

## مقایسه انتشار گاز گلخانه ای در سیستم های مدیریت پسماند با استفاده از ارزیابی چرخه عمر (LCA)

محمد جواد ذوقی<sup>۱\*</sup>

[mj.zoqi@birjand.ac.ir](mailto:mj.zoqi@birjand.ac.ir)

آریامن قویدل<sup>۲</sup>

محسن سعیدی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۰/۰۴/۰۶

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۱۰

### چکیده

**زمینه و هدف:** یکی از منابع انتشار گاز گلخانه ای، فرایندهای دفع پسماندهای شهری می باشد. سیستم های مدیریت پسماند بر میزان انتشار گاز گلخانه ای از این منابع تاثیر دارد. در این مطالعه، میزان گاز گلخانه ای خروجی از پسماند لوندویل واقع در استان گیلان، تحت سیستم های جامع مدیریت پسماند (IWMSs) مختلف، مقایسه شده است. این مقایسه با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات (LCA) صورت گرفته است.

**روش بررسی:** سیستم های مدیریتی مورد مقایسه، شامل سیستم موجود مدیریت پسماند در لوندویل و سه سیستم مدیریتی دیگر می باشد. فرایند دفع در سیستم مدیریتی موجود در لوندویل (سیستم S1) دفن پسماند در دفنگاه بهداشتی زباله می باشد. فرایندهای دفع در سه سیستم مدیریتی دیگر، شامل دفن در دفنگاه بهداشتی زباله، احتراق و بازیافت (سیستم S2)، دفع در دفنگاه بهداشتی زباله، احتراق و تجزیه بی هوازی (سیستم S3) و دفع در دفنگاه بهداشتی زباله، احتراق، بازیافت و تجزیه بی هوازی (سیستم S4) می باشد.

**یافته ها:** نتایج حاصل از ارزیابی سیستم مدیریت پسماند موجود (سیستم S1) نشان می دهد، میزان پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) خالص، معادل  $840 \text{ kg CO}_2$  به ازای هرتن پسماند می باشد. در حالی که میزان GWP در سیستم مدیریت جامع چهار (سیستم S4) به  $474 \text{ kg CO}_2$  به ازای هرتن پسماند، کاهش می یابد. با توجه به نتایج بدست آمده در این مطالعه، در تمام سیستم های مدیریتی (سیستم S1-S4)، فرایند دفن پسماند در دفنگاه بهداشتی زباله دارای بیشترین سهم در افزایش GWP است. GWP ناشی از دفن پسماند در دفن گاه بهداشتی زباله، با احداث سیستم استحصال گاز و استفاده در تولید برق کاهش می یابد. لذا در این مطالعه کلیه سیستم های مدیریتی (سیستم S1-S4)، در دو حالت با و بدون سیستم پالایش گاز دفنگاه بهداشتی زباله فرض شده است. در صورت استحصال ۷۵٪ از گاز دفنگاه بهداشتی زباله و استفاده از این گاز در تولید برق، میزان GWP در دفنگاه بهداشتی زباله ۳۶٪ کاهش می یابد.

**بحث و نتیجه گیری:** نتایج مطالعه نشان می دهد، تفکیک از مبدا و استفاده از پسماند تفکیکی در فرایندهای بازیافت و تجزیه بی هوازی، دارای بیشترین تاثیر در کاهش GWP می باشد. لذا نتایج این مطالعه نشان می دهد، تفکیک از مبدا پسماند و دفع پسماند تفکیکی از طریق فرایندهای بازیافت و تجزیه بی هوازی در سیستم های مدیریت پسماند کشور بهتر است افزایش یابد. در مواردی که استفاده همزمان از فرایند های بازیافت و تجزیه بی هوازی امکان ندارد، استفاده از فرایند بازیافت توصیه می گردد.

**واژه های کلیدی:** ارزیابی چرخه عمر، سیستم مدیریت جامع پسماند، لوندویل، دفنگاه بهداشتی زباله.

\*۱- (مسئول مکاتبات): استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه بیرجند، ایران.

۲- استادیار معاون آموزشی جهاد دانشگاهی گیلان، ایران.

۳- دانشیار گروه آب و محیط زیست دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران.

## **Comparison of Greenhouse Gas Emissions in Solid Waste Management Systems Using Life Cycle Assessment (LCA)**

**Mohammad Javad Zoghi**<sup>1\*</sup>

[mj.zoqi@birjand.ac.ir](mailto:mj.zoqi@birjand.ac.ir)

**Ariayaman Ghavidel**<sup>2</sup>

**Mohsen Saeedi**<sup>3</sup>

### **Abstract**

**Background and Objective:** Municipal solid waste treatment is one of the greenhouse gas (GHG) emissions sources. Waste management systems can affect GHG emissions from these sources. This study evaluates the current and other three patterns of integrated waste management systems (IWMSs) with respect to greenhouse gas emissions, using life cycle assessment (LCA), based on the Lavandevil case.

**Method:** System 1 represents the current MSW management in Lavandevil, including collection, transport and landfilling. Other three IWMSs along with collection, transport, landfilling and incineration include recycling (system 2), anaerobic digestion (system 3) and recycling and anaerobic digestion (system 4).

**Results:** The results show that global warming potential (GWP) from system 1 amounts to 840 Kg CO<sub>2</sub> eq, whereas GWP from system 4 reduces to 474 Kg CO<sub>2</sub> eq for each ton of Lavandevil's MSW. Considering the results obtained from this study, in all management systems (system S1-S4), landfilling has the highest share in GWP increasing. GWP from landfilling can be reduced by power generation from landfill gas (LFG). Therefore, in this study, all management systems (system S1-S4) are assumed under two different methods (landfilling with and without energy recovery). By assumption, 75% recovery of landfill gas results in a GWP reduction of nearly 36% by GWP of landfilling.

**Conclusion:** The results show that source separation and use of separate waste in recycling and anaerobic decomposition processes have the highest impact in GWP reducing. Therefore, this study suggests that source separation of waste, recycling and anaerobic decomposition treatment should be increased in the country's waste management systems. On condition that both treatment systems could not be founded together, recycling is favorable over anaerobic digestion.

