مجله علمی مطالعات پژوهشی در مدیریت آینده، ۱۴۰۳، دوره ۲، ص ص ۱-۹

مجله علمی مطالعات پژوهشی

در مدیریت آینده

www.journalhi.com/man/

# ارزیابی عملکرد مدیریت پسماند جامد شهری توسط آنالیز جریان مواد:

# رویکرد نظری و مطالعه موردی

علی کرمی نسب

۱- مدیریت شهری، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران.

**اطلاعات مقاله**

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۲۷ فروردین ۱۴۰۳

پذیرش: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۳

ارائه در سایت: ۱۶ اردیبهشت ۱۴۰۳

کلید واژگان:

مدیریت پسماند

ارزیابی

شاخص ها

آنالیز جریان مواد

جمع آوری جداگانه

بازیافت

بازیابی

**چکیده**

نقش اصلی برنامه مدیریت پسماند تعیین ترکیبی از استراتژی های مدیریت پسماند و روش های مورد نیاز به منظور جمع آوری و مدیریت پسماند به شیوه ای که تضمین کننده دستیابی به یک مجموعه ای از اهداف خاص باشد، است .اهداف مدیریت پسماند باید پایدار، جامع و واقع بینانه و مطابق با سیاست ها و مقررات زیستی محیطی بوده و بر پیشرفت دستاوردهای اهداف ارائه شده نظارت شود .به منظور دستیابی به این هدف، اجراء مدیریت و تعیین شاخص ها می تواند امکان اندازه گیری کارایی یک سیستم مدیریت پسماند را فراهم آورد .تعیین کارایی شاخص ها نیازمند توسعه ی یک آنالیز جریان مواد در مرز سیستم، از جمع آوری پسماند تا فروش، پردازش و بازیافت مواد ثانویه می باشد .آنالیز جریان مواد با توجه به یک مطالعه موردی انجام شده که در این مطالعه یک پایگاه داده امن، مقرون به صرفه و خاص موجود می باشد. آنالیز جریان مواد امکان ارزیابی مقدار مواد فرستاده شده به بخش بازیافت، دفن و بازیافت پسماند برای تولید انرژی را با تاکید بر این که مرتب سازی مواد زائد می تواند باعث افزایش بیشتر مقدار مواد ثانویه گردد، فراهم می آورد .استفاده از بازیافت انرژی برای تصفیه ی پسماند های با درجه پایین امکان به حداکثر رساندن کاهش پسماند به محل دفن با تولید پایین خاکستر خطرناک را فراهم می آورد .تعادل اقتصادی مقدماتی به منظور تعیین هزینه ی سیستم مدیریت پسماند انجام شده که در محدوده ی 48 تا 181 تن بدون هزینه ی جداگانه ی جمع آوری پسماند می باشد .هزینه جمع آوری جداگانه پسماند به منظور تضمین جمع آوری 1 جریان جداگانه، طراحی شده که شامل به 012 تن 02 ± درصد می باشد.

# Evaluation of urban solid waste management performance by material flow analysis:

# Theoretical approach and case study

**Ali Karaminasab** [1]

1- Department of Urban Management, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran.

**Article Information**

Original Research Paper
Received 15 April 2024
Accepted 29 April 2024
Available Online 05 May 2024

*Keywords:*
Waste Management
Assessment
Indicators
Material flow analysis
Collect separately
Recycle
recovery

**Abstract**

The main role of a waste management plan is to define which is the combination of waste management strategies and method needed to collect and manage the waste in such a way to ensure a given set of targets is reached. Objectives have to be sustainable and realistic, consistent with the environmental policies and regulations and monitored to verify the progressive achievement of the given targets. To get the aim, the setting up and quantification of indicators can allow the measurement of efficiency of a waste management system. The quantification of efficiency indicators requires the developing of a material flow analysis over the system boundary, from waste collection to secondary materials selling, processing and disposal. The material flow analysis has been carried out with reference to a case study for which a reliable, time- and site-specific database was available. The material flow analysis allowed the evaluation of the amount of materials sent to recycling, to landfilling and to waste-to-energy, by highlighting that the sorting of residual waste can further increase the secondary materials amount. The utilisation of energy recovery to treat the low-grade waste allows the maximisation of waste diversion from landfill with a low production of hazardous ash. A preliminary economic balance has been carried out to define the gate fee of the waste management system that was in the range of 84–145 €t-1 without including the separate collection cost. The cost of door-by-door separate collection, designed to ensure the collection of five separate streams, resulted in 250 € t-1 ±30%...

## مقدمه

اروپا چندین دهه است که از رشد در رفاه و ثروت بر اساس استفاده گسترده از مواد و منابع انرژی زا برخوردار می باشد .به منظور افزایش استفاده کارامد از این مواد نیاز به یک چارچوب سیاسی بوده که نوآوری و راندمان منابع را افزایش داده، فرصت های اقتصادی را ایجاد کرده و امنیت منابع را از طریق طراحی مجدد محصول، مدیریت پایدار منابع زیست محیطی، صرفه جویی در منابع و افزایش استفاده مجدد از منابع، بازیافت و جایگزینی مواد اولیه بهبود بخشد . جهت افزایش رشد استفاده از منابع و بهبود این منابع جدید نیاز به همبستگی و انسجام در سیاسیت هایی بوده که اقتصاد و سبک زندگی ما را شکل می دهد.

(باین و همکاران، کمیسیون اروپا، .) 0211 به طور خاص، مقدار و کیفیت منابع ثانویه به دست آمده از یک سیستم مدیریت پسماند شهری باید با طراحی یک استراتژی مدیریت پسماند ی مناسب افزایش یابد.

این برنامه ریزی یک فرایند پیچیده بوده که شامل بسیاری از رشته ها، فرایندها و فناوری هایی بوده که یک شبکه زیربنائی از سیستم مدیریت پسماند را تشکیل داده و امکان طراحی سناریوهای مختلف پایدار که تنها با انجام خودِ سیستم مدیریت پسماند در دستورالعمل های قانونی، اجتماعی و زیست محیطی مورد ارزیابی قرار گیرد، و بتواند رفاه عمومی و محیط زیست را حفظ کند( موی و همکاران، ) 0224 و به طور همزمان، از نظر اقتصادی و زیباشناسی نیز قابل پذیرش باشد( نمرو و همکاران،) 0224 ، است .

معمولا، به منظور تحقق اهداف مدیریت پایدار پسماند، اهداف کلی زیر باید برآورده گردد :به حداقل رساندن مصرف مواد خام و انرژی بدون کاهش مزیت کلی زیست محیطی، بازیافت مواد، البته با توجه به اصول قبلا ذکر شده، بازیافت انرژی، چون در یک رویکرد چرخه عمر، بازیافت انرژی از پسماند امکان کاهش مصرف سوخت های فسیلی و انتشار کلی انرژی از همه ی سیستم های تبدیل انرژی( آزاپاگی و همکاران، 0228 ، برونر، ) 0211 و به حداقل رساندن دفن پسماند( کمیسیون اروپا، ) 0211 فراهم می آید.

نیاز به ارزیابی پایداری ابزارهای سیستم مدیریت پسماند به منظور اندازه گیری مجموعه ای منتخب از

. شاخص های عملکردی می باشد (آرندس و گوفرای، 0212 ، ریستیک، 0221، تیکسیرا و همکارا218)0

آنالیز جریان مواد، ارزیابی چرخه عمر و آنالیز خطر ابزارهای مختلفی بوده که می تواند به منظور اندازه گیری عملکرد یک سیستم مدیریت پسماند با ارزیابی مجموعه ای از شاخص ها به عنوان نتیجه ی نهایی مدل سازی دقیق مورد استفاده قرار می گیرد( بیگل و همکاران، 0224 ، کلری، 0229 ، گونامانتا و سارتو،0210 ، ماستلون و همکاران، 0229 ، پایرس و همکاران، .) 0211 اولین گام تعیین ابعاد شاخص های مناسب و اندازه گیری شده می باشد .با توجه به مدیریت پسماند جامد شهری، سوالات اساسی در این رابطه" درصد بالای بخش های پسماند جامد شهری، جمع آوری شده برای بازیافت بالقوه، و شیوه ی به حداکثر رساندن راندمان منابع پایدار چیست؟( وایلس و برنر،) 0210 ، با اشاره به ضرورت یک معیار به منظور اندازه گیری پایداری سیستم می باشد.

محدوده ی این مقاله به شرح زیر می باشد :کاربرد آنالیز جریان مواد برای سیستم مدیریت پسماند با استفاده از داده های مربوط به یک مطالعه ی موردی، ارزیابی کارایی یک سناریوی مورد پایه با استفاده از مجموعه ای از شاخص های تعیین شده به این منظور، پیشنهاد یک سناریوی جایگزین تضمین کننده ی به حداکثر رسانی کاهش دفن پسماند و افزایش بازیافت مواد .مجموعه ای از سناریوهای جایگزین نیز با در نظر گرفتن بهترین فناوری های موجود در بخش تصفیه ی پسماند و با اشاره به داده های صنعتی که قبلا در منابع علمی ارائه شده، بازدید از محل تسهیلات صنعتی و ارتباطات خصوصی در این آنالیز قرار داده شد.

ارزیابی عملکرد در ملاحظات زیست محیطی گنجانده نشد و منحصرا اشاره به تعادل مواد در مرزهای سیستم مدیریت پسماند شد .اثرات زیست محیطی مربوط به مدیریت پسماند می تواند با استفاده از ارزیابی چرخه عمر، با اشاره به هزینه های جهانی و با ارزیابی خطر، با اشاره به اثرات محلی بر سلامت عمومی مورد ارزیابی قرار گیرد .در آینده این عملیات با کاربرد روش های موجود در این مقاله اجراء خواهد شد .ارزیابی اقتصادی مقدماتی نیز با اشاره به سناریوی موردی پایه، با جمع آوری داده های مربوط به هزینه های عملیاتی تسهیلات موجود در مرزهای سیستم، ارزش تجاری جریانات مواد، ارزش تجاری بخش انرژی( گاز زیستی و گاز سنتزی )انجام خواهد شد.

