مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (3) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (3) 2016

# تخفيض انبعاث الميتان من مطامر النفايات البلدية الصلبة باستخدام المعالجة الميكانيكية البيولوجية (حالة الدراسة: معمل وادي الهدة، طرطوس)

**الدكتور هيثم شاهين***
**الدكتورة كوكب حربا****
**ريما حسن*****

**(تاريخ الإيداع 10 / 2 / 2015. قُبِل للنشر في 9/ 5 / 2016)**

## □ ملخّص □

يساهم قطاع النفايات الصلبة وخاصة في البلدان النامية ومنها سوريا في انبعاث غازات الدفيئة وبشكل أساسي غاز الميثان، وذلك نتيجة لعدم توفر طرق الإدارة المتكاملة للمخلفات الصلبة في هذه الدول.

وقد هدف هذا البحث إلى دراسة جدوى وفعالية طريقة المعالجة الميكانيكية البيولوجية للمخلفات البلدية الصلبة في تخفيض انبعاثات غاز الميتان مقارنة بطريقة الطمر العشوائي للمخلفات البلدية الصلبة. ومن أجل الوصول إلى هذا الهدف فقد تم استخدام المعادلة الواردة في الخطوط التوجيهية للفريق الدولي المعني بتغير المناخ في حساب انبعاثات الميتان الناتجة عن قطاع النفايات البلدية الصلبة في محافظة طرطوس السورية في حالة طمر النفايات البلدية الصلبة المتولدة عن المحافظة خلال الأعوام من 2010 وحتى 2015 في المكبات العشوائية، ومن أجل المقارنة تم إجراء الحساب بافتراض أن نفس الكمية من النفايات البلدية الصلبة المتولدة عن المحافظة خلال الأعوام من 2010 وحتى 2015 قد تمت معالجتها وفق طريقة المعالجة الميكانيكية البيولوجية. كما وقد تم حساب كمية غاز الميتان المنبعثة من النفايات البلدية الصلبة الداخلة إلى المركز المتكامل لمعالجة النفايات (معمل وادي الهدة) في (محافظة) طرطوس خلال عام من بداية حزيران 2014 حتى نهاية أيار 2015، باستخدام طريقة المعالجة الميكانيكية البيولوجية.

وبنتيجة الدراسة فقد تبين أن طريقة المعالجة الميكانيكية البيولوجية للنفايات البلدية الصلبة تخفّض بشكل كبير كمية انبعاثات الميتان من قطاع النفايات البلدية الصلبة مقارنة بعملية الطمر في المكبات العشوائية، حيث وصلت نسبة التخفيض الحاصل في انبعاث الميتان إلى 93%.

**الكلمات المفتاحية:** النفايات البلدية الصلبة، المعالجة الميكانيكية البيولوجية، الاحتباس الحراري، غاز الميتان.

* أستاذ في قسم الهندسة البيئية– كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
** مدرّسة في قسم الهندسة البيئية– كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية
*** طالبة ماجستير في قسم الهندسة البيئية-كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية- سورية .

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (3) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (3) 2016

# Reducing methane emissions from municipal solid waste landfills by using mechanical biological treatment (Case Study Wady Alhaddeh (MBT) plant, In Tartous)

**Dr.Haitham Shahin**[*]
**Dr.Kaukab Harba**[**]
**Rima Hassan**[***]

**(Received 10 / 2 / 2015. Accepted 9 / 5 / 2016)**

## □ ABSTRACT □

In developing countries, including Syria solid waste sector contributes to the emission of greenhouse gases, mainly methane, due to the lack of methods of integrated management of solid waste in these countries.

The objective of this research is to study the feasibility and effectiveness of mechanical biological treatment of municipal solid waste in a way to reduce methane gas emissions compared to the way the indiscriminate dumping of municipal solid waste. In order to reach this goal is the use of the formula contained in the guidelines of the International Panel on Climate Change (IPCC) in account the emissions of methane from municipal solid waste sector in the Syrian Tartous in the case of landfilling of municipal solid waste generated by the province during the years from 2010 until 2015 in random landfills. In order to compare the account is an assumption that the same amount of municipal solid waste generated by the province during the years from 2010 to 2015 have been treated in accordance with the mechanical biological treatment method. It was also calculate the amount of methane emitted from municipal solid waste entering the integrated waste treatment center in the Province of Tartous within one year from the beginning of June 2014 until the end of May 2015, using mechanical biological treatment method.

This study concluded that the mechanical biological treatment for municipal solid waste significantly reduces the amount of methane emissions from solid waste sector compared to the landfill, where the percentage of reduction in the emission of methane 93%.

**Keywords**: Municipal solid waste, Mechanical Biological Treatment, Greenhouse Gas, Methane Gas.

[*] **professor, Department Of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria**
[**] **Assistant professor, Department Of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria**.
[***] **Postgraduate Student, Department Of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

**مقدمة:**

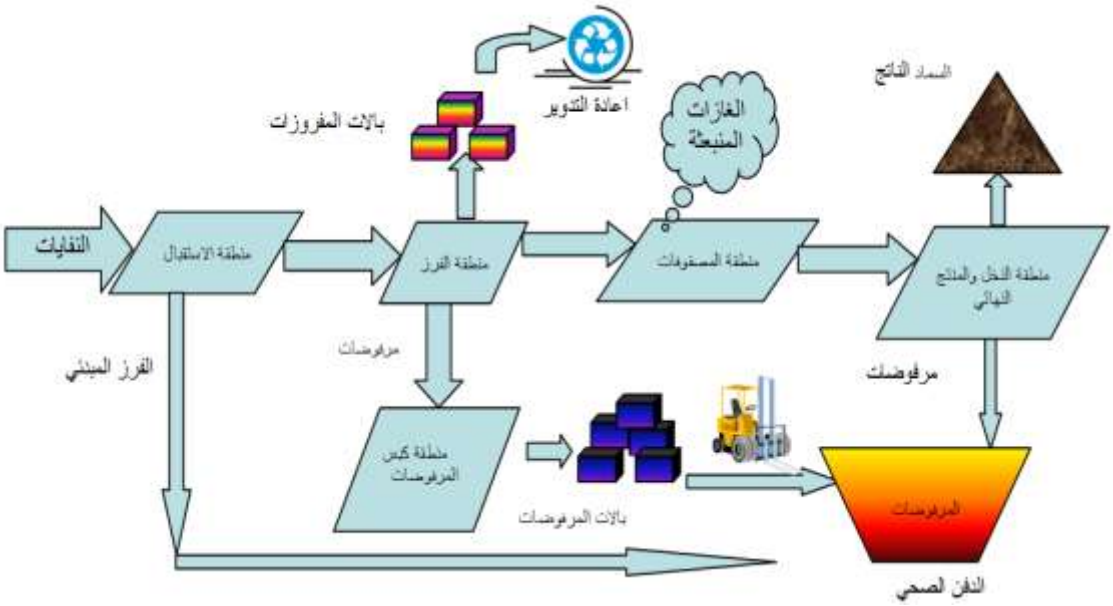
ازدادت الحاجة إلى وضع حلول مناسبة لظاهرة الاحتباس الحراري كونها من أهم المشاكل البيئية التي تواجه العالم، وخاصة بعد تزايد انبعاث غازات الدفيئة Greenhouse Gas (GHG)، وأهمها: ثنائي أكسيد الكربون $CO_2$ وغاز الميثان $CH_4$ وغاز أكسيد النتروز $N_2O$ وغاز سداسي فلور الكبريت $SF_6$ وغازات بيرفلور الكربون PFC وغازات هايدرو فلورو كربون HFC [1]. ويتوجب على كل الدول بحسب الاتفاقيات أن تبلغ عن إصداراتها السنوية من هذه الغازات، وتتخذ الطرق المناسبة للتخفيف منها.