**Keywords:** life cycle assessment; integrated waste management system; Lavandevil; Landfill.

---

1- Assistant Professor of Civil Engineering Department, University of Birjand, Iran. \* (Corresponding Author)

2- Assistance Professor, Guilan ACECR, Iran.

3- Associate Professor, Faculty of Environment, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

## مقدمه

مدیریت پسماند جامد شهری (MSW) به عنوان یک بحث مهم زیست محیطی موثر بر پدیده گرمایش جهانی مطرح است. همچنین گرمایش جهانی زمین، ضرورت تغییر در سیستم های مدیریت پسماند جامد شهری را ایجاد می کند. مدیریت پسماند جامد، به منابع و روش استفاده از این منابع در تولید کالا و همچنین روش دفع کالا در پایان عمر آن، رسیدگی می کند (۱). در سیستم های مدیریت پسماند جامد شهری فرصت های زیادی جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه ای (GHG) وجود دارد. سوزاندن پسماند سبب بازیافت انرژی می گردد که این انرژی می تواند به عنوان جایگزین سوختهای فسیلی در نیروگاه های برق استفاده گردد. این انرژی بازیافتی سبب کاهش مصرف سوخت های فسیلی در نیروگاه برق و انتشار گاز گلخانه ای ناشی از این سوخت ها می گردد. تبدیل پسماند به کود آلی و تجزیه بی هوازی به جای دفن پسماند در دفنگاه بهداشتی زباله، سبب کاهش انتشار گاز متان به اتمسفر می گردد. همچنین محصولات این روش جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی هستند (۳و۲). لذا استفاده از این روش در دفع پسماند سبب کاهش تولید کودهای شیمیایی می گردد. این کاهش تولید، کاهش مصرف انرژی و انتشار گاز گلخانه ای را در پی خواهد داشت.

یک نوع سیستم دفع پسماند خاص، نمی تواند برای تمام انواع پسماند مناسب ترین گزینه باشد. لذا جهت دفع MSW باید یک روش جامع، مرکب از چند نوع فرایند دفع در نظر گرفته شود (۴).

جهت ارزیابی جنبه ها و اثرات زیست محیطی یک کالا یا خدمات از ارزیابی دوره عمر (LCA) استفاده می گردد. در این نوع ارزیابی، در یک سیستم تولید، داده های ورودی و خروجی مرتبط گردآوری می شود، اثرات زیست محیطی مربوط به این ورودی ها و خروجی ها ارزیابی می گردد. سپس نتایج حاصل از فاز تحلیل و ارزیابی اثرات با در نظر گرفتن هدف تعیین شده در مطالعه، تفسیر می گردد (۵).

در روش LCA دوره زندگی محصولات یا خدمات بطور کامل در نظر گرفته می شود، لذا یک ارزیابی جامع از محصولات یا خدمات بدست می آید. کارایی LCA در مستندسازی ملاحظات زیست محیطی و استفاده از این مستندات در تصمیم گیریها، اثبات شده است (۶).

در زمینه مدیریت پسماند جامد از LCA با موفقیت استفاده شده است. در این زمینه جهت ارزیابی عملکرد زیست محیطی روشهای مختلف زباله سوزی و فرایندهای تصفیه گاز خروجی از زباله سوزها، از LCA استفاده شده است (۷و۸). همچنین با استفاده از LCA، اثرات زیست محیطی فرایندهای بازیافت و سوزاندن پسماند پلاستیکی مقایسه شده است (۹)، اثرات زیست محیطی پسماندهای غذایی و فرایندهای دفع این نوع پسماند ارزیابی شده است (۱۰و۱۱)، کارایی بهتر بازیافت نسبت به فرایند دفن در دفنگاه بهداشتی زباله، در جوامع کوچک روستائی اثبات شده است (۱۲).

منطقه لوندویل در استان گیلان و شهرستان آستارا واقع شده است. در سال ۱۳۸۶ متوسط بارندگی و رطوبت نسبی سالانه در این منطقه بترتیب ۱۳۸۱ میلیمتر و ۸۲٪ بوده است. زباله جمع آوری شده در شهرستان آستارا و بخشی

از شهرستان انزلی به این منطقه هدایت و در دفنگاه بهداشتی زباله لوندویل دفن می گردد. در سال ۱۳۸۶ میزان زباله دفن شده در منطقه لوندویل ۳۶۴ تن در روز بوده است. در این منطقه، فعالیت های توریستی و گردشگری دارای نقش مهمی در افزایش تولید پسماند می باشند. به علت افزایش پیوسته میزان پسماند تولیدی، مدیریت MSW در این منطقه، بحرانی است. زیرا محل در نظر گرفته شده جهت دفن پسماند در این منطقه دارای محدودیت وسعت می باشد. بنابراین در نظر گرفتن یک روش مدیریتی جدید در این منطقه الزامی است.

پسماند جامد این منطقه، توسط کامیونها جمع آوری به محل دفن لوندویل هدایت می گردند. این کامیون ها با توجه به نوع منبع پسماند (شهری، روستایی، تجاری و...) ثبت شده اند، لذا مشخصات نوع پسماند ورودی به دفنگاه بهداشتی زباله لوندویل قابل تشخیص می باشد. در سیستم مدیریتی موجود در لوندویل، تمام پسماند جمع آوری شده به دفنگاه بهداشتی زباله فرستاده می شود.

در این مطالعه، میزان انتشار گاز گلخانه ای تحت سیستم مدیریتی موجود در لوندویل مورد ارزیابی قرار می گیرد. همچنین تاثیر سیستم های جامع مدیریت پسماند (IWMSs) متفاوت، بر انتشار گازهای گلخانه ای نشان داده می شود. جهت مقایسه اثرات زیست محیطی چندین گزینه مدیریتی جامع، از ارزیابی دوره عمر (LCA) استفاده می گردد. نتایج این مطالعه می تواند، در انتخاب روش مدیریتی مناسب در لوندویل مورد استفاده قرار گیرد. همچنین می تواند برای سایر پروژه های مدیریت پسماند روندی مفید ارائه کند.

