	۰/۹۸	لاستیک	۰/۷۱
پت	۰/۷۱	چرم	۰/۶۲
کاغذ و مقوا	۸/۱۳	خاک و نخاله	۱/۲۶
پلاستیک	۲/۷۵	شیشه	۲/۴۰
پارچه	۳/۴۳	فلزات	۱/۵۵

در حال حاضر بخش اعظم انرژی مورد نیاز در داخل کشور، از احتراق سوخت های فسیلی حاصل می شود . در حالیکه می توان با احتراق هر تن زباله شهری، حدود ۴۵ گالن نفت و یا ۰/۲۸ تن زغال را حفظ نمود [۵]. بعبارتی دیگر، با احتراق زباله های شهر تهران، می توان روزانه حدود ۳۱۵۰۰۰ گالن نفت و ۱۹۶۰ تن زغال را ذخیره نمود. با تولید سوخت RDF از زباله شهری، علاوه بر حفظ منابع انرژی های تجدید ناپذیر، می توان مق ادی زیادی انرژی الکتریسیته تولید نمود. با احتراق هر تن زباله می توان بیش از ۲۸۰۰ کیلووات ساعت الکتریسیته تولید نمود [۵]. یعنی تنها با احتراق زباله های شهر تهران، می توان سالانه حدود ۲۳۰ مگاوات ساعت الکتریسیته تولید نمود، که منجر به حفظ ۲/۳ میلیون بشکه نفت و یا ۰/۸ میلیون تن زغال سنگ و یا ۴/۹ میلیون تن سرباره سنگ معدن می شود. یکی از مهمترین کاربردهای RDF در صنعت تولید سیمان می باشد. RDF جایگزین مناسبی برای سوخت های فسیلی می باشد و می توان آنرا بصورت مجزا و یا همراه با سوخت های فسیلی، بعنوان سوخت مکمل بکار برد . نتایج آزمایشات نشان می دهد که با استفاده از سوخت RDF همچنان خواص فیزیکی سیمان مانند مقاومت نهایی و زمان گیرش، در محدوده استاندارد قرار می گیرد. خواص شیمیایی سیمان نیز تفاوت چندانی نمی کند و نیازی به مواد افزودنی برای جبران تغییرات نیست. امروزه در برخی از کارخانجات اروپایی تا ۷۰٪ از سوخت جایگزین در کوره های سیمان استفاده می شود. بعنوان مثال مصرف سوخت جایگزین در کشور آلمان تا سال ۲۰۰۵ معادل ۴۵٪ اعلام گردیده است [۹].

## ۷. نتیجه گیری

در حال حاضر روزانه بیش از ۷۰۰۰ تن زباله در شهر تهران تولید می شود [۱]، که از این میزان حدود ۱۵ درصد (۱۰۵۰ تن در روز) را اجزای با ارزش حرارتی بالا و مناسب جهت تولید سوخت RDF تشکیل می دهد . ولی متاسفانه با وجود چنین پتانسیلی بالایی جهت تولید سوخت از زباله، تاکنون هیچگونه اقدام عملی در این زمینه صورت نگرفته است. با توجه به مطالب ارائه شده و شناخت روش های مختلف تولید RDF و تجهیزات مورد نیاز، می توان دلایل اصلی عدم توسعه این روش در ایران را در موارد زیر خلاصه نمود:

- عدم اجرای طرح های جامع (نوبین) مدیریت پسماند در اکثر شهرهای کشور : در نتیجه عدم اجرای طرح مدیریت پسماند عمل تفکیک زباله در مبدا به خوبی انجام نمی شود و انواع مختلف زباله که دارای ارزش حرارتی متفاوتی هستند با یکدیگر مخلوط می شوند. در نتیجه افزایش هزینه های مربوط به تفکیک زباله و کاهش ارزش حرارتی سوخت حاصل را به دنبال دارد؛
- مشخصات فیزیکی و شیمیایی زباله های تولیدی در کشور: عواملی چون نحوه تولید و ارائه مواد، آداب و رسوم و فرهنگ استفاده از مواد غذایی در کشورمان باعث شده است که حدود ۷۰ درصد از زباله های کشورمان را مواد آلی تشکیل دهند. مواد آلی دارای رطوبت بالا و ارزش حرارتی پایینی هستند و باعث بروز مشکلاتی در تجهیزات پردازش و در نتیجه افزایش هزینه ها می شوند؛
- عدم استفاده از تکنولوژی های نوین و تجهیزات پیشرفته به منظور پردازش زباله و احتراق RDF؛
- مشکلات مالی، اقتصادی و ارزی به منظور وارد نمودن تجهیزات نوین و تکنولوژی تولید RDF؛
- وجود منابع عظیم و ارزان قیمت سوخت های فسیلی در کشور: تولید RDF (پردازش زباله و آماده سازی کوره ها جهت احتراق RDF) نیازمند سرمایه گذاری کلان است و با وجود منابع ارزانتر انرژی، تمایلی برای جایگزین نمودن RDF به جای سوخت های فسیلی در کشورمان وجود ندارد؛
- نبود سیستم نظارتی قوی بر نحوه دفع زباله ها: از اینرو عمدتاً از روش های غیر اصولی و کم هزینه برای دفع زباله ها استفاده می شود و تمایلی به کاربرد روش های جایگزین باقی نمی ماند.

## ۸. منابع و مراجع

[۱] روزنامه همشهری، سال هفدهم، شماره ۴۸۰۵، صفحات ۲۴-۲۱، فروردین ۱۳۸۸

[۲] Caputo A.C. and Pelagagge P.M., *RDF production plants:II Economics and profitability*, *Applied Thermal Engineering* ۲۲, ۴۳۹-۴۴۸, ۲۰۰۲.

[۳] Dong, T.T.T. and Lee, B.K., *Analysis of potential RDF resources from solid waste and their energy values in the largest industrial city of Korea*, *Waste Management* ۲۹, ۱۷۲۵-۱۷۳۱, ۲۰۰۹.

[۴] European commission, Directorate general environment refuse derived fuel, *Current practice and perspectives*, Report No.: CO ۵۰۸۷-۴, July ۲۰۰۳.

[۵] Neville A., *The Growing Role of Waste-to-Energy in the U.S.A*, *Power Magazine*, Vol. ۱۵۳, No. ۷, p. ۴۶-۴۷, July ۲۰۰۹.

[۶] Piao G. et al, *Combustion test of refuse derived fuel in a fluidized bed*, *Waste Management* ۲۰, ۴۴۳±۴۴۷, ۲۰۰۰.

[۷] Psomopoulos, C.S. et al, *Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA*, *Waste Managemen*, *Waste Management* ۲۹, ۱۷۱۸-۱۷۲۴, ۲۰۰۹.

[۸] Robinson W. D., *The Solid waste handbook:A Practical Guide*, Wiley-IEEE, ۱۹۸۶.

[۹] Willey C.R. and Weinberger C.S., *Demonstration test of RDF fuel as a supplemental fuel in cement kiln*, *United States Environmental Protection Agency*, EPA/۶۰/S-۲-B۵/۰۳۲, May ۱۹۸۵.

[۱۰] <http://tehran.ir/Default.aspx?tabid=۱۴۳۹۰> (مجموعه مقالات سازمان بازیافت شهرداری تهران)