من المعلوم أن قطاع النفايات الصلبة يساهم في انبعاث غازات الدفيئة، وخاصة في البلدان النامية حيث تحتوي هذه النفايات جزءا" لا بأس به من النفايات العضوية يصل حتى 60%، ويؤدي رمي هذه النفايات في المكبات أو طمرها في التربة إلى تخمرها بوجود البكتريا اللاهوائية وإصدار عدد من الغازات أهمها غاز الميثان، الذي يملك تأثيراً أسوأ ب 25 مرة من تأثير غاز ثنائي أكسيد الكربون من حيث إمكانية الاحتباس الحراري [2].

بالنسبة لقطاع النفايات الصلبة في البلدان النامية ومنها سوريا، فإن عملية معالجة النفايات بالطريقة الميكانيكية البيولوجية (Mechanical Biological Treatment, MBT) قبل طمرها، تعتبر طريقة مناسبة للتقليل من انبعاث غازات الدفيئة وبشكل أساسي الميتان ، حيث تعتبر هذه الطريقة الخيار الأنسب لمعالجة النفايات في هذه البلدان، لأن معظم النفايات فيها لا يتم فصلها (فرزها) في المصدر وبذلك فهي تحتاج إلى مرحلة معالجة ميكانيكية يتم فيها فرز النفايات لتسهل عملية تدويرها، إضافة إلى أن الجزء الأكبر من التركيب النوعي لهذه النفايات هو عضوي وبالتالي فطريقة المعالجة الأنسب هي المعالجة البيولوجية ليتم تحويلها إلى سماد أو الحصول على الغاز الحيوي.

ركزت العديد من الدراسات والأبحاث العلمية خصوصا في السنوات الأخيرة على عملية المعالجة الميكانيكية البيولوجية، كحل للتقليل من انبعاث غازات الدفيئة من قطاع النفايات الصلبة وخاصة انبعاث الميتان، ففي تايلاند تمت مقارنة الانبعاثات الناتجة عن المكبات المفتوحة والمطامر (الطريقتان السائدتان للتخلص من النفايات في عام 2009 في تايلاند)، مع طريقة المعالجة الميكانيكية البيولوجية، وفقاً للحسابات بلغت انبعاثات غازات الدفيئة من المعالجة البيولوجية الميكانيكية بما فيها الميتان 161 kg $CO_2$–eq/tone، في حين بلغت هذه الانبعاثات من المكب المفتوح 448 kg $CO_2$–eq/tonne، ومن الطمر (دون استرداد الغاز) 925 kg $CO_2$–eq/tonne[3] . أما في المملكة المتحدة فقد أجريت دراسة لتحديد نسبة التخفيض الحاصل في انبعاث الميتان عند معالجة الجزء العضوي بيولوجياً وتحويله إلى سماد بدلاً من طمره، وقد زادت نسبة التخفيض الحاصل عن 74%. وتتعلق نسبة هذا التخفيض الحاصل في انبعاث الميتان بمدة المعالجة البيولوجية، ففي ميلانو سمح معمل MBT بالحد من احتمالية تشكل الغاز الحيوي اللاهوائي بنسبة 56% بعد أربعة أسابيع من المعالجة، وبنسبة 79% بعد 12 أسبوعاً من المعالجة [4]. أما في إيطاليا وعند أخذ عينات من النفايات المعالجة بيولوجياً في معمل MBT، فقد كانت نسبة التخفيض الحاصل في احتمالية تولد غاز الميتان 67% بعد المعالجة لمدة 8أسابيع و 83% بعد 15أسبوعاً [5].

يعتمد المركز المتكامل لمعالجة النفايات البلدية الصلبة في محافظة طرطوس (معمل وادي الهدة) على طريقة المعالجة الميكانيكية البيولوجية (MBT) للنفايات وتحويل الجزء العضوي إلى سماد، ويبين الشكل ( 1) مخطط لمراحل معالجة النفايات داخل المعمل[6].




**الشكل (1): مخطط لمراحل معالجة النفايات داخل معمل وادي الهدة**

**أهمية البحث وأهدافه:**

بما أن تحلل النفايات الصلبة العضوية يعتبر أحد مصادر انبعاث غازات الدفيئة وبخاصة غاز الميتان والذي يساهم بشكل أساسي في تفاقم ظاهرة الاحتباس الحراري، كان لابد من دراسة عملية المعالجة المسبقة للنفايات بالطريقة الميكانيكية البيولوجية كأحد أهم الحلول للتخفيف من انبعاث غازات الدفيئة في البلدان النامية، إذ لا يوجد فرز مسبق للنفايات، ولا تتوافر تقنيات وخبرات استرداد غازات المطامر، حيث سيقدم هذا البحث مقارنة بين كمية الميتان الناتجة عن طمر نفايات محافظة طرطوس دون معالجة مسبقة، وبين كمية الميتان الناتجة عن معالجة هذه النفايات بالطريقة الميكانيكية البيولوجية في المركز المتكامل لمعالجة النفايات في وادي الهدة.

**طرائق البحث ومواده:**

اعتمد البحث على المعادلات الواردة في دليل الهيئة الحكومية المعنية بتغير المناخ بشأن القوائم الوطنية لحصر غازات الاحتباس الحراري(IPCC International Panel on Climate Change)، في حساب انبعاثات الميتان الناتجة عن مكبات النفايات الصلبة وعن عملية المعالجة الميكانيكية البيولوجية [7].