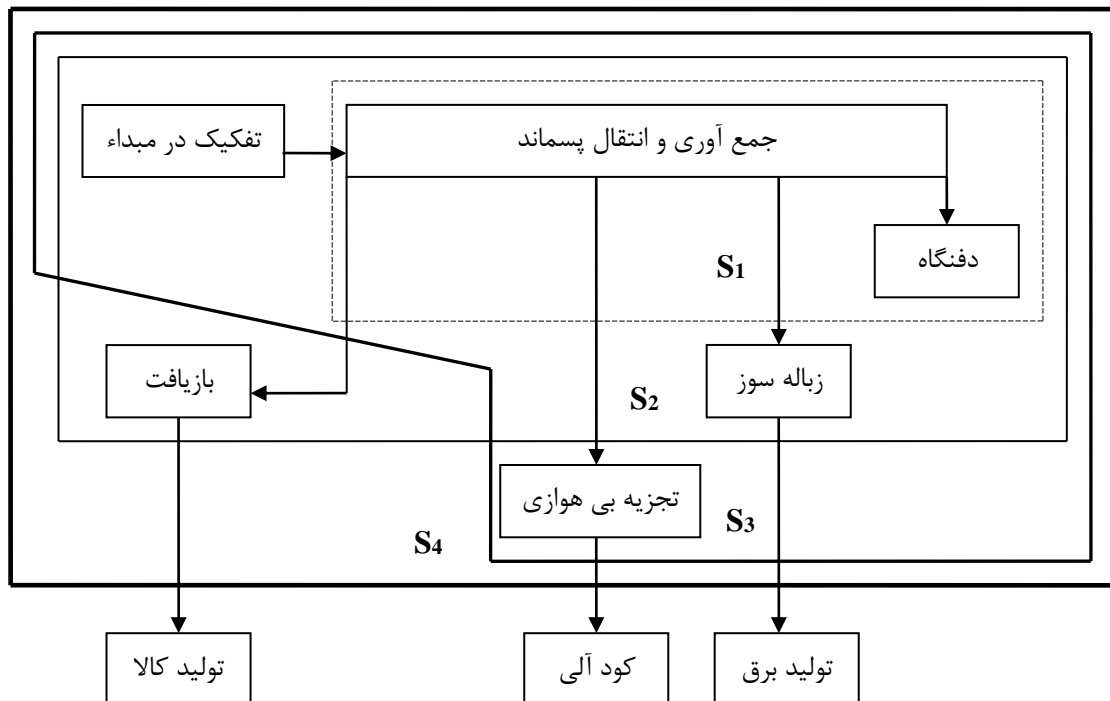
## روش بررسی

در این مقاله، از ارزیابی چرخه عمر به عنوان ابزار ارزیابی استفاده شده است. مشخصات فنی و روش بکارگیری LCA در ISO1404 توضیح داده شده است (۵). مرزهای و فرایندهای در نظر گرفته شده در هر یک از سیستم های مدیریتی در شکل ۱ نمایش داده شده است. فرایندهایی که در داخل خطوط نقطه چین قرار دارد، در حال حاضر در لوندویل اجرای می گردد. مرزهای هر سیستم شامل انتقال و جمع آوری پسماند از نقطه مبدأ و فرایندهای مختلف دفع در هر یک از سیستم های مدیریتی (S1-S4) می باشد. در تمام چهار روش مدیریتی (S1-S4)، مقدار زباله و ترکیبات تشکیل دهنده آن یکسان است. همچنین در فرایندهایی که به طور مستقیم یا غیرمستقیم در سیستم های مختلف مدیریت (S1-S4) وجود دارند، مقدار یکسانی از پسماند مورد پردازش قرار می گیرد.

سیستم مدیریت پسماند که در حال حاضر در لوندویل اجرا می گردد، به عنوان روش مدیریت پایه (سیستم S1) تعریف شده است. برای درک تاثیر گزینه های مدیریتی متفاوت، علاوه بر روش مدیریت پایه، سه روش مدیریت پسماند دیگر نیز در نظر گرفته شده است. در روش مدیریتی نوع ۲ (سیستم S2)، ۳۰٪ از مواد بازیافتی پسماند در مبداء تفکیک شده و بازیافت می گردند. از پسماند باقی مانده ۷۰٪ از پسماند احتراق پذیر به کوره های زباله

۴(سیستم S4)، با استفاده از تفکیک در مبداء، ۳۰٪ از مواد بازیافتی موجود در پسماند و ۳۰٪ از مواد آلی پسماند در مبداء تفکیک شده و بترتیب بازیافت و تجزیه بی هوازی می گردند. سپس ۷۰٪ از مواد قابل اشتعال موجود در پسماند باقی مانده، در زباله سوز دفع و مابقی پسماند در دفنگاه بهداشتی زباله دفن می گردد.

سوزی هدایت می گردد و مابقی پسماند در دفنگاه بهداشتی زباله دفن می گردد. در روش مدیریت نوع ۳(سیستم S3)، ۳۰٪ از مواد آلی (زباله آشپزخانه و حیاط) موجود در پسماند، در مبداء تفکیک و به محل تجزیه بی هوازی (کمپوست) فرستاده می شود، در این روش نیز ۷۰٪ از پسماندهای احتراق پذیر موجود در پسماند باقی مانده به کوره زباله سوزی هدایت و مابقی پسماند در دفنگاه بهداشتی زباله دفن می گردد. در روش مدیریتی نوع



شکل ۱- فرایندها و مرزهای سیستم های مدیریتی (S1-S4)

Figure 1- Process and boundaries of management systems (S1-S4)

مدیریت و سیستم های جانبی مورد استفاده قرار می گیرد. به عنوان مثال در مورد مدیریت پسماند از طریق بازیافت، انرژی لازم جهت بازیافت و انتقال پسماند از منبع تولید به محل بازیافت، به عنوان انرژی این نوع سیستم مدیریت در نظر گرفته می شود.