## چارچوب کلی، روش ها و ابزارها

### 2.1.تشریح کلی سیستم مدیریت پسماند

پسماند جامد شهری می تواند به فرایندهای مختلف عمدتا با هدف بازیافت مواد ثانویه، بازیابی انرژی، تولید سوخت حاصل از پسماند و تنها تاحد کمی برای دفن بپردازد .پایداری و راندمان زنجیره ی بازیافت توسط ترکیب پسماند و تیمارهای متوالی جداسازی و پاکسازی تحت تاثیر قرار گرفته که امکان پردازش مجدد هر یک از مواد فراهم می گردد .کارایی تولید کنندگان پسماند به منظور تشخیص و جداسازی جریانات مختلف پسماند، راندمان و هزینه ی کلی سیستم مدیریت پسماند را تحت تاثیر قرار می دهد، این کارایی در این مطالعه با استفاده از شاخص های مناسبی ارزیابی شد .کارایی جمع آوری پسماند ، به جز برخی موارد که در این آنالیز گنجانده نشده است، می تواند به صورت یکنواخت در نظر گرفته شود.

سیستم های تحویل و جمع آوری پسماند می تواند بر اساس درجه جداسازی پسماند و بر اساس نقطه ی جمع اوری با توجه به نقاط تولید پسماند( خانه، فروشگاه، بازار و غیره )طبقه بندی شود .دو مورد متضاد می تواند برای سیستم های تحویل پسماند در نظر گرفته شود ) a ( :جمع آوری پسماند مخلوط با جداسازی مکانیکی گسترده در تاسیسات متمرکز، ) b ( جداسازی پسماند خانگی با فرایند جداسازی مکانیکی ملایم.

این دو سیستم دارای هزینه ها و راندمان های متفاوتی بوده و می توانند برای سیستم های جمع آوری زیر در نظر گرفته شوند ) a ( :جمع آوری درب به درب و ) b ( جمع آوری از خیابان .چندین احتمال در کشورهای مختلف با در نظر گرفتن سیاست های محلی، حساسیت اجتماعی، درجه آموزش، ویژگی های شهری، زیرساخت های صنعتی و غیره توسعه یافته است.

سیستمی که در این مطالعه بررسی شده به عنوان یک مورد پایه مورد اشاره قرار گرفته که توسط جداسازی گسترده در سطح سیستم خانگی و سیستم جمع آوری درب به درب مشخص می گردد .نمایی از مسیرهای دسته بندی پسماند توسط سیستم جمع آوری پسماند در شکل 1 به تصویر کشیده شده است.

### 2.2.مواد و روش ها

چندین روش به تنهایی و یا در ترکیب با هم به منظور طراحی و ارزیابی سناروهای مدیریت پسماند می تواند مورد استفاده قرار گیرد( بایگل و همکاران، 0224، لی و همکاران، 0224 ، الیویرا و همکاران،0222 سالهوفر و همکاران، 0222، وانگ و همکاران،) 1991 ، اما نکته اساسی در این زمینه قابلیت اطمینان و دقت داده های ورودی و پارامترهای مورد استفاده به منظور انجام آنالیز می باشد .کیفیت داده ها تاثیر زیادی بر انسجام نتایج مدل دارد و به ویژه منابع داده برای انجام آنالیز، برنامه ریزی و بهبود سناریو ضروری می باشد بایگل و همکاران، .) 0224 علاوه بر این، داده های تجربی کافی به منظور ترسیم ملاحظاتی که به طور گسترده برای موارد دیگر قابل کاربرد است، مورد استفاده قرار می گیرد .در این مقاله، داده های تجربی به منظور ارزیابی عملکرد واقعی مدیریت پسماند در سیستم مرجع و دستیابی به مدل های موقت استفاده می شود .مدل های موقت جهت ارزیابی اثر تغییرات برخی پارامترها بر شاخص های عملکرد ساخته می شوند.

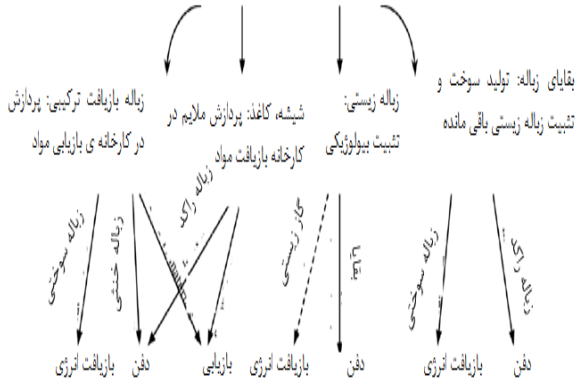
ابزار مورد استفاده برای مقایسه نتایج، شاخص هایی بوده که در جدول 1 گزارش شده است .روش ارزیابی، مقایسه ی سناریوهای مختلف بوده که هر یک از این سناریوها با استفاده از آنالیز جریان مواد تعیین می شود.

### 2.2.تعریف شاخص ها

استفاده از شاخص ها به منظور ارزیابی عملکرد سیستم های باز یا بسته گزارش شده در منابع با توجه به مدیریت پسماند صورت می گیرد( آرندس و گودفری، 0212 ، لی و همکاران، 0224 ، موی و همکاران، 0224، ریستیک، 0221 (.

انتخاب مجموعه ای از شاخص ها با دسترسی به داده ها و با توانایی اندازه گیری عملکرد صورت می گیرد .روش ارزیابی راندمان جهانی سیستم های مدیریت پسماند، اندازه گیری انحراف پسماند، یعنی پیشگیری و کاهش پسماند تولید شده از طریق کاهش منبع، بازیافت، استفاده مجدد، بازیابی (.انرژی، تولید کمپوست، تولید خوراک دام و گاز زیستی می باشد( سازمان محیط زیست اروپا،0229 کاهش پسماند مزایای زیست محیطی، مالی و اجتماعی از جمله حفظ انرژی، کاهش هزینه های دفع پسماند و کاهش هزینه ی دفن می گردد( سازمان حفاظت از محیط زیست، .) 0210 شاخص انحراف پسماند.

یک معیار برای اندازه گیری مقدار جرم هر بخش پسماند انتقالی به محل دفن و بازیافت می باشد .به منظور افزایش انحراف پسماند، معمولا یک مجموعه جداسازی خانگی اتخاذ می شود، چون این روش بهترین گزینه به منظور به حداقل رساندن هزینه ی مرتبط سازی جریانات پسماند جمع آوری شده می باشد .راندمان جداسازی باید بر اساس مقدار مواد آلاینده ی موجود در پسماند ارزیابی شود .این یک مبنای منطقی پشت طراحی شاخص های زیر بوده که شرح مفصلی از آن ها در پاراگراف های زیر گزارش شده است.




**شکل :1 طبقه بندی دسته های پسماند ارسال شده و جمع آوری شده برای ارزیابی فرایندهای تصفیه ی متوالی**

**جدول :1 مجموعه ای از شاخص های جزئی و کلی**

| معادلات | مخفف | شرح |
|---|---|---|
| | | شاخص های جزئی |
| $m/g_i$ | $nie_i$ | راندمان رهگیری اسمی |
| $m/g_i$ | $aie_i$ | راندمان رهگیری واقعی |
| $d/g_i$ | $dcr_i$ | دفن |
| $r/g_i$ | $rcr_i$ | نسبت زباله بازیافتی به جمع آوری شده |
| | | شاخص های متراکم |
| $\sum m_i/\sum g_i$ | NIE=SDR | نرخ تحویل جداگانه |
| $\sum m_i/\sum g_i$ | AIE | راندمان رهگیری اسمی |
| $\sum r_i/\sum g_i$ | RCR | نسبت زباله بازیافتی به جمع آوری شده |
| $\sum re_i/\sum g_i$ | RECR | نسبت زباله بازیافتی به جمع آوری شده |
| $\sum d_i/\sum g_i$ | DCR | نسبت زباله دفن شده به جمع آوری شده |
| 1-DCR | DVR | انحراف از دفن |

### شاخص نرخ جداسازی

شاخص گسترده مورد استفاده به منظور ارزیابی راندمان سیستم مدیریت پسماند، نرخ جداسازی می باشد

که به عنوان نسبت بین مقدار پسماند جمع آوری شده و کل پسماند تولید شده تعریف می شود .این شاخص تنها در جریانات پسماند جمع آوری شده، بدون در نظر گرفتن نحوه ی بازیافت و هزینه های زیست محیطی و اقتصادی مربوط به تیمارهای زیر به کار گرفته می شود.

### راندمان قطع اسمی

راندمان قطع اسمی ) nie ( به عنوان نسبت بین مقدار دسته بندی پسماند ای ) i ( که به عنوان یک جریان جداسازی شده ) m'i ( جمع آوری شده، از جمله مقدار ناخواسته ی مواد آلاینده و مقدار کل پسماند تولید شده gi ( )تعریف می شود .این پارامتر قابلیت تشخیص و گرفتن دسته های خاصی از پسماند را با انحراف آن ها از پسماند ی مخلوط، یعنی پسماند ی باقی مانده را اندازه گیری می کند .در مورد آنالیز داده یک برنامه مدیریت پسماند موجود،

nieمی تواند محاسبه شود، در مورد برنامه ریزی سیستم مدیریت پسماند جدید، مجموعه ای از شاخص های nie که هر یک از آن ها مربوط به یک بخش پسماند است، به کار گرفته می شود( ماستلون، .) 0211 شاخص NIE که نشان دهنده ی مجموع m'i برای جریانات جمع آوری جداگانه است بر کل پسماند تقسیم می شود( پسماند جامد شهری )که این مقدار مطابق با SDR می باشد( جدول۱) این شاخص به صورت یک شاخص اسمی تعریف می شود، چون مقدار پسماند جمع آوری شده شامل مواد به اصلاح آلاینده ای بوده که معمولا این مواد آلاینده در محدوده ی بین 12 تا 01 درصد می باشد .به منظور انجام آنالیز جریان مواد، nie نشان دهنده ی ترکیب مجموعه پسماند جامد شهری می باشد.