تم تحديد التركيب النوعي للنفايات بأخذ عينات من النفايات البلدية الصلبة لمحافظة طرطوس والقادمة بواسطة جرارات مباشرة إلى ساحة الاستقبال في معمل وادي الهدة دون مرورها بأي محطة ترحيل، حيث كان حجم كل عينة 500 كغ خلال أربعة فصول على مدار عام كامل من بداية حزيران 2014 حتى نهاية أيار 2015.

**3-1- حساب انبعاثات الميتان الناتجة عن مكبات النفايات الصلبة:**

تم اعتماد المعادلة الواردة في دليل الهيئة الحكومية المعنية بتغير المناخ (IPCC) لحساب انبعاثات الميتان الناتجة عن النفايات البلدية الصلبة لمحافظة طرطوس والتي يتم إلقاؤها في المكبات دون أي معالجة مسبقة.

حسبت إصدارات غاز الميثان $CH_4$ الناتجة عن مكبات النفايات الصلبة من العلاقة الرياضية التالية [8].

$$CH_4\ \text{Emissions} = (MSW_T * MSW_F * MCF * DOC + DOC_F * F * \frac{16}{12} - R) * (1 - OX) \qquad (1)$$

$CH_4$ Emissions : إجمالي انبعاثات الميثان في سنة الحصر،غيغا غرام ميتان (Gg/year).

$MSW_T$: الفضلات الصلبة الكلية المتولدة في العام.

MSWF: جزء الفضلات الصلبة التي ترحل إلى مكب الفضلات الصلبة تؤخذ 0.8 في سوريا [2].

MCF: معامل تصحيح الميثان.

DOC : الكربون القابل للتفكك.

$DOC_F$ : جزء الكربون الذي تفكك فعلاً.

F: جزء غاز الميثان في الغاز المتولد ( القيمة القياسية default factor هي 0.5).

R: غاز الميثان المسترجع غيغا غ / العام.

OX :عامل الأكسدة لغاز الميثان ( القيمة القياسية default factor تساوي الصفر).

**3-2- اختيار معاملات الانبعاث الداخلة في معادلة حساب إصدارات الميتان:**

❖ **معامل تصحيح الميثان (MCF):**

يفسر معامل تصحيح الميتان اختلاف كميات الميتان المنطلقة من مقدار معين من النفايات الملقاة في مكبات النفايات الصلبة حسب تصنيف هذه المكبات، حيث تصنف مواقع التخلص النهائي من النفايات الصلبة وفقاً للخطوط التوجيهية للفريق الدولي المعني بتغير المناخ (IPCC) بشأن القوائم الوطنية لحصر غازات الاحتباس الحراري إلى الأصناف التالية [8]:

- مواقع التخلص من النفايات الصلبة اللاهوائية المدارة: تخضع النفايات في هذه المواقع إلى آلية تحكم معينة حيث توجه النفايات إلى أماكن توضع محددة وتتضمن هذه المواقع مواد للتغطية، وعمليات ضغط وتسوية ميكانيكية للنفايات، وتكون قيمة معامل تصحيح الميتان (1).
- مواقع التخلص من النفايات الصلبة النصف هوائية المدارة: تخضع أيضاً النفايات في هذه المواقع إلى آلية تحكم معينة وتوجه النفايات إلى أماكن توضع محددة إلا أن مواد للتغطية في هذه المواقع تكون قابلة للنفاذ، وتكون قيمة معامل تصحيح الميتان (0.5).
- مواقع التخلص من النفايات الصلبة غير المدارة العميقة: تشمل كل مواقع التخلص من النفايات الصلبة والتي تتراكم فيها هذه النفايات لارتفاع يزيد عن 5 م، وتكون قيمة معامل تصحيح الميتان (0.8).
- مواقع التخلص من النفايات الصلبة غير المدارة السطحية: تشمل كل مواقع التخلص من النفايات الصلبة والتي تتراكم فيها هذه النفايات لارتفاع أقل عن 5 م، وتكون قيمة معامل تصحيح الميتان (0.4).
- مواقع التخلص من النفايات الصلبة غير المصنفة: في البلدان غير قادرة على تصنيف مواقع التخلص من النفايات الصلبة إلى أحد الأصناف الأربعة لمواقع التخلص من النفايات الصلبة المدارة وغير المدارة، يمكن استخدام قيمة معامل تصحيح الميتان لهذه الفئة (0.6).

تم الأخذ بعين الاعتبار الخصوصية المحلية بالنسبة لمواقع التخلص من النفايات الصلبة في محافظة طرطوس، والتي هي عبارة عن مكبات عشوائية يفوق عددها 60 مكب وهي غير مصنفة، لذلك سيتم اعتماد القيمة (0.6) لمعامل تصحيح الميتان الموافقة لحالة مواقع التخلص من النفايات الصلبة غير المصنفة.

❖ **الكربون القابل للتفكك (DOC ):**

يعتمد تقدير الكربون العضوي القابل للتحلل في النفايات الصلبة على مكونات هذه النفايات ومحتوى الكربون القابل للتحلل في كل مكون، حيث تم استخدام المعادلة (2) في تقدير الكربون القابل للتحلل (IPCC, 2006)

$$DOC = \sum_i (DOC_i * W_i) \qquad (2)$$

DOC: جزء الكربون العضوي القابل للتحلل في النفايات، غيغا غرام كربون/ غيغا غرام نفايات.

$DOC_i$: جزء الكربون العضوي القابل للتحلل في المكون i من النفايات، غيغا غرام كربون/ غيغا غرام نفايات. تؤخذ قيم هذا الجزء لكل مكون من مكونات النفايات البلدية الصلبة (كنسبة من الوزن الرطب) من الجدول الوارد في دليل الهيئة الحكومية المعنية بتغير المناخ، وهي للورق والكرتون 40% – للمنسوجات 24% – لبقايا الأغذية 15%– للخشب 43% – لنفايات الحدائق 20% – للحفاضات 24% [9] .

$W_i$: الجزء الممثل للمكون i في التركيب النوعي للنفايات المدروسة.

إن النفايات المدروسة هي نفايات محافظة طرطوس، ولتحديد التركيب النوعي لهذه النفايات تم أخذ عينات من النفايات البلدية الصلبة لمحافظة طرطوس والقادمة بواسطة جرارات مباشرة إلى ساحة الاستقبال في معمل وادي الهدة دون مرورها بأي محطة ترحيل، ويبين الجدول(1) توزع العينات على أشهر السنة.

بعد الانتهاء من تحديد التركيب النوعي لكل عينة من العينات المأخوذة على مدار عام كامل، تم تحديد التركيب النوعي الوسطي للنفايات البلدية الصلبة لمحافظة طرطوس باستخدام برنامج ( Excel). ويبين الجدول ( 2) التركيب النوعي الوسطي للنفايات البلدية الصلبة لمحافظة طرطوس.