در این مطالعه فرض شده مواد تفکیک شده (کاغذ، پلاستیک، شیشه، آلومینیوم و آهن) به محلی با فاصله ۲۰۰ کیلومتر تا محل لوندویل، جهت بازیافت انتقال می یابد. این فاصله با توجه به موقعیت واقعی منطقه در نظر گرفته شده است. همچنین محل تجزیه بی هوازی و زباله سوزی در لوندویل فرض شده است.

هدف این مطالعه ارزیابی انتشار گاز گلخانه ای از زباله موجود در لوندویل، تحت سیستم مدیریت موجود و سایر سیستم های مدیریت جامع پسماند می باشد. ترکیبات تشکیل دهنده زباله لوندویل ( میانگین سال های ۸۸-۱۳۸۶) در جدول ۱ نمایش داده شده است.

در این مطالعه، توسعه سیستم های مدیریت به گونه ای است که از پسماند و فرایند پردازش مورد نظر، کالای مفید تولید و جایگزین کالای مشابه تولیدی از منابع خام گردد. به عنوان مثال، در مورد کوره زباله سوز، انرژی الکتریکی بازیافتی از زباله سوزی جایگزین انرژی تولیدی نیروگاه ها می گردد، همچنین اصلاح خاک با استفاده از کود بدست آمده از تجزیه بی هوازی بجای کودهای شیمیایی و استفاده از تولیدات بازیافتی بجای کالاهای مشابه تولیدی از منابع خام، امکان پذیر است. در این مطالعه فرض شده، کالاهای بازیافتی و کالاهای تولیدی از منابع خام دارای مشخصات یکسانی هستند. لذا گسترش این سیستم های پردازش پسماند، به علت تولید کالا، سبب کاهش در مقدار پسماند و استفاده از منابع خام می گردد.

در صورت نیاز به انرژی الکتریکی در منطقه لوندویل، این انرژی از نیروگاه سیکل ترکیبی منطقه گیلان تهیه می گردد. مفهوم انرژی در هر یک از سیستم های مدیریت شامل انرژی است که به طور مستقیم در سیستم های

جدول ۱- ترکیبات تشکیل دهنده پسماند لوندویل

Table 1- Lavandevil waste Composition

مقدار برحسب درصد	ترکیبات
۵۸/۷۵	مواد آلی
۱۳/۸	کاغذ
۸/۵	شیشه
۰/۳۹	چوب
۲/۸	فلز
۹/۲۹	پلاستیک و لاستیک
۳/۲۳	پارچه
۲/۹	PET
۰/۳۴	سایر

شده است (۱۵ و ۱۴). میزان مشارکت روش های مختلف دفع (دفن در دفنگاه بهداشتی زباله، سوزاندن، بازیافت) در هر یک از روش های مدیریت پسماند، در جدول ۲ به تفکیک نشان داده شده است.

مقدار ۳۰٪، برای تفکیک از مبداء مواد بازیافتی براساس معیارهای سازمان محیط زیست انتخاب شده است (۱۳). میزان ۷۰٪ تفکیک زباله های قابل احتراق با توجه به حداکثر ظرفیت مراکز زباله سوز رایج در نظر گرفته شده است. این نوع از زباله سوزها به مدت سه دهه، در مناطق مختلف استفاده

جدول ۲- سهم انواع فرایندهای پردازش پسماند در هر یک از سیستم های مدیریتی

Table 2- The Contribution of waste processing processes in each management systems

سیستم مدیریت پسماند				میزان پسماند پردازش شده نسبت به کل پسماند موجود
سیستم S1	سیستم S2	سیستم S3	سیستم S4	
-	۰/۵۷	۰/۴۹	۰/۴۴	سوزاندن
۱	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۲۷	دفن در دفنگاه بهداشتی زباله بدون سیستم استحصال گاز
-	۰/۱۱	-	۰/۱۱	بازیافت
-	-	۰/۱۸	۰/۱۸	تجزیه بی هوازی

اطلاعات مربوط به انتشار گاز ناشی از بازیافت مواد با توجه به مطالعات انجام شده، برای هر یک از مواد بطور مجزا بدست آمده است. این مواد بازیافتی شامل مقوا، کاغذ، پلاستیک، شیشه، آهن و آلومینیوم می گردد (۱۹). فاکتور انتشار در نیروگاههای سیکل ترکیبی متداول در ایران (۷۹٪ گاز طبیعی، ۱۵٪ نفت کوره و ۶٪ گازوئیل) جهت محاسبه تاثیر زیست محیطی بازیافت انرژی برق از پردازش پسماند، استفاده شده است (۲۰). کود تولیدی ناشی از تجزیه بی هوازی پسماند، جایگزین مناسبی جهت کودهای شیمیایی ضعیف و اصلاح کننده های خاک می باشد (۲۱). مقدار متوسط P2O5، N و K2O در یک تن اصلاح کننده خاک به ترتیب، ۷/۱، ۴/۱ و ۵/۴ کیلوگرم می باشد. با در نظر گرفتن فاکتور انتشار در تولید کود شیمیایی، میزان تاثیر زیست محیطی بازیافت کود از تجزیه بی هوازی پسماند محاسبه می گردد (۲۲).

در این مرحله کلیه ورودی ها و خروجی های مربوط به منابع تولید، مواد خام، انرژی و انتشارات زیست محیطی که در مرزهای سیستم (شکل ۱) قرار دارد، جمع آوری می گردد. جهت محاسبه میزان گازهای گلخانه ای خروجی از سیستم جمع آوری و انتقال پسماند و همچنین انتشار ناشی از مصرف سوخت در ماشین آلات مورد استفاده جهت پخش و تراکم در محل دفنگاه بهداشتی زباله، از فاکتورهای انتشار سازمان محیط زیست استفاده شده است (۱۶). مصرف انرژی و انتشار گاز ناشی از سیستم های مدیریتی در لوندویل از طریق مطالعه میدانی بدست آمده است. میزان دی اکسید کربن خروجی از زباله با استفاده از فاکتور انتشار دی اکسید کربن، محاسبه شده است (۱۷). جهت محاسبه میزان گاز متان خروجی از دفنگاه بهداشتی زباله، مقدار هر یک از ترکیبات موجود در پسماند در فاکتور انتشار متناظر با آن ماده ضرب شده است (۱۸).