**راندمان قطع واقعی**

راندمان قطع واقعی ) aie ( به عنوان نسبت بین مقدار دسته مواد موجود در پسماند متوقف شده ) mi ( و پسماند تولید شده ) gi ( تعریف می شود که شاخص ارزیابی کارایی سیستم تحویل / جمع آوری پسماند می باشد .برآورد این پارامتر توسط شاخص های nie احتمالا با شناسایی ترکیب دقیق هر جریان پسماند و به طور خاص، مقدار مواد آلاینده که در طول فرایند مرتب سازی پسماند حذف می شود، شروع می گردد .در آنالیز جریان مواد، aie/nie امکان جداسازی نرخ جریان ورودی( مانند پسماند زیستی )به ترکیبات آن ها (مانند آلاینده های زیست تخریب پذیر یا معدنی )را فراهم می آورد.

**نسبت پسماند بازیابی شده به جمع آوری شده**

نسبت پسماند بازیابی شده به جمع آوری شده ) rcr ( به عنوان نسبت بین مقادیر پسماند ای i که در واقع به عنوان مواد ثانویه در نظر گرفته می شود و جریان i جمع آوری شده، تعریف می شود .این پارامتر می تواند با توجه به بخش پسماند خاص و بنابراین با دستیابی به نسبت شاخص به بخش پسماند خاص و یا با توجه به کل بخش های پسماند بازیافتی محاسبه شود که شاخص کلی RCR در این صورت براورد می شودRCR . اطلاعاتی درباره ی راندمان مراحل مرتب سازی، انتخاب و پردازش مجدد به منظور دستیابی به مواد ثانویه ارائه می دهد.

**نسبت پسماند بازیافتی به جمع آوری شده**

نسبت پسماند بازیافتی به جمع آوری شده ) recr ( به عنوان نسبت بین مقادیر پسماند ) rei ( که به شیوه های مختلف بازیابی به دست آمده( گاز زیستی و تولید کمپوست، بازیابی انرژی و غیره )و پسماند جمع آور شده تعریف می شود .شاخص RECR اطلاعاتی درباره ی مقدار پسماند ای که به گاز زیستی، کمپوست، گاز طبیعی سنتزی، انرژی و غیره تبدیل می شود، ارائه می دهد.

**نسبت پسماند دفن شده به جمع آوری شده و نسبت پسماند منحرف شده به جمع آوری شده**

نسبت پسماند دفن شده به جمع آوری شده ) dcr/DCR ( و نسبت پسماند منحرف شده به جمع آوری شده (dvr/DVR)مرتبط با همدیگر می باشند . شاخص DCR نسبت بین مقدار پسماند دفن شده و پسماند تولید شده بوده، در حالی که DVR مقدار نسبی پسماند منحرف شده توسط دفن را در مقایسه با پسماند تولید شده اندازه گیری می کند .شاخص DCR اشاره به پسماند ای دارد که قادر به استفاده مجدد، بازیافت و یا بازیابی نیست، اما در سیستم مدیریت پسماند پایدار، پسماند ها راکد( مانند سنگ ها و شیشه )یا غیر راکد( مانند خاکستر، ماده آلی تثبیت شده از هضم بی هوازی و کمپوست سازی، لجن حاصل از گاززدایی پلاسما و غیره )بازیافت می شوند .مجموع شاخص های RCR ، RECR و DCR باید به لحاظ تئوری با هم منسجم باشند، اما در واقع با توجه به تلفات متابولیکی در طول فرایندهای هوازی و خشک شدن زیستی آن ها، این انسجام کمتر از یک می باشد.

**آزمایش :منابع داده و ارزیابی داده ها**

پردازش مجموعه ای از شاخص های گزارش شده در جدول 1 نیازمند دسترسی به طیف گسترده ای از داده

های معتبر در سطح متمرکز( بایگل و همکاران، ) 0224 برای محاسبه ی تنوع فضایی و مکانی موارد زیر

(کلاورس و همکاران، ) 0210 می باشد:

( a )مقدار پسماند تولید شده برای هر دستهi

( b )مقدار پسماند جمع آوری شده به صورت جداگانه

( c )ضرایب فرایندهای تصفیه پسماند

( d )آنالیز هر نوع پسماند وارد شده به تسهیلات پردازش

( e )مقدار مواد ثانویه به دست آمده توسط پسماند جمع آوری شده.

داده های مورد استفاده در این مقاله از رصدخانه ی استان کاسترا برای انجمن ملی پسماند و با استفاده از

گردآوری داده ها از پایگاه های داده خاص از مکان هایی که به کار تیمار و جداسازی پسماند های شهری

مشغول اند، به دست آمد .به طور خاص، این پژوهش به ارزیابی داده های زیر که در سطوح مختلف موجود

است، می پردازد:

·داده های روزانه در سطح شهری مربوط به همه ی جریانات جمع آوری، موجود در رصدخانه ی

(پسماند استانی( رومئو،0210 داده های سالانه مربوط به جریانات پسماند پردازش شده توسط کارخانه های بازیافت و وارد شده به

بازار به عنوان مواد ثانویه.

آنالیز پسماند باقی مانده که توسط فرایندهای مرتب سازی در کارخانه ی تصفیه ی بیولوژیکی و مکانیکی به دست آمد.

آنالیز پسماند قابل بازیافت مخلوط که از به طور جداگانه توسط کارخانه های بازیافت مواد به دست آمده.

**2.1.آنالیز پسماند جامد شهری و پسماند باقی مانده**

منبع اصلی داده به منظور دستیابی به نرخ جرم واحد( به صورت میلی گرم در روز بیان می شود )از جریانات جمع آوری شده برای هر شهرداری، پایگاه داده اداری بوده که توسط رصدخانه استانی مدیریت می شود .هر شهرداری به صورت روزانه داده های مربوط به مقدار جمع آوری جریانات پسماند ی خود را با استفاده از روابط تعاملی به روز می سازد .مقایسه ی دقیق بین داده های ارائه شده توسط شهرداری ها بعد از جمع آوری و داده های ارائه شده توسط کارخانه های تصفیه ی پسماند باعث افزایش سطح دقت داده ها می گردد .جدول 0 گزارشی از داده های موجود را به منظور دستیابی به مقدار کل هر دسته از پسماند ها برای مجموعه ای از شهرداری ها ارائه می دهد .جدول 0 نیز تعداد ساکنان هر شهر و مقدار تراکم جمعیت را به منظور ارائه ی برخی اطلاعات منطقه ای گزارش می دهد .سیستم جمع آوری برای همه ی شهرداری ها شامل یک شیوه ی جمع آوری درب به درب برای پسماند زیستی که سه بار در هفته جمع آوری می شود،

شیشه، کاغذ و پسماند ترکیبی قابل بازیافت یک بار در هفته و پسماند باقی مانده که یک بار در هفته بازیافت می شود، است .کارخانه های تصفیه شامل

کارخانه های تولید کمپوست برای هضم بی هوازی پسماند زیستی( مالکیت خصوصی)، MRFs برای پلاستیک ها، فلزات، آلومینیوم و مواد سلولزی، یک کارخانه ی بیولوژیکی مکانیکی( مالکیت دولتی)، یک محل دفن( مالکیت دولتی )و ( یک کوره پسماند سوز- مالکیت دولتی یا خصوصی )می باشد.

1کیلوگرم / روشن سازی داده های جریان توده ای امکان محاسبه ی تولید سرانه ی پسماند که معادل با09 در هر ساعت در روز می باشد را فراهم آورده که مطابق با داده های کشورهای با درآمد بالا می باشد، اما مطابق با داده های شهرهای بسیار بزرگ نیست( هوروگ و بادا تتا، .) 0210 روشن سازی داده های نرخ جریان توده ای ترکیب پسماند جمع آوری شده را نیز مشخص می سازد .با استفاده از ترکیب پسماند جامد تهیه شده به عنوان یک داده ی ورودی، ترکیب پسماند بازیافتی برآورد می شود .هر بخش از پسماند در بخش بازیافتی می تواند توسط رابطه ی زیر به دست آید که نشان دهنده ی تعادل جرم برای دسته یi

پسماند می باشد:

$$i_{restwaste} = \left(i_{MSW} P_{MSW} - i_{SC} P_{SC}\right) / P_{RES} = i_{MSW} / \left(1-SDR\right) - i_{SC} SDR / \left(1-SDR\right) \quad (1)$$

که i نشان دهنده ی دسته پسماند می باشد که شامل پسماند زیستی، فلزات، پلاستیک ها و غیره است،

SDRشاخص نرخ انحراف است، P نرخ جرم( معمولا به عنوان میلی گرم در روز بیان می شود )برای پسماند جامد شهری، پسماند باقی مانده و پسماند جمع آوری شده و جداسازی شده می باشد .ترکیب حاصل از پسماند بازیافتی همراه با ترکیب مرجع برای پسماند جامد شهری در جدول 0 گزارش شده است .این جدول گزارشاتی درباره ی مقدار شاخص های nie برای پسماند باقی مانده و جداسازی شده اراه می دهد .باید توجه کرد که تعداد خاصی آنالیز برای پسماند باقی مانده در ورودی تسهیلات MBT موجود می باشد .

این1 تن پسماند باقی مانده و توسط دنبال کردن دستورالعمل های / آنالیز توسط نمونه برداری از ANPA RTI CTN 1 به دست می آید .آنالیز پسماند در بخش های زیر صورت گرفت :بخش ریز کمتر از 12 میلی متر، پسماند زیستی، کاغذ، مقوا، کامپوزیت ها، منسوجات، منسوجات بهداشتی، ورقه های پلاستیکی، بسته بندی پلاستیکی، پلاستیک ها، لاستیک، شیشه، فلزات( آهن)، فلزات غیرآهنی، چوب، چرم، پسماند های الکترونیکی و غیره( طبقه بندی نشده .)میانگین ترکیب حاصل پسماند باقی مانده مطابق با میانگین ترکیب به دست آمده توسط محاسبه و گزارشات جدول ۹ می باشد.