**الجدول (1) توزع العينات على أشهر السنة**

| الفصل | الشهر | عدد العينات | تكرار كل عينة |
|---|---|---|---|
| صيف 2014 | حزيران | 3 | 3 |
| | تموز | | |
| | آب | | |
| خريف 2014 | أيلول | 2 | 3 |
| | تشرين الأول | | |
| شتاء 2014 – 2015 | كانون الثاني | 2 | 3 |
| | شباط | | |
| ربيع 2015 | نيسان | 2 | 3 |
| | أيار | | |

**الجدول (2) التركيب النوعي الوسطي للنفايات البلدية الصلبة في محافظة طرطوس**

| المكون | النسبة المئوية % |
|---|---|
| بلاستيك | 12.98 |
| نسيج | 4.6 |
| معادن | 3 |
| خشب | 1.41 |
| ورق وكرتون | 5.3 |
| زجاج | 2.82 |
| مخلفات غذائية | 66.56 |
| الحفاضات+محارم | 3.33 |
| المجموع | 100 |

أما نفايات الحدائق فقد تم حساب نسبتها، من خلال إحصاء عدد القلابات المتولدة شهرياً عن مدينة طرطوس خلال فترة الدراسة، حيث أن حجم القلاب الواحد 7 م$^3$، وكثافة نفايات الحدائق 105 كغ/ م$^3$ [10]، وكانت كميتها المتولدة شهريا وفق ما يبينه الجدول( 3)، وتم نسب هذه الكميات إلى الكمية الشهرية الوسطية للنفايات البلدية الصلبة المتولدة عن مدينة طرطوس (الجدول4). فكانت نسبة نفايات الحدائق حوالي 2%.

**الجدول (3) كمية نفايات الحدائق المتولدة شهرياً عن مدينة طرطوس**

| العام | الشهر | عدد القلابات | الوزن ب طن |
|---|---|---|---|
| 2014 | حزيران | 167 | 122.745 |
| | تموز | 156 | 114.66 |
| | آب | 123 | 90.405 |
| | أيلول | 119 | 87.465 |
| | ت1 | 178 | 130.83 |
| | ت2 | 207 | 152.145 |
| | ك1 | 211 | 155.085 |
| 2015 | ك2 | 159 | 116.865 |
| | شباط | 163 | 119.805 |
| | آذار | 223 | 163.905 |
| | نيسان | 166 | 122.01 |
| | أيار | 140 | 102.9 |
| وسطي شهري | | 168 | 123.5 |

**الجدول (4) كمية النفايات البلدية الصلبة المتولدة شهرياً عن مدينة طرطوس**

| العام | الشهر | الكمية طن/شهر |
|---|---|---|
| 2014 | حزيران | 6200 |
| | تموز | 6500 |
| | آب | 6600 |
| | أيلول | 6200 |
| | ت1 | 6000 |
| | ت2 | 5800 |
| | ك1 | 5900 |
| 2015 | ك2 2015 | 6500 |
| | شباط | 5900 |
| | آذار | 6900 |
| | نيسان | 6100 |
| | أيار | 6300 |
| وسطي شهري | | 6241.67 |

$$DOC = \left(\frac{4.6}{100} * \frac{24}{100}\right) + \left(\frac{1.41}{100} + \frac{43}{100}\right) + \left(\frac{5.3}{100} * \frac{40}{100}\right) + \left(\frac{66.56}{100} * \frac{15}{100}\right) + \left(\frac{3.33}{100} * \frac{24}{100}\right) + \left(\frac{2}{100} * \frac{20}{100}\right)$$

$$DOC = 0.15 \text{ (غيغاغرام كربون/غيغا غرام نفايات)}$$

❖ **جزء الكربون الذي تفكك فعلاً ($DOC_F$ ):**

يمثل جزء الكربون العضوي القابل للتحلل والمنحل فعلا، ويعكس حقيقة أن بعض الكربون العضوي القابل للتحلل لا يتحلل أو يتحلل بشكل بطيء للغاية في ظل الظروف اللاهوائية في مواقع التخلص من النفايات الصلبة، وتم استخدام قيمة $DOC_F$ الواردة في دليل الهيئة الحكومية المعنية بتغير المناخ ( 0.77) [8]، والتي استخدمت للنفايات البلدية الصلبة في سوريا [2]، حيث أن نسبة الجزء العضوي للنفايات البلدية الصلبة في سوريا مرتفعة وكذلك رطوبتها مرتفعة.

❖ **جزء غاز الميثان في الغاز المتولد (F):**

تولد معظم النفايات في مواقع التخلص من النفايات الصلبة غازًا يحتوي 50% ميتان. فقط المواد التي تحتوي على كميات كبيرة من الدهون أو الزيوت يمكن أن تولد غاز بكميات كبيرة تزيد فيه نسبة الميتان عن 50%؛ لذا يوصى باستخدام قيمة الهيئة الافتراضية لجزء الميتان في غازات المكبات (0.5) [8].

❖ **غاز الميثان المسترجع (R):**

يمكن استعادة غاز الميتان المتولد في مواقع التخلص من النفايات الصلبة، ويتم التعبير عن كمية الميتان المستعادة في معادلة حساب إصدارات الميتان الناتجة عن هذه المواقع. بالنسبة لمواقع التخلص من النفايات الصلبة في محافظة طرطوس لا تتم فيها أي استعاده لغاز الميتان، فإن والقيمة الافتراضية لاستعادة الميثان هي صفر[8].

❖ **عامل الأكسدة لغاز الميثان (OX):**

يعكس معامل الأكسدة كمية الميثان الناجمة عن مواقع التخلص من النفايات الصلبة التي تتم أكسدتها في التربة والمواد الأخرى التي تغطي النفايات، تتم أكسدة الميثان بواسطة كائنات دقيقة في ترب الغطاء ويمكن أن تتراوح الأكسدة ما بين الكميات الصغيرة إلى الأكسدة التامة 100% للميثان الذي يتم إنتاجه داخليًا، وتؤثر السماكة والخصائص الفيزيائية ومحتوى الرطوبة لترب الغطاء مباشرة على أكسدة الميثان. وقد أظهرت الدراسات أن معامل الأكسدة يختلف بشكل كبير في المواقع المغطاة بمادة سميكة وجيدة التهوية عن المواقع التي لا تحتوي على غطاء أو المواقع التي تهرب منها كميات كبيرة من الميثان عبر الشقوق(التصدعات) الموجودة في الغطاء.