## روش ارزیابی اثرات

در این مطالعه انتشار گازهای گلخانه ای (GHG) و پتانسیل گرمایش جهانی (GWP) مورد بررسی قرار می گیرد. میزان GWP در هر یک از گازهای خروجی از پسماند (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) متفاوت می باشد. جهت محاسبه و مقایسه اثرات گرمایشی هر یک از این گازها از فاکتورهای هم ارز کننده استفاده می شود. این فاکتورها برای گازهای CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> و NO<sub>2</sub> به ترتیب ۱، ۲۱ و ۳۱۰ می باشد (۱۸).

در این مطالعه با استفاده از داده های مربوط به پسماند، مدیریت پسماند و ارزیابی اثرات، گاز گلخانه ای خروجی از پسماند بررسی می شود. همچنین به علت تاثیر زیاد سیستم استحصال گاز دفنگاه بهداشتی زباله در میزان انتشار گاز گلخانه ای، در روش دفن پسماند در دفنگاه بهداشتی زباله دو حالت، شامل عدم استحصال و پالایش گاز و استحصال و پالایش گاز در دفنگاه بهداشتی زباله، در نظر گرفته می شود (۱۷).

## یافته ها

میزان GWP تولیدی در هر یک از سیستم های مدیریتی به تفکیک روش دفع، در جدول ۳ نمایش داده شده است. در هر چهار سیستم مدیریتی، میزان GWP ناشی از سیستم جمع آوری و انتقال پسماند نسبت به سیستم های دفع پسماند، نامحسوس می باشد. در سیستم مدیریتی موجود در لوندویل (سیستم S1)، دفع در دفنگاه بهداشتی زباله تنها روش دفع پسماند می باشد. در این دفنگاه بهداشتی زباله سیستم استحصال و پالایش گاز وجود ندارد. لذا با فرض اکسیداسیون ۱۰٪ از متان تولیدی در پوشش دفنگاه بهداشتی زباله، ۹۰٪ از متان تولیدی در دفنگاه بهداشتی زباله به اتمسفر تخلیه می گردد. نتایج نشان می دهد که در سیستم مدیریت جامع پسماند (سیستم S1)، میزان GWP خالص به ازای هر تن پسماند معادل ۸۴۰ kgCO<sub>2</sub> می باشد. سیستم مدیریتی S1 نسبت به سایر سیستم های مدیریتی، دارای بیشترین میزان GWP می باشد. این GWP بالا به علت خروج مستقیم گاز CH<sub>4</sub> (تاثیر گرمایشی هر کیلوگرم CH<sub>4</sub> معادل ۲۱ کیلوگرم CO<sub>2</sub> است) از محل دفنگاه بهداشتی زباله می باشد.

جدول ۳- میزان GWP تولیدی در هر یک از روشهای مدیریتی به تفکیک فرایند دفع پسماند

Table 3- The GWP produced in each management procedures regarding waste disposal process

GWP(kgCO <sub>2</sub> ) / (تن پسماند)				فرایندهای مدیریت پسماند
سیستم S4	سیستم S3	سیستم S2	سیستم S1	
۰/۰۳۵	۰/۰۴۱	۰/۰۳۵	۰/۰۵۲	جمع آوری و انتقال MSW
۱۶۱	۲۲۵	۱۷۱	-	زباله سوزی
۴۳۳	۴۷۵	۵۶۵	۸۴۰	دفع در دفنگاه بهداشتی زباله (بدون استحصال گاز)
-۸۴	-	-۸۴	-	بازیافت
-۳۶	-۳۶	-	-	تجزیه بی هوازی
۴۷۴	۶۶۴	۶۵۲	۸۴۰	GWP خالص

در سیستم مدیریت جامع ۲ (سیستم S2)، سهم عمده پسماند آلی (پسماند آشپزخانه و حیاط) به جای دفن در دفنگاه بهداشتی زباله در کوره های زباله سوز تصفیه شده و پسماند کاغذی از طریق فرایند زباله سوزی دفع شده است. با توجه به آنالیز صورت گرفته (جدول ۳)، سوزاندن پسماند جامد شهری (MSW) در زباله سوز، سبب تولید GWP به میزان ۲۲۱ kgCO<sub>2</sub> می گردد. بیشترین سهم در تولید گاز گلخانه ای در فرایند زباله سوزی، مربوط به پسماندهای پلاستیکی می باشد. در این مطالعه فرض شده، انرژی حاصل از زباله سوز صرف تولید برق می گردد. لذا به نسبت برق تولیدی در زباله سوز، تولید برق در نیروگاه کاهش می یابد. این میزان کاهش تولید برق در نیروگاهها، سبب کاهش گاز گلخانه ای خروجی از نیروگاهها (معادل kgCO<sub>2</sub> ۵۰) می شود. با کاستن میزان کاهش تولید گاز گلخانه ای (۵۰ kgCO<sub>2</sub>) در نیروگاهها، از گاز گلخانه ای تولیدی در زباله سوز، میزان GWP خالص در زباله سوز معادل ۱۷۱ kgCO<sub>2</sub> می گردد.