**جدول :2 داده های مربوط به مقادیر پسماند برای هر شهرداری در یک محیط بر اساس میلی گرم در سال، سلول های خاصی نشان دهنده ی صفر میلی گرم در سال می باشد.**

| دسته بندی زباله | شهرداری | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ساکنان | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 | M9 | M10 | M11 | M12 | M13 | M14 | M15 | M16 | M17 | Ambit |
| ساکنان (درهزد) | 5364 | 9747 | 18,839 | 14,159 | 78,693 | 5062 | 7224 | 10,845 | 38,690 | 40,629 | 7727 | 7557 | 17,675 | 6683 | 21,746 | 12,196 | 14,210 | 316,676 |
| تراکم | 1.7 | 3.1 | 5.9 | 4.5 | 24.8 | 1.6 | 2.3 | 3.4 | 12.2 | 12.8 | 2.4 | 2.4 | 5.6 | 2.0 | 6.9 | 3.9 | 4.5 | 100 |
| زباله باقیمانده | 382 | 2869 | 390 | 2172 | 1426 | 619 | 4207 | 1385 | 1070 | 1328 | 4101 | 2396 | 644 | 1126 | 4691 | 1568 | 1306 | 1163 |
| زباله زیستی | 880 | 2776 | 6253 | 3969 | 23,259 | 678 | 1412 | 2186 | 11,746 | 9960 | 1505 | 1402 | 2624 | 1824 | 4866 | 3570 | 2228 | 81,136 |
| قابل بازیافت مخلوط | 723 | 1070 | 2056 | 1332 | 10,449 | 680 | 1169 | 1312 | 4414 | 6763 | 1312 | 978 | 2624 | 894 | 2905 | 1451 | 1913 | 41,845 |
| کاغذ و مقوا | 111 | 215 | 261 | 226 | 1677 | 59 | 137 | 201 | 776 | 1167 | 196 | 153 | 396 | 154 | 532 | 174 | 267 | 6681 |
| شیشه | 128 | 154 | 632 | 294 | 2279 | 99 | 404 | 435 | 1265 | 800 | 116 | 59 | 312 | 117 | 978 | 212 | 286 | 8411 |
| پلاستیک | 155 | 53 | 310 | 284 | 1143 | 83 | 155 | 223 | 879 | 755 | 135 | 147 | 312 | 132 | 559 | 65 | 176 | 5516 |
| فلزات | - | 24 | - | - | - | - | - | - | - | 11 | - | 2 | 1 | - | - | - | 6 | 44 |
| زباله توده ای | 99 | 12 | - | - | 130 | - | - | - | - | - | - | 19 | - | - | - | - | 42 | 263 |
| باطری ها | - | - | 155 | 34 | 1430 | - | 62 | 129 | 265 | 68 | 55 | | 19 | 45 | 143 | 61 | - | 2467 |
| داروها | 0.2 | - | 0.5 | 0.2 | 13.9 | - | 0.9 | 0.5 | - | 0.5 | 0.3 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | - | 0.1 | 0.3 | 18 |
| منسوجات | 0.1 | - | 0.5 | 0.9 | 2.9 | - | 0.2 | 0.2 | - | 2.9 | 0.3 | 0.0 | 0.5 | 0.4 | 1.8 | 0.3 | 0.2 | 11 |
| چوب | 14.3 | 67.1 | 26.4 | 6.8 | 315.4 | 1.2 | 14.2 | 25.9 | 74.0 | 51.3 | 12.8 | 22.1 | 19.4 | 11.9 | 49.4 | 30.3 | 23.0 | 765 |
| روغن | 19.0 | 135.5 | 62.8 | 14.5 | 65.0 | - | 11.3 | 4.7 | 60.3 | 153.3 | 2.7 | 29.3 | 23.3 | - | 19.1 | 14.2 | 28.5 | 643 |
| رنگ | 21.0 | 40.1 | 24.8 | - | - | 3.1 | - | - | - | 83.6 | - | 24.7 | 27.3 | - | - | - | 48.2 | 273 |
| تایر | 0.4 | 0.3 | 1.4 | - | 3.6 | - | - | 0.5 | 3.0 | 0.8 | - | 0.7 | 1.4 | 0.1 | 2.6 | - | 1.8 | 17 |
| زباله راکد | 58.0 | - | - | - | 124.1 | - | - | - | - | 388.4 | - | - | 75.7 | - | - | - | 0.3 | 646 |
| مقدار سرانه | 0.7 | 0.6 | 1.2 | - | | - | - | - | - | 2.2 | - | 5.2 | 0.8 | 6.1 | | - | 0.4 | 18 |
| زباله باقی مانده | - | - | - | - | 1.2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| | - | - | - | - | 11.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 11 |
| | 59.1 | 38.9 | 36.1 | 35.1 | 43.1 | 51.7 | 58.1 | 51.6 | 39.8 | 51.0 | 54.9 | 50.7 | 59.2 | 42.7 | 51.1 | 36.0 | 53.6 | 45.5 |
| | 0.45 | 0.78 | 0.91 | 0.77 | 0.81 | 0.37 | 0.53 | 0.55 | 0.83 | 0.67 | 0.53 | 0.51 | 0.41 | 0.77 | 0.61 | 0.80 | 0.45 | 0.70 |

### 2.2.آنالیز پسماند قابل بازیافت ترکیبی

ترکیب پسماند قابل بازیافت ترکیبی حاصل از سیستم جمع آوری و ارسال جداگانه، با استفاده از آنالیز صورت گرفته در ورودی MRF به دست آمد .در این کارخانه، پسماند قابل بازیافت به مواد آلاینده جداسازی شده، پلیمرها بر اساس نوع و رنگ انتخاب شده و به محل پردازش مکانیکی ارسال می شوند .نمونه های متعدد پسماند به منظور تشخیص و تعیین مواد آلاینده، یعنی موادی که قابل بازیافت نیستند( مانند ترموست ها، کامپوزیت ها )یا موادی که نباید وجود داشته باشند( مانند پسماند زیستی )مورد آنالیز قرار می گیرند .آنالیز پسماند ترکیبی در حال ورود به MRF در جدول 0 ارائه شده است .برنامه نمونه برداری به شیوه ی زیر سازماندهی شده است ) a ( :هر روز یک مقدار خاص از پسماند از کامیون های مختلف درست بعد از توزین گرفته می شود، ) b ( هنگامی که مقدار خاصی پسماند ارائه شد، این مقدار کمتر از122 کیلوگرم نباشد، نمونه برداری و آنالیز شروع می شود، ) c ( تحلیلگران نمونه برداری را با دنبال کردن دستورالعمل خاصی به منظور تعیین ظروف مایع( سه بعدی)، ورقه های بزرگتر و کوچکتر از اندازه یA312 دو بعدی، پسماند زیستی، فلزات، مواد آلاینده انجام می دهند .تعداد نمونه های به کار گرفته در این مطالعه مرتبط با آنالیز پسماند قابل بازیافت مخلوط بوده و نباید کمتر از 121 باشد .برنامه نمونه برداری برای همه ی MRFs مشابه بوده و توسط شورای ملی بسته بندی پلاستیک در چارچوب یک موافقت نامه بین شهرداری های ایتالیا و شورای ملی بازیافت مواد بسته بندی به تصویب رسید CONAI 0211 .

**جدول :2 ترکیب پسماند جامد شهری، پسماند جمع آوری شده و بازیافتی که توسط داده های تجربی به دست آمده است.**

| زباله جامد شهری | مقدار (مگاگرم در سال) | nie | |
|---|---|---|---|
| فلزات | 5057 | | 3.4% |
| زباله زیستی | 53,995 | | 36.3% |
| پلاستیک ها | 26,774 | | 18.0% |
| کاغذ و مقوا | 32,129 | | 21.6% |
| شیشه | 10,412 | | 7.0% |
| غیره | 20,378 | | 13.7% |
| کل | 148,746 | | 100.0% |
| زباله باقی مانده | | | |
| فلزات | 4048 | 80% | 5.0% |
| زباله زیستی پلاستیک | 14,050 | 26% | 17.5% |
| کاغذ و مقوا | 21,432 | 80% | 26.7% |
| شیشه | 25,117 | 78% | 31.2% |
| غیره | 4733 | 45% | 5.9% |
| کل | 11,004 | 54% | 13.7% |
| زباله جمع آوری شده و ارسال شده | 80,385 | 54% | 100% |
| فلزات در زباله جامد شهری | 1009 | 20% | 1.5% |
| زباله زیستی | 39,945 | 74% | 58.5% |
| پلاستیک در زباله جامد شهری | 5342 | 20% | 7.8% |
| کاغذ و مقوا | 7012 | 22% | 10.2% |
| شیشه | 5679 | 55% | 8.3% |
| غیره | 9374 | 46% | 13.7% |
| | 68,361 | 46% | 100% |

## نتایج و بحث و بررسی

### 4.1.تشریح سناریوهای موردی پایه و جایگزین

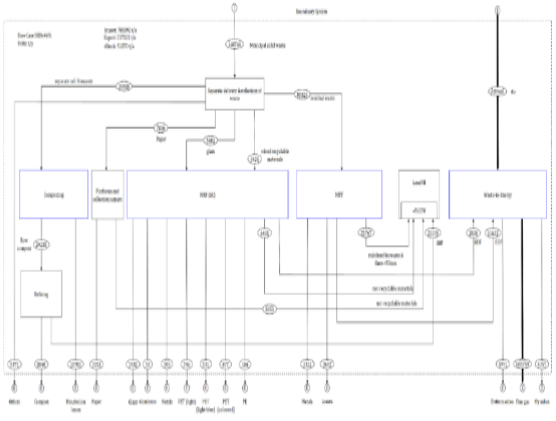
نمودار بلوک تعیین شده مطالعه موردی در شکل 0 گزارش شده است . جریانات و سهام ها با استفاده از

تعادل جرم انجام شده توسط نرم افزار STAN برای آنالیز جریان موج تعیین گردید( کنسیک و رابرگر) 0224هر بلوک نشان دهنده ی یک فرایند یا یک سیستم فرعی درگیر در مرزهای سیستم می باشد، در حالی که هر فلش مربوط به نرخ جریان جرم یک ماده / پسماند می باشد .موارد پایه شامل :مجموع جداگانه ی درب به درب، یک کارخانه ی کمپوست سازی به منظور تیمار پسماند زیستی با تولید بخش کمپوست(11بعد از تصفیه )و یک ماده ی ثابت حاوی مواد آلاینده ی جمع آوری شده با پسماند زیستی و یک پسماند زیستی تاحدی تثبیت شده، یک MRF که پسماند قابل بازیافت را ذخیره و تمیز کرده و با تولید دیگر خروجی ها و عمدتا تولید مواد پلاستیکی پسماند را مجددا پردازش می کند و یک کارخانه ی MBT که پسماند باقی مانده را به دو جریان اصلی پسماند قابل احتراق براب سوختن و پسماند زیستی که توسط مجموعه جداگانه ای( حدود 12 درصد )آلوده به بخش های ریز مانند شیشه، سنگ ها، سرامیک، فلزات و غیره با اندازه ی کمتر از 12 میلی متر تقسیم می کند، می باشد .مورد دوم به صورت هوازی قبل از دفن تثبیت می شود.