تبلغ القيمة الافتراضية لمعامل الأكسدة صفرًا بالنسبة لمواقع التخلص غير المصنفة، كما هو الحال بالنسبة لمكبات النفايات في محافظة طرطوس، وإن استخدام قيمة الأكسدة التي تبلغ 0.1 له ما يبرره لمواقع التخلص من النفايات الصلبة المغطاة وذات الإدارة الجيدة لتقدير كل من الانتشار عبر الغطاء والتهريب من خلال التشققات (التصدعات) [8].

**3-2- حساب كمية الميتان الناتجة عن عملية المعالجة الميكانيكية البيولوجية:**

سوف يتم استخدام المعادلات الواردة في توجيهات الفريق الدولي المعني بتغير المناخ بالنسبة لعملية المعالجة الميكانيكية البيولوجية يمكن افتراض صغر حجم الانبعاثات الناجمة عن العمليات الميكانيكية [8]، وبالتالي يتم حساب الانبعاثات الناتجة عن العمليات البيولوجية (وفق المعادلات الواردة في الخطوط التوجيهية لهيئة IPCC لعام 2006بشأن القوائم الوطنية لحصر غازات الاحتباس الحراري) [11] :

$$CH_4\ Emissions = \sum_i (M_i * EF_i) * 10^{-3} - R \qquad (3)$$

$CH_4$ Emissions : إجمالي انبعاثات الميثان في سنة الحصر، غيغا غرام ميتان.

Mi: كتلة النفايات العضوية التي ستخضع للمعالجة حسب نوع المعالجة البيولوجية المتبعة *i*، كغ (نحصل على هذه القيمة بجداء كمية النفايات الكلية المتولدة سنوياً بالنسبة 66.56% والتي تمثل نسبة الجزء العضوي لنفايات محافظة طرطوس والتي ستخضع للمعالجة البيولوجية)

EF: معامل الانبعاث للمعالجة i، غرام ميثان/كغ نفايات تمت معالجتها.

I: إنتاج السماد أو التحلل اللاهوائي

R : إجمالي كمية الميثان التي تمت استعادتها في سنة الدراسة غيغا غرام ميتان.( تساوي قيمتها الصفر حيث لا يوجد أي عمليات استعادة لغاز الميتان في معمل وادي الهدة).

❖ **اختيار معامل انبعاث الميتان(EF):**

تعتمد الانبعاثات الناجمة عن إنتاج السماد على عدة عوامل مثل نوع النفايات التي يتم تسميدها ودرجة الحرارة ومحتوى الرطوبة والتهوية خلال العملية. بالنسبة لمعامل انبعاث الميتان(EF) من النفايات الرطبة الداخلة في عملية المعالجة البيولوجية (إنتاج السماد) في معمل وادي الهدة ، تم اعتماد القيمة ( 4) لهذا المعامل من الجدول ( 5) الوارد

في دليل الهيئة الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC لعام 2006 بشأن القوائم الوطنية لحصر غازات الاحتباس الحراري.

**الجدول (5) معاملات الانبعاث الافتراضية للميثان وأكسيد النيتروز الناجمة عن المعالجة البيولوجية للنفايات** [11].

| نوع المعالجة البيولوجية | معاملات انبعاث الميتان (غرام ميتان /كغ نفايات معالجة | | معاملات انبعاث أكسيد النيتروز (غرام ميتان /كغ نفايات معالجة | | ملاحظات |
|---|---|---|---|---|---|
| | على أساس الوزن الجاف | على أساس الوزن الرطب | على أساس الوزن الجاف | على أساس الوزن الرطب | |
| إنتاج السماد | 10 (20–0.08) | 4 (8–0.03) | 0.6 (1.6–0.2) | 0.3 (0.6–0.06) | افتراضات النفايات التي تمت معالجتها: 25 – 50 % كربون عضوي قابل للتحلل في الجسم الجاف. 2% نيتروز في الجسم الجاف محتوى الرطوبة 60% يتم تقدير معاملات الانبعاث للنفايات الجافة من معاملات الانبعاث الخاصة بالنفايات الرطبة على افتراض محتوى رطوبة يبلغ 69% في النفايات الرطبة. |
| التحلل اللاهوائي في منشآت الغاز الحيوي | 2 (20–0) | 1 (8–0) | من المفترض أنها قليلة | من المفترض أنها قليلة | |

من أجل تحديد قيمة معامل انبعاث الميتان ( EF) من الجدول (5) تم تحديد محتوى الكربون في الجزء العضوي من النفايات البلدية الصلبة لمحافظة طرطوس، حيث تم أخذ أربع عينات من النفايات العضوية التي ستتم معالجتها بيولوجياً وتحويلها إلى سماد في معمل وادي الهدة، وتم تحديد رطوبتها ومحتوى الكربون العضوي فيها. حيث أظهرت تجربة الرطوبة أن وسطي رطوبة الجزء العضوي من النفايات المدروسة حوالي 63%، في حين كان وسطي محتوى الكربون العضوي حوالي 48%، وبالتالي يمكن استخدام القيم الواردة في الجدول (5) حسب افتراضات النفايات المُعَالجة المذكورة في هذا الجدول.

يبين الجدول (6) قيم الرطوبة للجزء العضوي من النفايات البلدية لمحافظة طرطوس، ويبين الجدول ( 7) قيم محتوى الكربون العضوي.

**الجدول (6) رطوبة الجزء العضوي من النفايات البلدية لمحافظة طرطوس**

| المكررات | وزن الجفنة فارغة g | وزن العينة g | وزن العينة مع الجفنة قبل التجفيف g | وزن العينة مع الجفنة بعد التجفيف g | وزن العينة بعد التجفيف g | رطوبة العينة % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 64.63 | 66.48 | 131.11 | 86.28 | 21.65 | 67.43 |
| 2 | 58.11 | 58.26 | 116.37 | 79.86 | 21.75 | 62.65 |
| 3 | 58.19 | 68.46 | 126.65 | 89.03 | 30.84 | 54.96 |
| 4 | 62.69 | 62.56 | 125.25 | 83.35 | 20.66 | 66.97 |

**الجدول (7) محتوى الكربون العضوي في العينات**

| المكررات | وزن العينة المجففة المأخوذة gr | وزن الجفنة فارغة gr | وزن العينة المجففة مع الجفنة gr | وزن العينة مع الجفنة بعد الترميد gr | المواد الطيارة الكلية كنسبة من الوزن الجاف [% DS] | الكربون العضوي كنسبة من الوزن الجاف [% DS] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 21.65 | 64.63 | 86.28 | 68.68 | 81.29 | 47.151 |
| 2 | 21.75 | 58.11 | 79.86 | 61.49 | 84.46 | 48.97 |
| 3 | 30.84 | 58.19 | 89.03 | 61.94 | 87.84 | 50.95 |
| 4 | 20.66 | 62.69 | 83.35 | 66.08 | 83.59 | 48.48 |
| الوسطي | | | | | 84.3 | 48.89 |

تم حساب محتوى الكربون العضوي باستخدام المعادلة:

الكربون العضوي= 0.58 * المواد الطيارة الكليّة كنسبة من الوزن الجاف [12]. (4)

حيث حسبت المواد الطيارة الكليّة من العلاقة:

المواد الطيارة الكليّة كنسبة من الوزن الجاف= $\frac{M_{VM}-M_{DRY}}{M_{TARE}-M_{DRY}}$ [12]. (5)

$M_{DRY}$: وزن العينة المجففة (105 °C) مع الجفنة، غ.