در سیستم مدیریت جامع ۲ (سیستم S2)، سهم عمده پسماند آلی (پسماند آشپزخانه و حیاط) به جای دفن در دفنگاه بهداشتی زباله در کوره های زباله سوز تصفیه شده و پسماند کاغذی از طریق فرایند زباله سوزی دفع شده است. با توجه به آنالیز صورت گرفته (جدول ۳)، سوزاندن پسماند جامد شهری (MSW) در زباله سوز، سبب تولید GWP به میزان ۲۲۱ kgCO<sub>2</sub> می گردد. بیشترین سهم در تولید گاز گلخانه ای در فرایند زباله سوزی، مربوط به پسماندهای پلاستیکی می باشد. در این مطالعه فرض شده، انرژی حاصل از زباله سوز صرف تولید برق می گردد. لذا به نسبت برق تولیدی در زباله سوز، تولید برق در نیروگاه کاهش می یابد. این میزان کاهش تولید برق در نیروگاهها، سبب کاهش گاز گلخانه ای خروجی از نیروگاهها (معادل kgCO<sub>2</sub> ۵۰) می شود. با کاستن میزان کاهش تولید گاز گلخانه ای (۵۰ kgCO<sub>2</sub>) در نیروگاهها، از گاز گلخانه ای تولیدی در زباله سوز، میزان GWP خالص در زباله سوز معادل ۱۷۱ kgCO<sub>2</sub> می گردد.

در فرایند زباله سوزی، عامل مهم در تولید گاز CO<sub>2</sub> و افزایش GWP، پسماندهای پلاستیکی می باشد. افزایش جداسازی پسماند پلاستیکی از پسماندهای ورودی به زباله سوز، سبب کاهش GWP می گردد. هر چند که به علت این جداسازی و کاهش منابع سوخت، انرژی بازیافتی از زباله سوزها کاهش می یابد. ارزیابی تاثیر جداسازی پسماند پلاستیکی از اهداف این مطالعه نمی باشد. تاثیر تصفیه پسماند پلاستیکی از طریق فرایندهای دفن در دفنگاه بهداشتی زباله و بازیافت به جای زباله سوزی، می تواند در مطالعات دیگری بررسی گردد.

یکی از فرایندهای دفع در نظر گرفته شده در این مطالعه، فرایند بازیافت می باشد. کالاهای ناشی از فرایند بازیافت می تواند جانشین کالاهای تولیدی از منابع خام گردد. بنابراین، اثرات زیست محیطی ناشی از تولید کالا از منابع خام کاهش می یابد. به عنوان مثال در بازیافت آلومینیوم، شمش آلومینیوم بازیافتی می تواند جانشین شمش آلومینیوم تولیدی از منبع خام (سنگ

S4 دارای کمترین میزان GWP (معادل ۴۷۴ kg CO<sub>2</sub>) نسبت به سایر سیستم های مدیریتی می باشد. لذا در صورتیکه در ارزیابی، میزان گرمایش جهانی مدنظر باشد، سیستم S4 بهترین روش مدیریتی است. همچنین سیستم S2 از کارایی بهتری نسبت به سیستم های S3 و S1 برخوردار است. دفن پسماندهای شهری در دفنگاه بهداشتی زباله فاقد سیستم بازیافت، مرسوم ترین روش دفع پسماند در ایران می باشد. با توجه به نتایج این مطالعه در بین روشهای مختلف دفع پسماند، دفن در دفنگاه بهداشتی زباله دارای بیشترین تاثیر در گرمایش جهانی می باشد (جدول ۳). گازهای گلخانه ای خروجی از دفنگاه بهداشتی زباله به علت وجود متان، دارای اثر گرمایشی بالایی می باشند. لذا جمع آوری گاز متان در دفنگاه بهداشتی زباله و تبدیل آن به انرژی و یا گاز CO<sub>2</sub> (از طریق سوزاندن در مشعل) سبب کاهش اثرات گرمایشی دفنگاه بهداشتی زباله می گردد. در این قسمت میزان تاثیر جمع آوری گاز دفنگاه بهداشتی زباله و تولید برق از گاز استحصال شده، بر GWP تولیدی در هر یک از چهار سیستم مدیریتی (S1-S4) بررسی می گردد. در این مطالعه فرض شده، بازیافت انرژی در سیستم پالایش، تنها مربوط به گاز متان می باشد. ارزش گرمایی متان بین ۵۰-۵۵ MJ/kg است، که در این مطالعه این مقدار ۵۰ MJ/kg در نظر گرفته شده است. همچنین فرض شده، ۷۵٪ از متان تولیدی در دفنگاه بهداشتی زباله جمع آوری و توسط نیروگاهی با راندمان ۳۵٪ از آن برق تولید می شود و ۱۰٪ از گاز متان جمع آوری نشده در لایه پوشش دفنگاه بهداشتی زباله اکسیده و به دی اکسیدکربن تبدیل می گردد (این فرضیات بر اساس معیارها و رهنمودهای سازمان محیط زیست در نظر گرفته شده است) (۱۸). بنابراین تنها ۲۲/۵٪ از متان تولیدی در دفنگاه بهداشتی زباله، بطور مستقیم در اتمسفر تخلیه می شود. نتایج محاسبه GWP در دفنگاه بهداشتی زباله دارای سیستم بازیافت و دفنگاه بهداشتی زباله فاقد سیستم بازیافت، برای هر چهار سیستم مدیریتی (S1-S4) در جدول ۴ نمایش داده شده است. با توجه به جدول ۴، در اثر بازیافت ۷۵٪ از گاز دفنگاه بهداشتی زباله، میزان GWP دفنگاه بهداشتی زباله حدود ۳۶٪ کاهش می یابد. این کاهش به علت کاهش متان خروجی از دفنگاه بهداشتی زباله و همچنین تولید برق از گاز بازیافتی می باشد.

بوکسیت) گردد. بنابراین اثرات زیست محیطی ناشی از فرایند تولید شمش آلومنیوم خام (استخراج بوکسیت، تولید اکسیدآلومینیوم، الکترولیز، ریخته گری شمش و نقل و انتقال) کاهش می یابد (۱۹). در سیستم های مدیریت جامع ارائه شده در این مطالعه، کاهش انتشار گاز گلخانه ای به علت کاهش در فرایندهای تولید کالا از منابع خام، در نظر گرفته شده است. بدین منظور این میزان کاهش در انتشار GHG. از میزان گاز گلخانه ای تولید شده در فرایند بازیافت کسر می گردد. در سیستم مدیریتی ۲ (سیستم S2)، میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه ای به علت کاهش تولید کالا از منابع خام، بیشتر از میزان انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از فرایند بازیافت می باشد. لذا میزان GWP در فرایند بازیافت، منفی و معادل ۸۴ kg CO<sub>2</sub> می باشد. در این سیستم میزان GWP خالص به ازای هر تن پسماند، معادل ۶۵۲ kg CO<sub>2</sub> و حدود ۷۸٪ سیستم S1 می باشد.