سناریوی جایگزین با جایگزینی تسهیلات MBT با یک MRF که قادر به جداسازی مواد قابل بازیافت از پسماند باقی مانده و همچنین قادر به تبدیل بخش غیرقابل بازیافت به سوخت باکیفیت بالای حاصل از پسماند می باشد، طراحی شده است .کارخانه کمپوست سازی توسط تسهیلات منسجم بی هوازی هوازی به منظور تولید گاز زیستی و کاهش ترکیبات آلی فرار سمی جایگزین شده است .فرایندهای واحد موجود در سناریو در زیر شرح داده شده است.

MBT : کارخانه ای که پسماند باقی مانده را با حذف پسماند زیستی( مواد آلی فساد پذیر )و ذرات سنگین و کوچک( شیشه، سنگ و غیره )به منظور تولید سوخت مناسب برای کارخانه ی تولید انرژی تیمار می کند.

(آرچر و همکاران، .) 0221 پسماند زیستی، در ترکیب با بخش بالایی از مواد ساکن، تحت فرایند تثبیت هوازی به ماده ی آلی تثبیت شده تبدیل می شود .سوخت حاصل از استفاده مجدد از پسماند (UNI)، 0211توسط پسماند جامد با احیاء این نوع تاسیسات ) MBT ( به دست می آید.



**شکل :2 سناریوی موردی پایه . A1 آنالیز جریان مواد**

MRF : کارخانه ای که فلزات آهنی، شیشه، آلومینیوم و ذرات با پسماند قابل بازیافت ترکیبی را انتخاب می کند( کارياج و همکاران، 0220 ، مشاوران و بخش بازیافت، .) 1991 ماده با شکسته شدن کیسه و جداسازی10ماده ی فشرده رها می شود .غذا از طریق یک صفحه چرخشی که مواد را به سه بخش تقسیم می کند، عبور داده می شود:

بخش کمتر از 12 میلی متر که به عنوان یک جریان پسماند برای دفع جمع آوری می شود.

بخش های بین 12 تا 022 میلی متر که بر روی یک جداساز بالیستیک قرار می گیرد. بخش های با اندازه ی بزرگ( بیش از 022 میلی متر )برای مرتب سازی دستی. هر نوع پلاستیک یا فلز از دسته ی با اندازه ی بزرگ در این نقطه به دستگاه اضافه می شود .جداساز بالیستیک مواد مسطح و سبک( مانند روزنامه، مقوا، فیلم پلاستیکی و غیره )را از مواد سنگین( مانند فلزات، بطری های پلاستیکی و غیره )جدا می کند .هر نوع ترکیب ریزی که در دستگاه باقی مانده نیز در این مرحله حذف می شود .مواد ثانویه ی زیر می تواند به دست آید : پلی اتیلن ترفتالات رنگی، آبی و سبک، پلی اتیلن، فلزات( آهنی)، آلومینیوم و شیشه. پلت فرم ها، ایستگاه های انتقال اغلب در همان مکان MRF قرار دارند که جریان مواد روزنامه، شیشه، فلز و غیره از بخش تجاری و یا توسط مراکز جمع آوری را قبل از ارسال به کارخانه های بازیافت ذخیره می کنند. کارخانه تولید انرژی پسماند مبتنی بر احتراق :کارخانه ای بوده که پسماند یا سوخت حاصل از پسماند را با

استفاده از اکسیداسیون انجام شده با هوا به انرژی تبدیل می کند .در سوختن پسماند از هوای مازاد در محدوده ی بین 42 تا 102 درصد( تا بالای 022درصد برای پسماند خطرناک )بسته به ویژگی های پسماند و فناوری کوره

استفاده می شود( نیسن، .) 0220 کارخانه تولید انرژی پسماند در مطالعه ی موردی یک کارخانه ی احتراق مجهز به کوره دریچه دار متحرک می باشد . نسبت هوا به سوخت برابر با 10 تن در تن به منظور تضمین 11 درصد حجمی اکسیژن آزاد در گاز سوختی می باشد، خاکستر یک نوع پسماند ی غیرخطرناک بوده که توسط فرایندهای بازیافت به دست می آید، و خاکستر بادی می تواند با دفن ویژه پسماند خطرناک یا جامدسازی آن ها به دست آید.

**کارخانه ی تولید انرژی پسماند مبتنی بر ایجاد گاز پلاسما-**

کارخانه ای بوده که سوخت ناشی از پسماند را به سوخت گازی سنتزی متشکل از کربن مونوکسید، هیدروژن، دی اکسید کربن، هیدروکربن های سبک( از جمله متان، هیدروژن سولفید، آمونیاک و غیره )با استفاده از فرایند شیمیایی حرارتی تحت شرایط استوکیومتری تبدیل می کند .این فرایند سوخت را به سوخت های گازی، گاز طبیعی سنتزی، سوخت های هیدروژن و مایع تبدیل می کند( بیان و همکاران، 0210، اتچ، 0229 ، هیگان و براگت، 0220 ، ماستلون، .) 0211 کارخانه تولید انرژی پسماند در سناریوهای 2کار می کند و / جایگزین یک کاربراتور پلاسمای اکسیژن بوده که با نسبت اکسیژن به سوخت معادل با01 خاکستر خنثی و مقدار کمی خاکستر بادی را تولید می کند . NRG .0218

**کارخانه هضم بی هوازی**

یک کارخانه بیوتکنولوژیکی بوده که بخش زیست سازگار پسماند زیستی را به لطف فعالیت میکروبیولوژیکی پیچیده تثبیت می کند .در طول فرایند بی هوازی، بخشی از گاز زیستی( معمولا 10 تا 14 درصد وزنی )به ترکیبی که عمدتا از متان و دی اکسید کربن( گاز زیستی )تشکیل شده، و به سوبسترای جامد خنثی(کمپوست خام )با استفاده از یک فرایند سریالی بی هوازی هوازی تبدیل می شود .معمولا، کمپوست برای- اهداف کشاورزی مفید بوده و می تواند با تمیز کردن پسماند زیستی( از مجموعه جداگانه )به دست آید، در حالی که SOM منحصرا باید به عنوان یک ماده ی پوششی در دفن پسماند مورد استفاده قرار گیرد.

**4.2.ارزیابی شاخص های سناریوی موردی پایه**

مقادیر nie که اشاره به مورد پایه دارد، در جدول 0 گزارش شده و به منظور تعیین بلوک اول( مجموعه جداگانه )آنالیز جریان مواد گزارش شده در شکل 0 مورد استفاده قرار می گیرد( با استفاده از STAN، nie مربوط به ضرایب انتقال .) مقادیر aie با آگاهی از مقدار بخش آلاینده ی مواد در MRF برای مورد پایه و با استفاده از روابط مشابه در معادله ی )0 ( که با اشاره به فلزات نوشته می شود، به دست می آید .مقادیر ماده ی آلاینده توسط بررسی های محل و آنالیز در MRF به دست می آید:

$$aie = nie - \left[ \left( CM_{metals} \cdot \%metals_{sep-col} \cdot SDR \right) / \%metals_{MSW} \right] \quad (2)$$

مقادیر همه ی شاخص ها با استفاده از نتایج آنالیز جریان مواد بر اساس مقادیر nie و aie به دست آمد .به منظور روشن سازی روش محاسبه، جدول 8 جزئیات محاسبات را گزارش کرده است.

مقادیر شاخص ها می تواند با اشاره به فرایند واحد سیستم مدیریت پسماند و با اشاره به کل سیستم محاسبه شود .در جدول1 ، شاخص های مربوط به جریانات جرم با استفاده از مجموعه جداگانه همراه با

شاخص های به دست آمده با در نظر گرفتن کل سیستم تعیین شد .در محاسبه ی شاخص های جهانی، فرضیات زیر در نظر گرفته می شود:

RCR: کاغذ، شیشه، پلیمرها، فلزات، 02 درصد خاکستر پایه و 02 درصد موارد دیگر گنجانده می شود.

RCER : کمپوست، گاز زیستی، مجموع پسماند برای سوزاندن( با کسر خاکستر بادی و خاکستر پایه)،02 درصد خاکستر پایه و 02 درصد غیره برای سناریوهای موردی پایه گنجانده می شود، کمپوست، گاز زیستی و گاز سنتزی( با کسر اکسیژن )برای سناریوهای جایگزین در نظر گرفته می شود.

DCR 82درصد خاکستر پایه، خاکستر بادی، 82 درصد غیره و همه ی پسماند تجمع یافته در فرایند دفن: در نظر گرفته می شود.