$M_{VM}$: وزن العينة مع الجفنة بعد الترميد (550 °C)، غ.

$M_{TARE}$: وزن الجفنة فارغة، غ.

**النتائج والمناقشة:**

**4-1- انبعاثات الميتان الناتجة عن مكبات النفايات الصلبة:**

تم الحساب باستخدام المعادلات الواردة في الخطوط التوجيهية لهيئة IPCC، ومن أجل تسهيل الحساب تم تعبئة الجداول (6-1s1,6-1A,6-1B,6-1C) الواردة في دليل ال IPCC (module 6 Waste IPCC 1996)[13] وفق:

الخطوة الأولى :

تحسب الكمية الإجمالية من النفايات البلدية الصلبة التي يتم التخلص منها في المكبات (الجدول 8)، حيث أن إنتاج الفرد من النفايات باليوم 0.5 كغ/شخص. يوم [2]. و معامل النفايات البلدية التي تذهب إلى المكبات يساوي 0.80 [2].

**الجدول (8) حساب الكمية الإجمالية من النفايات البلدية الصلبة التي يتم التخلص منها في المكبات**

| سنة الحصر | عدد السكان | المعدل الوسطي لإنتاج الفرد من النفايات (كغ/شخص/يوم) | كمية النفايات البلدية الصلبة المتولدة سنويا (غيغا غرام) | جزء النفايات البلدية الصلبة التي يتم التخلص منها في المكبات | الكمية الإجمالية من النفايات البلدية الصلبة التي يتم التخلص منها في المكبات (غيغا غرام) |
|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E |
| 2010 | 786760 | 0.5 | 143.584 | 0.8 | 114.867 |
| 2011 | 886366 | 0.5 | 161.762 | 0.8 | 129.409 |
| 2012 | 989765 | 0.5 | 180.632 | 0.8 | 144.506 |
| 2013 | 1027148 | 0.5 | 187.455 | 0.8 | 149.964 |
| 2014 | 1062997 | 0.5 | 193.997 | 0.8 | 155.198 |
| 2015 | 1117556 | 0.5 | 203.954 | 0.8 | 163.163 |

الخطوة الثانية:

تدخل معامل تصحيح الميتان (MCF) MCF=0.6 في العمود B من الجدول (9).

تدخل نسبة الكربون العضوي المتفكك ( DOC=0.15) في العمود C من الجدول (9).

تدخل نسبة الكربون العضوي المتفكك الفعلي ( $DOC_F$=0.77) ونضعه في العمود D من الجدول (9).

تدخل جزء غاز الميتان في الغاز المتولد (0.5) ونضعه في العمود E من الجدول (9).

تحسب $CH_4$ المنطلق من وحدة النفايات بجداء العمود C بالعمود D بالعمود E بمعامل التحويل 12/ 16 للتحويل من كربون إلى غاز ميتان ثم ندخل الناتج في العمود G من الجدول (9).

تحسب $CH_4$ المنطلق من وحدة النفايات بجداء G ب B ثم ادخل الناتج في H من الجدول (9).

الخطوة الثالثة:

تحصل على كمية $CH_4$ الإجمالية المنبعثة سنويا" بجداء العمود H ب A ونضعه فيJ من الجدول (9).

تضع كمية $CH_4$ المسترجعة سنويا" في K من الجدول (9).

تحصل على كمية $CH_4$ الصافية المنبعثة سنويا" بطرح K من J و نضع الناتج في L من الجدول (9).

**الجدول (9) حساب كمية $CH_4$ المنبعثة سنوياً من مكبات النفايات الصلبة في محافظة طرطوس.**

| سنة الدراسة | الخطوة الأولى | الخطوة الثانية | | | | | | | | الخطوة الثالثة | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L |
| | الكمية الإجمالية من النفايات البلدية الصلبة التي يتم التخلص منها في المكبات (غيغا غرام) | MCF | DOC | $DOC_F$ | جزء غاز الميتان في الغاز المتولد | معامل تحويل | نسبة الميتان المحتملة المتولدة عن وحدة النفايات (غيغا غرام ميتان لكل غيغا غرام نفايات) | $CH_4$ المنطلق من وحدة النفايات (غيغا غرام ميتان لكل غيغا غرام نفايات) | $CH_4$ الإجمالية المنبعثة سنويا (غيغا غرام ) | $CH_4$ المسترجعة سنويا (غيغا غرام) | $CH_4$ الصافية المنبعثة سنويا (طن) |
| 2010 | 114.87 | 0.6 | 0.15 | 0.77 | 0.5 | 16/12 | 0.08 | 0.05 | 5.7433 | 0 | 5743 |
| 2011 | 129.41 | 0.6 | 0.15 | 0.77 | 0.5 | 16/12 | 0.08 | 0.05 | 6.4704 | 0 | 6470 |
| 2012 | 144.51 | 0.6 | 0.15 | 0.77 | 0.5 | 16/12 | 0.08 | 0.05 | 7.2252 | 0 | 7225 |
| 2013 | 149.96 | 0.6 | 0.15 | 0.77 | 0.5 | 16/12 | 0.08 | 0.05 | 7.4981 | 0 | 7498 |
| 2014 | 155.19 | 0.6 | 0.15 | 0.77 | 0.5 | 16/12 | 0.08 | 0.05 | 7.7598 | 0 | 7760 |
| 2015 | 163.16 | 0.6 | 0.15 | 0.77 | 0.5 | 16/12 | 0.08 | 0.05 | 8.1581 | 0 | 8158 |
| كمية النفايات الداخلة إلى معمل الهدة خلال فترة الدراسة 20.002 Gg | | 0.6 | 0.15 | 0.77 | 0.5 | 16/12 | 0.08 | 0.05 | 1 | 0 | 1 |

**4-2- انبعاثات الميتان الناتجة عن عملية المعالجة الميكانيكية البيولوجية:**

تم الحساب باستخدام المعادلة ( 3) الواردة في الخطوط التوجيهية لهيئة IPCC، لحساب انبعاثات الميتان الناتجة عن عملية المعالجة البيولوجية حيث يمكن فرض صغر حجم الانبعاثات الناتجة عن المعالجة الميكانيكية [11]. وتم حساب الانبعاثات المتولدة في حال معالجة كمية النفايات البلدية الصلبة المتولدة عن محافظة طرطوس من 2010 وحتى 2015 بطريقة المعالجة الميكانيكية البيولوجية (الجدول10)، وكذلك حساب الانبعاثات الناتجة عن كمية النفايات البلدية الصلبة الداخلة إلى معمل وادي الهدة خلال فترة الدراسة (الجدول 11).