در سیستم مدیریت جامع ۳ (سیستم S3)، به علت عدم دفن پسماند آلی در دفنگاه بهداشتی زباله، میزان GWP تولیدی در دفنگاه بهداشتی زباله کمتر از سیستم S2 می باشد. عدم دفن پسماند آلی در دفنگاه بهداشتی زباله، سبب کاهش تجزیه این نوع پسماند و کاهش تولید CH<sub>4</sub> در دفنگاه بهداشتی زباله می گردد. با توجه به اینکه CH<sub>4</sub> تاثیر عمده ای در گرمایش جهانی دارد (هر کیلوگرم CH<sub>4</sub> معادل ۲۱ کیلوگرم CO<sub>2</sub> می باشد)، کاهش تولید این گاز سبب کاهش محسوس GWP خروجی از دفنگاه بهداشتی زباله می گردد. همچنین تولید کود آلی در فرایند تجزیه بی هوازی پسماند، سبب کاهش تولید کود شیمیایی می گردد. لذا میزان GWP در فرایند تجزیه بی هوازی، منفی و معادل ۳۶ kg CO<sub>2</sub> می باشد. همچنین به علت هدایت مقدار بیشتری از پسماند پلاستیکی به کوره زباله سوز، میزان GWP خروجی از این فرایند در سیستم S3 نسبت به سیستم S2 افزایش می یابد. GWP خالص در سیستم S3 به ازای هر تن پسماند، معادل ۶۶۴ kg CO<sub>2</sub> و حدود ۷۹٪ سیستم S1 می باشد.

سیستم مدیریت جامع ۴ (سیستم S4)، تلفیقی از سیستم مدیریتی ۲ و ۳ می باشد. فرایند بازیافت از سیستم ۲ و فرایند تجزیه بی هوازی از سیستم ۳ به این سیستم مدیریتی وارد شده است. لذا در سیستم S4 هر دو فرایند تجزیه بی هوازی و بازیافت در کاهش GWP موثر است. همچنین به علت کاهش مقدار پسماند ورودی به فرایندهای زباله سوزی و دفع در دفنگاه بهداشتی زباله، میزان GHG خروجی از این فرایندها کاهش می یابد. سیستم مدیریتی

جدول ۴- میزان تاثیر استحصال و پالایش گاز دفنگاه بهداشتی زباله در تولید GWP

Table 4- The impact of landfill gas extraction and refining of waste in the production of GWP

GWP(kgCO <sub>2</sub> ) / (تن پسماند)				فرایندها مدیریت پسماند
سیستم S4	سیستم S3	سیستم S2	سیستم S1	
۲۷۷	۳۰۵	۳۶۰	۵۳۵	دفع در دفنگاه بهداشتی زباله (با استحصال و پالایش گاز)
۴۳۳	۴۷۵	۵۶۵	۸۴۰	دفع در دفنگاه بهداشتی زباله (بدون استحصال گاز)
۳۱۸	۴۹۴	۴۴۷	۵۳۵	GWP خالص (با استحصال و پالایش گاز)
۴۷۴	۶۶۴	۶۵۲	۸۴۰	GWP خالص (بدون استحصال گاز)

انتخاب کرد. این روش ارزیابی می تواند برای تصمیم گیری در سایر پروژه های مدیریت پسماند، مفید باشد.

#### منابع

- 1- Franklin Associates, Ltd. Solid Waste Management at the Crossroads. Franklin Associates, Ltd.: Prairie Village, KS; December 1997. p. 3-15
- 2- Eriksen G, Coale F, Bollero G. Soil nitrogen dynamics and maize production in municipal solid waste amended soil. *Agron. J.* 1999; 91: 1009-1016.
- 3- Wolkowski R. Nitrogen management considerations for landspreading municipal solid waste compost. *J. Environ. Qual.* 2003; 32: 1844-1850.
- 4- Hasome H, Tachio K, Yokota I, Nitta Y. Studies on the evaluation of municipal waste management systems. *Waste Management and Research.* 2001; 19: 2-11.
- 5- Environmental standard ISO 14040. Environmental management - life cycle assessment-principles and framework. 1997. Reference number: ISO 14040:1997(E).
- 6- Gheewala SH. Application of life cycle assessment to cleaner production. *International Energy Journal.* 2003; 4(1):5-15.
- 7- Bergsdal H, Strømman AH, Hertwich EG. Environmental assessment of two waste incineration strategies for Central Norway. *International Journal of Life Cycle Assessment.* 2005; 10(4):263-72.
- 8- Chevalier P, Rousseaux P, Benoit V, Benadda B. Environmental assessment of flue gas cleaning processes of municipal solid waste incinerators by means of the life cycle assessment approach. *Chemical Engineering Science.* 2003; 58:2053-64.
- 9- Dodbiba G, Takahashi K, Sadaki J, Fujita T. The recycling of plastic wastes from discarded TV sets: comparing energy recovery with mechanical recycling in the context of life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production.* 2008; 16: 458-470.
- 10- Roy P, Ijiri T, Nei D, Orikasa T, Okadome H, Nakamura N, Shiina T. Life cycle inventory (LCI) of different forms of rice consumed in households in Japan. *Journal of Food Engineering.* 2009; 91: 49-55.
- 11- Chen B, Chen Z.M, Zhou Y, Zhou J.B, Chen G.Q. Emergy as embodied energy based assessment for local sustainability of a

با توجه به جدول ۴، پالایش و استفاده از گاز دفنگاه بهداشتی زباله در تولید برق، سبب بهبود پتانسیل گرمایش جهانی در تمام سیستم های مدیریتی می گردد. با در نظر گرفتن سیستم پالایش گاز در دفنگاه بهداشتی زباله، سیستم S4 به علت تولید کمترین GWP، همچنان بهترین گزینه مدیریتی می باشد. بطور کلی پس از افزودن فرایند استحصال و پالایش گاز دفنگاه بهداشتی زباله به سیستم های مدیریتی (S1-S4)، رتبه بندی این چهار سیستم از نظر تاثیر در گرمایش جهانی، تغییر نمی کند.