18 شاخص های به دست آمده برای مورد پایه 81 ( درصد ) SDR = نشان می دهد که جداسازی پسماند خانگی امکان کاهش بالای پسماند زیستی 28 ( درصد )را فراهم می آورد، در حالی که جداسازی فلزات و پلاستیک ها 02 ( درصد )مشکل تر می باشد، به طوری که مقدار زیادی از این مواد در پسماند باقی می ماند .سپس مقدار زیادی پلاستیک به منظور بازیافت انرژی به کار گرفته شده، به طوری که شاخص بازیافت برای این 9درصد می باشد 20 .درصد پلاستیک ها به عنوان یک جریان جداگانه جداسازی و جمع آوری / ماده تنها0 شده و به پلیمرهای ثانویه، با توجه به وجود مواد آلاینده و پلیمرهای غیرقابل بازیافت تبدیل می شوند. شاخص جهانی RCR اشاره به پسماند جامد شهری تنها 12 درصد دارد :این امر نشان می دهد که اگرچه ارسال پسماند جداگانه بالاست 81 ( درصد)، اما بازیافت ماده پایین است .بزرگترین بخش فلزات با استفاده از جمع آوری پسماند قابل بازیافت ترکیبی جداسازی نمی شوند :یک 11 rcrدرصد نشان می دهد که49 درصد از فلزات در جریانات دیگر قرار دارند . شاخص بازیابی به لطف تبدیل سوخت قابل استفاده مجدد به انرژی 14 ( درصد پسماند جامد شهری به منظور تولید انرژی بازیافت می شود )بالا بوده، در حالی که سهم کمپوست از پسماند زیستی کمتر از 1 درصد می باشد .انحراف پسماند به سطح قابل قبولی 84 ( درصد )می رسد، اما این مقدار می تواند با افزایش نرخ بازیافت بهبود یابد( یعنی کاهش پسماند بازیافتی و جریانات دیگر.)

**جدول :4 مثالی از روش محاسبه جهت ارزیابی مقادیر شاخص که از تاریخ آنالیز جریان مواد شروع می شود**

| آنالیز کالا | مقدار تولیدی | nie | مقدار حذف شده | aie | مقدار پسماند باقی مانده | rcr | مقدار بازیابی | recr | مقدار بازیافتی | dcr | مقدار دفن شده |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| فلز | ۳/۴ | ۵۰۵۷ | ۲۰ | ۱۰۰۹ | ۱۵ | ۷۷۳ | ۴۰۴۸ | ۱۰/۹ | ۵۵۳ | ۸۴ | ۴۵۰۴ |
| پسماند زیستی | ۳۶/۳ | ۵۳/۹۹۴ | ۷۴ | ۳۹۹۴۴ | ۵۰ | ۲۶۹۰۷ | ۱۴۰۵۰ | ۰ | ۰ | ۶۵ | ۳۵۲۵۱ |
| پلاستیک | ۱۸ | ۲۶/۷۷۴ | ۲۰ | ۵۳۴۲ | ۱۵ | ۴۰۹۳ | ۲۱۴۳۲ | ۹/۳ | ۲۴۹۶ | ۱۸ | ۴۸۳۵ |
| کاغذ | ۲۱/۶ | ۳۳/۱۲۹ | ۲۲ | ۷۰۱۱ | ۱۲ | ۳۹۶۰ | ۲۵۱۱۷ | ۹/۸ | ۳۱۵۳ | ۱۸ | ۵۸۶۵ |
| شیشه | ۷ | ۱۰/۴۱۲ | ۵۴ | ۵۶۷۸ | ۳۱ | ۳۲۰۷۸ | ۴۷۳۳ | ۱۵/۳ | ۱۵۹۱ | ۸۵ | ۸۸۲۱ |

**جدول :5 مقادیر شاخص های سناریوی موردی پایه در SDR معادل با 44 درصد.**

| شاخص هایی برای سناریوی موردی پایه | | | | |
|---|---|---|---|---|
| e | aie | rcr | recr | dcr |
| )% | 15% | 11% | 0% | 89% |
| )% | 15% | 9% | 73% | 18% |
| ‹% | 50% | 0% | 15% | 39% |
| ?% | 12% | 10% | 72% | 18% |
| 5% | 31% | 15% | 0% | 85% |
| IE | AIE | RCR | RECR | DCR |
| 5% | 30% | 10% | 38% | 41% |

### 4.3.آنالیز جریان مواد و ارزیابی شاخص های سناریوی جایگزین

هدف سناریوهای جایگزین به حداکثر رساندن شاخص های عملکرد مربوط به بازیافت مواد و انرژی و به حداقل رساندن دفن می باشد .دو مجموعه از سناریوها طراحی شده است :در سناریوی اول ساختار سیستم مدیریت پسماند مشابه با مورد پایه بدون هیچ گونه تغییر در مورد ابعاد تکنولوژیکی می باشد، اما مقادیرnie تا زمانی که حداکثر مقدار قابل دستیابی 12 SDR درصد )برسد، افزایش می یابد .در مجموعه دوم) سناریوها، انتخاب متفاوتی در رابطه با فرایندهای تیمار انجام می شود.

1.فرایند کمپوست سازی پسماند زیستی با بخش هضم هوازی به منظور تولید گاز زیستی علاوه بر کمپوست منسجم می گردد .گاز زیستی با عملکرد 12 درصد وزنی با اشاره به پسماند زیستی تولید شده و تا 11 درصد آن را متان تشکیل می دهد .با توجه به 81 درصد SDR ، مقدار aie/nie برای

پسماند زیستی نشان می دهد که 00 درصد ورودی درواقع پسماند زیستی بوده، به طوری که گاز زیستی بر اساس مقدار واقعی ماده آلی موجود در جریان محاسبه می شود .نسبت aie/nie در12 درصد /2(. SDR بالاتر می باشد 280 ( MBTبه منظور به حداکثر رساندن بازیافت مواد به جای بازیابی انرژی به MRF ارتقاء می یابد.

واحد پردازش به منظور تولید سوخت ثانویه جامد با عملکرد بالا به جای RDFاضافه می شود .این واحد مقدار فلزات، گازها، سرامیک و غیره را در سوخت کاهش داده و میانگین اندازه و شد پسماند را کاهش و همگن سازی می کند. فرایند گازسازی پلاسما به جای فرایند سوزاندن به منظور تبدیل سوخت ثانویه ی جامد به گاز زیستی به جای انرژی با استفاده از کارخانه ی بسیار کوچک تر از یک کوره مخصوص سوزاندن آشغال در نظر گرفته می شود . سوخت ثانویه با کیفیت بالا حاوی مقدار کمی فلزات و مواد معدنی به لطف پردازش شدید و تولید خاکستر به جای خاکستر پایه با کاهش هزینه های اقتصادی و نگرانی های زیست محیطی می باشد .تولید خاکستر خنثی گزینه ی بهتری به منظور دستیابی به11 مواد قابل بازیابی بوده که می تواند برای ساخت جاده مورد استفاده قرار گیرد .کاربراتور توسط 4مگاژول / اکسیژن( خلوص 94 درصد )تغذیه شده و یک گاز سنتزی با مقدار حرارت دهی پایین2 بر کیلوگرم را تولید می کند.

### 4.4 Nie.به عنوان تابعی ازSDR

به منظور دستیابی به مقدار خاصی از شاخص SDR ، انتخاب مناسب مجموعه ای از مقادیر nie ضروری می باشد .سپس شناسایی ارتباط بین مقادیر nieو SDR که با استفاده از داده های مربوط به 1 سال( از سال 0224تا 0210 )با همبستگی هر دسته i با SDR حاصل از دوره به دست آمده، امری ضروری می باشد.

شکل 0 مقادیر تجربی داده های nie-SDR را_____ همراه با منحنی درون یابی آن را نشان می دهد .لازم به ذکر

است که عملکرد در محدوده ی کل صفر تا 122 درصد معتبر نیست، چون ظرفیت پسماند خانوار نمی تواند

بدون هیچ گونه تبعیضی افزایش یابد .جالب است که نرخ افزایش تولید پسماند زیستی توسط تابع لگاریتمی مشخص شده، در حالی که افزایش دسته های دیگر به پیروی از قانون قدرت تعیین می شود، چون تشخیص و دفن پسماند زیستی راحت تر می باشد .یکی از عواقب مهم این رفتار این است که امکان غلبه بر مقدار12 درصد برای SDR با تثبیت nie برای دسته های شیشه، فلزات، پلاستیک ها، روزنامه و پسماند زیستی در مقدار حداکثر، بدون قطع دسته های دیگر پسماند مانند WEEE ، منسوجات، تایرها و غیره وجود ندارد . این مدل سازی منجر به چندین داده تجربی شده که 12 تا 11 درصد حداکثر SDRبا استفاده از بهترین عملکرد مرحله ی ارسال پسماند به دست می آید( کنسونی و همکاران، .) 0211 با توجه به مواد آلاینده ی

موجود در پسماند قابل بازیافت تثبیتی در حال ورود به مرحله پردازش MRF، همبستگی ریاضیاتی با تناسب مقادیر تجربی مواد آلاینده در مقادیر مختلف SDR به دست آمده توسط بررسی های محل به دست

آمد .همبستگی به صورت زیر می باشد:

$$CM = 0.509 \cdot SDR \qquad (3)$$

مقادیر مواد آلاینده در جریانات دیگر یعنی پسماند زیستی، کاغذ، شیشه و غیره در مقادیر ثابتی حفظ شده که این مقادیر به صورت تجربی با اشاره به مورد پایه 81 ( درصد ) SDR = به دست می آید، چون تغییرات آن ها با SDR محدود بوده و داده های کافی برای تناسب در این زمینه موجود نیست.

شاخص های مربوط به سناریوهای جایگزین تحت فرضیات زیر طراحی و مدل سازی شده اند.

قوانین مربوط به جداسازی پسماند خانگی بدون تغییر نیست( شیشه، پسماند قابل بازیافت ترکیبی، پسماند زیستی، پسماند باقی مانده.)

ترکیب پسماند جامد شهری در جدول 0 ارائه شده است.

12 ضرایب قطع اسمی برای هر دسته از پسماند می تواند با استفاده از روابط شکل 0 ارزیابی شود.