**الجدول (10)انبعاثات الميتان من نفايات محافظة طرطوس من 2010 حتى 2015 عند استخدام MBT**

| سنة الدراسة | كمية النفايات البلدية الصلبة المتولدة (Gg) | (Mi) كتلة النفايات العضوية الخاضعة للمعالجة (Gg) | (EF) معامل انبعاث الميتان للمعالجة | (R) إجمالي كمية الميتان التي تمت استعادتها (Gg $CH_4$) | انبعاثات $CH_4$ (Gg $CH_4$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2010 | 143.5837 | 95.627 | 4 | 0 | 0.383 |
| 2011 | 161.761795 | 107.733 | 4 | 0 | 0.431 |
| 2012 | 180.6321125 | 120.301 | 4 | 0 | 0.481 |
| 2013 | 187.45451 | 124.845 | 4 | 0 | 0.499 |
| 2014 | 193.9969525 | 129.202 | 4 | 0 | 0.517 |
| 2015 | 203.95397 | 135.833 | 4 | 0 | 0.543 |

**الجدول (11)انبعاثات الميتان من النفايات الداخلة إلى معمل الهدة خلال فترة الدراسة**

| كمية النفايات البلدية الصلبة الداخلة إلى معمل وادي الهدة خلال فترة الدراسة (Gg) | (Mi) كتلة النفايات العضوية الداخلة إلى معمل الهدة خلال فترة الدراسة (Gg) | (EF) معامل انبعاث الميتان للمعالجة | (R)إجمالي كمية الميتان التي تمت استعادتها | انبعاثات $CH_4$ (Gg $CH_4$) |
|---|---|---|---|---|
| 20.002 | 11.581 | 4 | 0 | 0.0463 |

**4-3- التخفيض الحاصل في انبعاثات الميتان:**

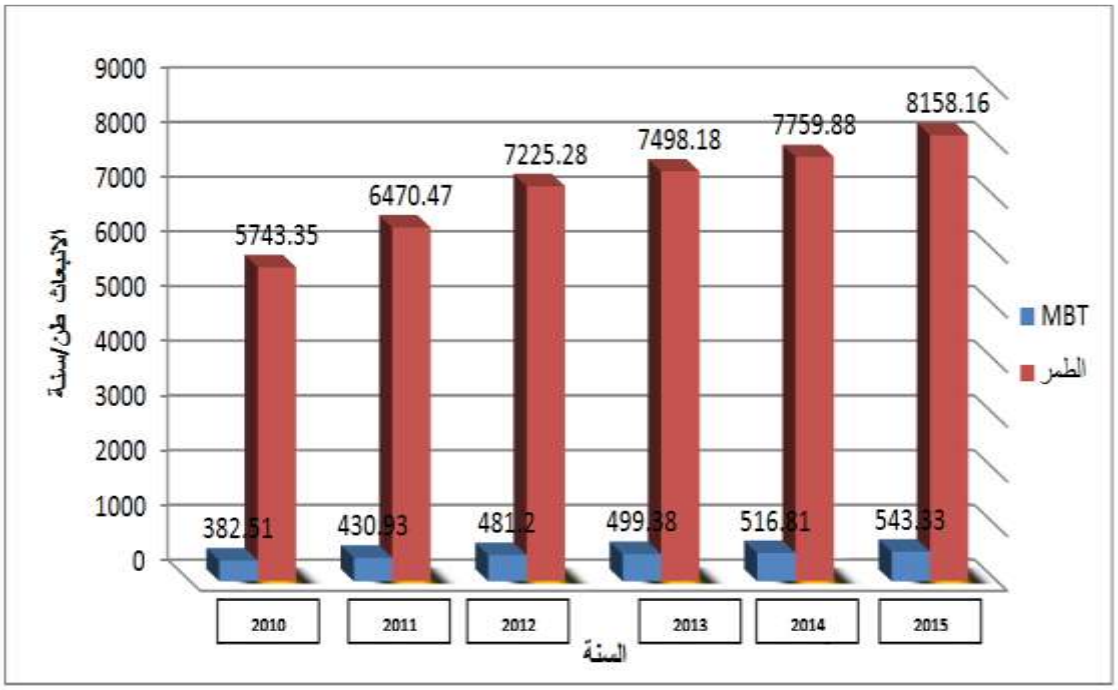
بالمقارنة بين انبعاثات الميتان الناتجة عن طمر النفايات وتلك الناتجة عن المعالجة الميكانيكية البيولوجية لكمية النفايات البلدية الصلبة المتولدة عن محافظة طرطوس من 2010 وحتى 2015 (الجدول12 ) والتمثيل البياني مبين بالشكل ( 2)، والمقارنة أيضاً بالنسبة لكمية النفايات البلدية الصلبة الداخلة إلى معمل وادي الهدة خلال فترة الدراسة (الجدول13) والتمثيل البياني مبين بالشكل (3)، نلاحظ انخفاض كبير في انبعاث الميتان عند استخدام طريقة المعالجة الميكانيكية البيولوجية، حيث أن نسبة التخفيض الحاصل وصلت إلى 93%.