#### بحث و نتیجه گیری

ارزیابی اثرات سیستم مدیریتی موجود در لوندویل (سیستم S1) نشان می دهد، میزان GWP ناشی از یک تن پسماند لوندویل معادل  $840 \text{ kg CO}_2$  می باشد. فرایند دفع در دفنگاه بهداشتی زباله به عنوان یکی از گزینه های مدیریت پسماند، دارای بیشترین تاثیر در افزایش پتانسیل گرمایش جهانی است. این اثر، به علت خروج گاز  $\text{CH}_4$  از فرایند تجزیه پسماند در دفنگاه بهداشتی زباله می باشد.

نتایج این مطالعه نشان داد که با کاهش دفع پسماند در فرایندهای زباله سوزی و دفنگاه بهداشتی زباله و همچنین افزایش دفع در فرایندهای بازیافت و تجزیه بی هوازی، میزان GWP کاهش می یابد. تفکیک از مبداء پسماند و دفع پسماند تفکیکی در فرایندهای تجزیه بی هوازی، بازیافت، زباله سوزی و دفن در دفنگاه بهداشتی زباله (سیستم S4) بهترین روش در بین سایر سیستم های مدیریتی مورد بررسی در این مطالعه می باشد. در حالیکه سیستم مدیریتی موجود در لوندویل (سیستم S1) بدترین روش مدیریتی از نظر تولید GHG است. همچنین روش مدیریتی جامع ۲ (شامل فرایندهای دفن در دفنگاه بهداشتی زباله، زباله سوزی و بازیافت) دارای عملکرد بهتری نسبت به روش مدیریتی جامع ۳ (شامل فرایندهای دفن در دفنگاه بهداشتی زباله، زباله سوزی و تجزیه بی هوازی) می باشد. با فرض استحصال ۷۵٪ از گاز دفنگاه بهداشتی زباله و استفاده از آن در تولید برق، میزان GWP ناشی از فرایند دفن در دفنگاه بهداشتی زباله حدود ۳۶٪ کاهش می یابد.

بر طبق نتایج مطالعه پیشنهاد می گردد، تفکیک از مبداء پسماند و دفع پسماند تفکیکی از طریق فرایندهای بازیافت و تجزیه بی هوازی در سیستم های مدیریت پسماند کشور افزایش یابد. با توجه به نتایج بدست آمده در مطالعه، بازیافت بهترین گزینه مدیریتی جهت کاهش GWP می باشد. لذا در مواردی که استفاده همزمان از فرایندهای بازیافت و تجزیه بی هوازی امکان ندارد، استفاده از فرایند بازیافت توصیه می گردد. کاهش ورود پسماند پلاستیکی به کوره زباله سوز سبب کاهش محسوس GHG خروجی از زباله سوز می گردد. با توجه به سادگی تفکیک پسماند پلاستیکی، در فرایند زباله سوزی تفکیک پلاستیک به عنوان اولین گزینه مدیریتی جهت افزایش راندمان زیست محیطی کوره زباله سوز پیشنهاد می گردد.

در این مطالعه نشان داده شد، روش ارزیابی چرخه عمر (LCA) در تصمیم گیری برای مدیریت پسماند لوندویل قابلیت استفاده دارد. با استفاده از LCA می توان از بین سیستم های مختلف مدیریت جامع پسماند، سیستم بهینه را



- Waste and Emergency Response, U.S. Washington, DC. 1998.
- 18- Environmental Protection Agency (EPA). Compilation of Air Pollutant Emission Factors, 5th ed. Volume I: Stationary Point and Area Sources; U.S. Research Triangle Park, NC. 1997.
- 19- Weitz K. Life-Cycle Inventory Data Sets for the Material Production of Aluminum, Glass, Paper, Plastic, and Steel in North America. Draft Report; RTI International: Research Triangle Park, NC. 2003.
- 20- Farshid Z, Alan F. Fuel and GHG Emission Reduction Potentials by Fuel Switching and Technology Improvement in the Iranian Electricity Generation Sector. International Journal of Engineering (IJE). 2009; 3 (2): 159-173.
- 21- Atiq U.Z. Life Cycle Environmental Assessment of Municipal Solid Waste to Energy Technologies. Global Journal of Environmental Research. 2009; 3 (3): 155-163.
- 22- Environmental Protection Agency (EPA). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks; EPA 430-R-05-003; 1990-2003. Environmental Protection Agency, Office of Policy, Planning and Evaluation, Washington, DC. 2005.
- constructed wetland in Beijing. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. 2009; 14: 622-635.
- 12- Blengini G.A. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy. Building and Environment. 2009; 44: 319-330.
- 13- Environmental Protection Agency (EPA). Waste Prevention, Recycling, and Composting Options: Lessons from 30 US Communities. EPA530-R-92-015; Solid Waste and Emergency Response, U.S. Washington, DC. 1994. Chapter Four Comprehensive Source-Separation
- 14- Ozeler D, Yetiş Ü, Demirer G.N. Life cycle assessment of municipal solid waste management methods: Ankara case study. Environment International. 2006; 32: 405-411.
- 15- Chang N.B. Chen W.C. Fuzzy controller design for municipal incinerators with the aid of genetic algorithms and genetic programming techniques. Waste Management and Research. 2000; 18: 429-443.
- 16- Environmental Protection Agency (EPA). Solid Waste Management and Greenhouse Gases. A Life-cycle Assessment of Emissions and Sinks, 3rd Edition. US Environmental Protection Agency, Washington, DC. 2006.
- 17- Environmental Protection Agency (EPA). Greenhouse Gas Emissions from Management of Selected Materials in Municipal Solid Waste. EPA-530-R-98-013; Office of Solid