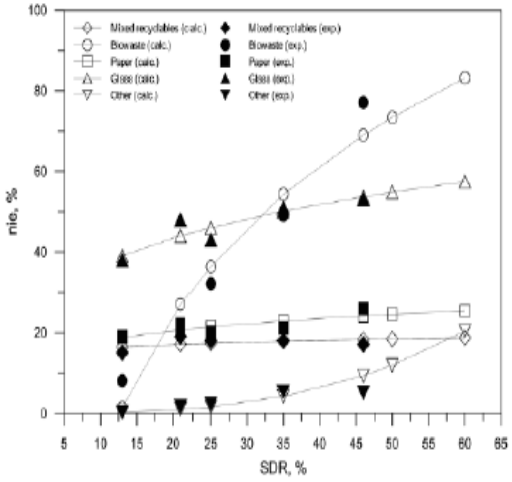
شکل 8 آنالیز جریان ماده مربوط به سناریوی جایگزین B2 را نشان می دهد که برای ضرایب قطع اسمی به صورت جداگانه جریانات پسماند جمع آوری شده مشابه با مورد پایه A2 می باشد، اما زیرساخت های تکنولوژیکی متفاوتی به منظور مدیریت پسماند وجود دارد .دیاگرام جریان MRF در شکل 1 گزارش شده است .پردازش مواد و تاسیسات بازیافت مقدار مواد ثانویه بازیافتی و تولید سوخت ثانویه ی باکیفیت را افزایش می دهد.

نتایج اصلی از نظر شاخص های عملکرد برای همه ی سناریوها در جدول 1 گزارش شده است .توسط SOM .توسط تیمار پسماند زیستی به منظور دفن به دست می آید، چون مواد را برای سناریوهای A1 و A2 پوشش داده

و برعکس، در سناریوهای جایگزین B1 و B2 ، این ترکیب به عنوان سوخت کم کالری استفاده می شود.

بازیافت مواد به لطف فرایندهای مرتبط سازی و انتخاب در حال وقوع در MRFافزایش می یابد.

نتایج خوبی از نظر شاخص های RCR با حرکت از سناریوی A به B به دست آمد که این موضوع نشان می دهد که مرتب سازی گسترده پسماند خانگی مفید نیست .در واقع، مقادیر RCR و SDR معادل با 81 و12 درصد کاملا مشابه می باشد 12 ( در مقابل 10 درصد و 11 در مقابل 12 درصد به ترتیب برای سناریوهای A وB




**شکل :2 مقادیر تجربی( خالی )و محاسبه شده( تیره رنگ nie )در مقادیر مختلفSDR**

### 4.5.ملاحظات اقتصادی مقدماتی

تعیین عملکرد شاخص های گزارش شده در پاراگراف های زیر به ما امکان کسب اطلاعاتی درباره ی اثرات گزینه های فناوری بر نتایج جریانات مواد را ارائه می دهد .این گزینه ها ویژگی های زیست محیطی اقتصاد زنجیره ی مدیریت پسماند را نیز تحت تاثیر قرار می دهد .اثرات زیست محیطی با استفاده از ارزیابی چرخه عمر و روش های ارزیابی خطر در توسعه تحقیقات آینده مورد آنالیز قرار می گیرد .عملکرد اقتصادی ارزیابی شده و در اینجا با توجه به مرز سیستم ارزیابی جریان مواد و با در نظر گرفتن ملاحظات زیر گزارش شد:

( a )هزینه های پردازش شامل آیتم های مالی( بدهی )و هزینه های اداری نیست .این هزینه ها شامل هزینه های کارگری، هزینه های سرمایه ثابت در 12 سال، مصرف انرژی و مواد و غیره می باشد.

( b )درآمد حاصل از فروش مواد ثانویه، بخش های انرژی( گاز زیستی و گاز سنتزی)، انرژی الکتریکی و حرارتی به صورت جداگانه توسط هزینه های پردازی تسهیلات در نظر گرفته می شود.

( c )حق پسماندسوزی مقدار net توسط تعادل اقتصادی انجام شده حول کل سناریوی مدیریت پسماند حاصل می گردد.

( d )هزینه پردازش برای سیستم جمع آوری عمدتا توسط آیتم های زیر تشکیل شده است :حقوق کارکنان، هزینه های سرمایه ای، استهلاک و نگه داری کامیون ها، هزینه های سوخت حمل و نقل(که وابسته به ساختار بزرگراه های شهری و محلی سازی امکانات می باشد)، بیمه و غیره .هزینه ی این مرحله با مقادیر SDR بزرگتر از 12 درصد متغیر نیست، چون روش جمع آوری از خیابان قادر به دستیابی به این مقادیر نیست و روش انتخابی لزوما جمع آوری درب به درب می باشد .هزینه ی این روش با تغییر مصرف پسماند جمع آوری شده تغییر نمی کند، در صورتی که تولید کل ثابت بماند، چون تعداد کارگران و ناوگان حمل و نقل ثابت باقی می ماند .هزینه ی جمع آوری پسماند

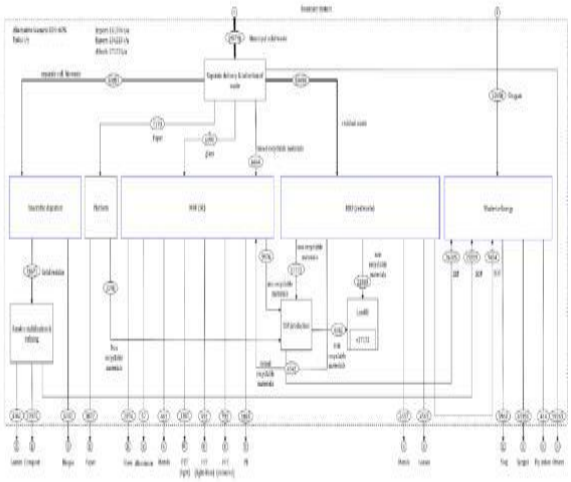
در محدوده ی 142 تا 002 تن برای مجموعه ای از شهرداری ها در نظر گرفته می شود.

( e )هزینه های پردازش هضم بی هوازی و کارخانه کمپوست سازی کاملا مشابه می باشد، چون کارخانه کمپوست سازی نیازمند انرژی الکتریکی بیشتری برای ورود هوا می باشد، اما کارخانه ی هضم نیازمند نگه داری بیشتر می باشد . هزینه پردازش آن ها تا € 42 در هر تن ثابت می باشد.

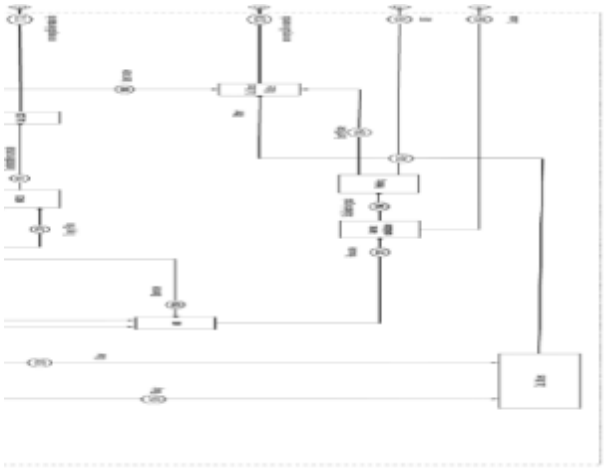
( f )هزینه ی پردازش تسهیلات سوختن انرژی مربوط به مورد پایه قابل مقایسه با هزینه ی کوره های دیگر در اروپا می باشد، اما درآمد آن توسط انرژی الکتریکی انتقال یافته به شبکه با توجه به انگیزه های اقتصادی بالا، بسیار بالاتر می باشد .در حالی که در اروپا، حق پسماندسوزی احتراق در محدوده ی 122 تا € 112در هر تن می باشد، مرکز مرجع به لطف مشوق های موجود دارای حق € پسماندسوزی € 22 در هر تن می باشد .محاسبه ی سناریوی موردی پایه هزینه ی خالص22 در تن را در نظر می گیرد که شامل درآمد نیز می باشد( یعنی نشان دهنده ی حق پسماندسوزی بوده و هزینه های پردازش را ارائه نمی کند.)

( g )در سناریوهای جایگزین، دو محاسبه ی مختلف انجام می شود :در یک مورد، حق پسماندسوزی مشابه کوره تولید خاکستر در نظر گرفته می شود( از جمله درآمد حاصل از انرژی)، در مورد دوم که معمولا قابل کاربردتر می باشد، هزینه های پردازش کاربراتور با دمای بالا معادل با € 102 در تن در نظر گرفته می شود .در این مورد دوم، گاز سنتزی به عنوان گاز دارای ارزش اقتصادی معادل با مقدار کالری متان در نظر گرفته می شود.

( h )هزینه های پردازش MRF برابر با € 22 در تن می باشد.



**شکل :4 سناریوی جایگزین . B2 آنالیز جریان مواد**



**شکل :5 آنالیز جریان مواد مربوط به MRF که فرایند پسماند باقی مانده با توجه به سناریوی جایگزین B2 ارائه شده است.**

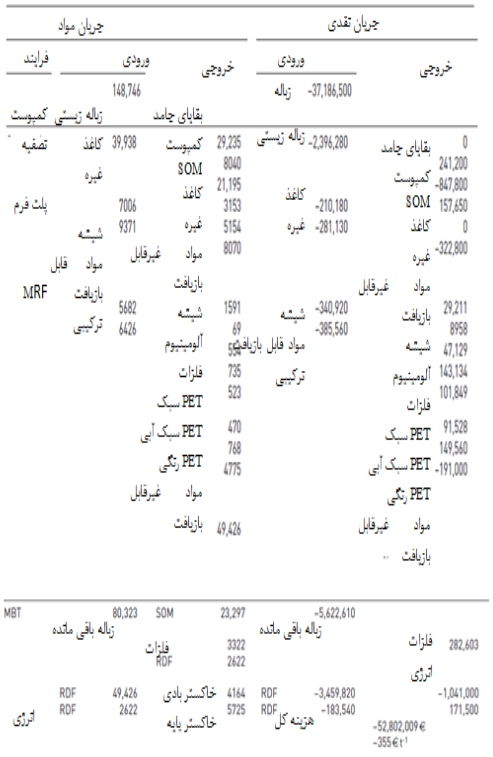
تعادل اقتصادی در جدول 2 با اشاره به مورد پایه گزارش شده است.

حق پسماندسوزی سناریوی موردی پایه معادل با € 112 برای هر شهروند در سال می باشد .این مقدار مربوط به متوسط هزینه برا یک خانواده حدود 102 €در سال می باشد.

**جدول :4 خلاصه ای از شاخص ها برای سناریوی مقایسه شده**

| | A1 | A2 | B1 | B2 |
|---|---|---|---|---|
| RCR | 10% | 13% | 15% | 17% |
| RECR | 38% | 38% | 51% | 53% |
| DCR | 41% | 37% | 27% | 24% |

**جدول :7 محاسبه ی حق پسماندسوزی برای سناریوی موردی پایه**




**جدول :8 مقایسه بین حق پسماندسوزی محاسبه شده برای همه ی سناریوها**

| حق پسماندسوزی | پردازش | جمع آوری زباله | |
|---|---|---|---|
| -355 | -105 | -250 | سناریو پایه ۴۶ درصد |
| -352 | -102 | -250 | سناریو پایه ۶۰ درصد |
| -356 | -106 | -250 | سنا سناریو جایگزین ۶۰ درصد |
| -339 | -89 | -250 | سناریو پایه ۴۶ درصد |
| -355 | -105 | -250 | سناریو پایه ۶۰ درصد |
| -352 | -102 | -250 | سناریو جایگزین ۴۶ درصد |
| -314 | -64 | -250 | سناریو جایگزین ۶۰ درصد |
| -249 | 1 | -250 | |

مقایسه ی حق پسماندسوزی محاسبه شده برای همه ی سناریوها در جدول 4 به طور خلاصه ارائه شده

است .این مقایسات بهترین عملکرد سناریوی جایگزین B2 را نشان می دهد که مربوط به بهترین گزینه

برای همه ی شاخص ها از جمله مسائل اقتصادی می باشد.

## نتیجه گیری

شاخص های قادر به ارزیابی راندمان مدیریت پسماند با اشاره به یک مطالعه موردی خاص و با استفاده از پایگاه داده شامل مقدار پسماند و داده های روزانه ی ترکیب جمع آوری شده در طی ۱ سال پیش بینی و مشخص شده است. محاسبات دقیق در مورد پایه و سیستم سناریوهای جایگزین با استفاده از روش آنالیز جریان مواد انجام شده است. شاخص ها – nie و aie به عنوان داده های ورودی در تعیین ارزیابی جریان مواد مورد استفاده قرار می گیرد، در حالی که شاخص های دیگر RCR, RECR, DCR به عنوان داده های خروجی به دست می آید. آنالیز به وضوح نشان دهنده ی نقش مسائل فناوری بر توانایی سیستم مدیریت پسماند به منظور تضمین مقادیر بالای بازیافت و انحراف از دفن و به حداقل رساندن هزینه ی اقتصادی می باشد. نقش جمع آوری پسماند برای جداسازی پسماند زیستی از پسماند باقی مانده حیاتی می باشد، اما مشاهده شده که زیرساخت های تکنولوژیکی سازماندهی شده به ما اجازه ی دستیابی به نتایج مشابه با جمع آوری با SDR معادل با ۱۲ درصد را می دهد. به عبارت دیگر، جمع آوری متوسط به دنبال استفاده از سیستم کارامد تیمار پسماند به ما امکان دستیابی به حداکثر انحراف پسماند از محل دفن و حداکثر شدن نرخ بازیافت را می دهد. از دیدگاه اقتصادی، بهترین سناریو مربوط به سناریوی جایگزین با ۱۲SDR درصد و تولید گاز سنتزی به جای انرژی می باشد. این نتیجه باعث انجام محاسبه بدون در نظر گرفتن مداخلات اقتصادی انرژی الکتریکی می گردد، اما گاز سنتزی به عنوان جایگزین متان به عنوان یک سوخت مرجع در نظر گرفته می شود.

## مراجع


1. Alter NRG (2014) Syngas composition as obtained by a Westinghouse facility for municipal solid waste. Private communication.
2. Archer E, Baddeley A, Schwager J, et al. (2005) *Mechanical-biological-treatment: A guide for decision makers. Processes, Policies & Markets*. Gloucestershire, UK: Juniper.
3. Arendse L and Godfrey L (2010) Waste management indicators for national state of environment reporting. Available at: http://www.unep.or.jp/ietc/ kms/data/2010.pdf
4. Azapagic A, Perdan S and Clift R (2004) *Sustainable Development in Practice: Case Studies for Engineers and Scientists*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.
5. Bain J, Tan A, Mudgal S, et al. (2012) Decoupling of waste and economic indicators. Available at: http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Decoupling%20of%20Waste%20and%20Economic%20Indicators.pdf
6. Beigl P, Labersorger S and Salhofer S (2008) Modelling municipal solid waste generation: A review. *Waste Management* 28: 200–214.
7. Brunner PH (2011) Urban mining: A contribution to reindustrializing the city. *Journal of Industrial Ecology* 15: 339–341.
8. Byun Y, Cho M, Hwang S-M, et al. (2012) Thermal plasma gasification of municipal solid waste. *INTECH*. Available at: http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/40402.pdf
9. Cencic O and Rechberger H (2008) Material flow analysis with Software STAN. *Journal of Environmental Engineering and Management* 18: 5.
10. Clavreul J, Guyonnet D and Christensen TH (2012) Quantifying uncertainty in LCA-modelling of waste management systems. *Waste Management* 32: 2482–2495.
11. Cleary J (2009) Life cycle assessments of municipal solid waste management systems: A comparative analysis of selected peer-reviewed literature. *Environment International* 35: 1256–1266.
12. CONAI (2015) Database of Regione Campania. Private communication. 00
13. Consonni S, Giugliano M, Massarutto A, et al. (2011) Material and energy recovery in integrated waste management system: Project overview and main results. *Waste Management* 31: 2057–2065.
*14.* Craig C, Prince T, Davenport L, et al. (2003) *Material Recovery Facility Handbook*. Lexington, TN: Recycling Marketing Cooperative for Tennessee.
E4tech (2009) *Review of Technologies for Gasification of Biomass and*
15. *Wastes*. York, UK: NNFCC Biocenter.
16. Environmental Protection Agency (2012) *Municipal Solid Waste Generation, Recycling and Disposal in the United States*. Washington, DC: Environmental Protection Agency.
17. European Commission (2011) *Road Map to Resource Efficient Europe*.
18. Brussels, Belgium: European Commission.
19. European Environment Agency (2009) *Diverting Waste From Landfill - Effectiveness of Waste-Management Policies in the European Union*. Copenhagen, Denmark: EEA.
20. Gunamantha M and Sarto (2012) Life Cycle Assessment of Municipal solid waste treatment to energy options: Case study of Kartamantul region, Yogyakarta. *Renewable Energy* 41: 277–284.
21. Higman C and Burgt Mvd (2003) *Gasification*. New York: Gulf Professional Publishing.
22. Hoornweg D and Bhada-Tata P (2012) What a waste - A global review of solid waste management. *Urban Development Series Knowledge Papers*. Washington, DC: The World Bank.
23. Li YP, Huang GH, Yang ZF, et al. (2008) An integrated two-stage optimization model for the development of long-term waste-management. *Science of Total Environment* 392: 175–186.
24. Mastellone ML (2015) *Waste Management and Clean Energy Production from Municipal Solid Waste*. New York: Nova Science Publishers.
25. Mastellone ML, Brunner PH and Arena U (2009) Scenarios of Waste Management for a Waste Emergency Area: a Substance Flow Analysis. *Journal of Industrial Ecology* 13: 735–757.
26. Moy P, Krishnan N, Ulloa P, et al. (2008) Options of municipal solid waste in New York City: A preliminary comparison of health risks and policy implications. *Journal of Environmental Management* 87: 73–79.
27. Nemerow N, Agardy FJ, Sullivan P, et al. (2009) *Environmental Engineering: Environmental Health and Safety for Municipal Infrastructure, Land Use and Planning, and Industry*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
28. Niessen WR (2002) Combustion and Incineration Processes: Applications in Environmental Engineering: Marcel Dekker, Inc. New York. USA.
29. Oliveira d, Simonetto E and Borenstein D (2007) A decision support system for the operational planning of solid waste collection. *Waste Management* 27: 1286–1297.
30. PeerConsultants and CalRecovery (1991) *Material Recovery Facilities for Municipal Solid Waste*, EPA 625/6-91/031, September 1991. Washington, DC: EPA.
31. Pires A, Martinho G and Chang N (2011) Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management* 92: 1033–1050.
32. Ristic G (2005) Basic indicator of integrated solid waste management.
33. *Working and Living Environmental Protection* 2: 383–392.
34. Romeo E (2013) L'evoluzione della produzione dei rifiuti Urbani in Provincia di Caserta nel quadriennio 2008-2011. *Waste Report*. Caserta Province.
35. Salhofer S, Wasserman G and Binner E (2007) SWIM - Strategic environmental assessment as an approach to assess management systems. Experience from an Austrian case study. *Environmental Modelling Software* 22: 310–618.
36. Teixeira CA, Avelino C, Ferreira F, et al. (2014) Statistical analysis in MSW collection performance assessment. *Waste Management* 34: 1584–1594.
37. UNI-EN 15359 (2011) Solid Recovered Fuels - Specifications and Classes.
38. Velis C and Brunner PH (2013) Recycling and resource efficiency: It is time to change from quantity to quality. *Waste Management and Research* 6: 539–540.
39. Wang FS, Richarson AJ and Roddick FA (1996) A computer model for solid waste integrate management. *Computers, Environment and Urban Systems* 20: 233–246