**الجدول (12) التخفيض الحاصل في انبعاث الميتان من نفايات محافظة طرطوس من 2010 حتى 2015 عند استخدام MBT**

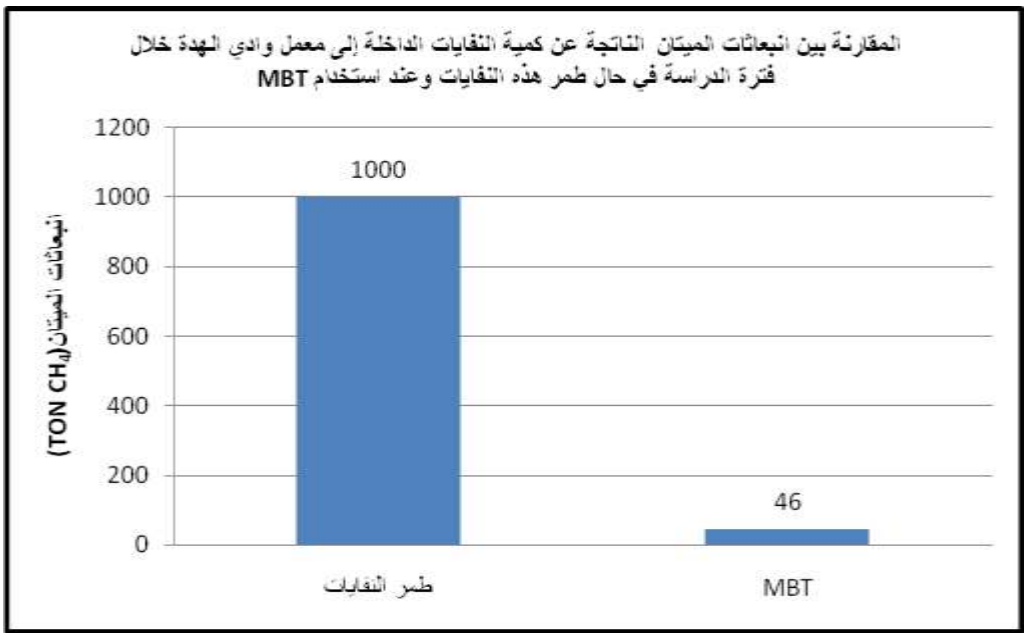
| التخفيض الحاصل عند استخدام MBT ($TON\ CH_4$) | $CH_4$ Emissions ($Gg\ CH_4$) | | | سنة الدراسة |
|---|---|---|---|---|
| | التخفيض الحاصل | MBT | طمر النفايات | |
| 5361 | 5.361 | 0.383 | 5.743 | 2010 |
| 6039 | 6.039 | 0.431 | 6.470 | 2011 |
| 6744 | 6.744 | 0.481 | 7.225 | 2012 |
| 6999 | 6.999 | 0.499 | 7.498 | 2013 |
| 7243 | 7.243 | 0.517 | 7.76 | 2014 |
| 7615 | 7.615 | 0.543 | 8.158 | 2015 |

**الجدول (13) التخفيض الحاصل في انبعاث الميتان من النفايات الداخلة إلى معمل الهدة خلال فترة الدراسة**

| التخفيض الحاصل عند استخدام MBT ($TON\ CH_4$) | انبعاثات الميتان الناتجة عن كمية النفايات الداخلة إلى معمل الهدة خلال فترو الدراسة ($Gg\ CH_4$) | | |
|---|---|---|---|
| | التخفيض الحاصل | طمر النفايات | MBT |
| 954 | 0.954 | 1.0001 | 0.046 |




**الشكل (2) المقارنة بين كمية الميتان المنبعثة من نفايات محافظة طرطوس من 2010 حتى 2015 عند استخدام MBT كبديل عن الطمر العشوائي**




**الشكل (3) المقارنة بين كمية CH4 المنبعثة عن كمية النفايات الداخلة إلى معمل الهدة خلال فترة الدراسة في حال استخدام MBT وفي حال طمر النفايات**

**5- الاستنتاجات والتوصيات:**

1 - يشكل الجزء العضوي القسم الأكبر من التركيب النوعي للنفايات البلدية في محافظة طرطوس، وبالتالي فإن طمر هذه النفايات عشوائياً سيؤدي إلى تزايد انبعاثات غاز الميتان مع زيادة هذا الجزء.

2 - تزايدت انبعاثات الميتان في محافظة طرطوس من 2010 حتى 2015 وذلك بسبب الطمر العشوائي لكميات النفايات البلدية الصلبة المتولدة خلال هذه الأعوام.

3 - تعتبر طريقة المعالجة الميكانيكية البيولوجية MBT المتبعة حالياً، والتي يتم فيها تحويل الجزء العضوي إلى سماد، طريقة مناسبة لمعالجة النفايات البلدية الصلبة في محافظة طرطوس، كون هذه النفايات لا يتم فرزها في المصدر، إضافة إلى أن الجزء العضوي فيها يشكل نسبة كبيرة من تركيبها النوعي.

4 - يؤدي استخدام طريقة المعالجة الميكانيكية البيولوجية للمخلفات الصلبة في محافظة طرطوس إلى تخفيض انبعاثات الميتان بنسبة 93% مقارنة بطريقة الطمر في المكبات العشوائية.

5 - إن جعل محطة وادي الهدة تعمل بطاقتها القصوى وتوسيعها المستمر من أجل معالجة كامل كميات النفايات المتولدة في محافظة طرطوس سيؤدي إلى وقف الطمر العشوائي للنفايات فيها، وبالتالي سيساهم في تخفيض انبعاثات غاز الميتان وبالتالي التخفيض التدريجي لتلوث هواء المدينة السياحية.

6 - من أجل الحصول على أفضل النتائج في مجال تخفيض انبعاثات غاز الميتان الناتج عن قطاع النفايات البلدية الصلبة في محافظة طرطوس وفي سوريا بشكل عام لا بد من تطبيق عملية الإدارة المتكاملة للمخلفات البلدية الصلبة والتي تتضمن فرز النفايات في مكان النشوء ومعالجة نواتج الفرز كل على حدا.

**المراجع:**

[1]. PENMAN, J.; GYTARSKY, M.; HIRAISHI, T.; IRVING, W.; KRUG, T. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Overview, NGGIP, IGES, Japan, 2006, 12.

[2] . خرفان، سعد الدين. *تقويم انبعاث غاز الميثان من الفضلات الصلبة المطروحة في سورية، الجامعة العربية الخاصة للعلوم والتكنولوجيا*، حماه – سورية، (2005)، 13.

[3]. MENIKPURA, S.; ARUN, J.; BENGTSSON, M. *Mechanical Biological Treatment as a Solution for Mitigating Greenhouse Gas Emissions from Landfills in Thailand*. The ISWA World Solid Waste Congress, Florence, Italy, September 2012, 10.

[4]. PAN, J.; VOULVOULIS, N. *The Role of Mechanical and Biological Treatment in Reducing Methane Emissions from Landfill Disposal of Municipal Solid Waste in the United Kingdom.* Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 57, Issue 2,U.K., 2007, p155.

[5]. GIOANNIS, G.;, MUNTONI,A.; CAPPAI, G.; MILIA, S. *Landfill gas generation after mechanical biological treatment of municipal solid waste. Estimation of gas generation rate constants*. Waste Management, Vol. 29, Issue 3, Cagliari , Italy, March 2009, Pages 1026–1034.

[6]. الدارسة الفنية التنفيذية لمطمر وادي الهدة، مديرية الخدمات الفنية، محافظة طرطوس.

[7]. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006, vol. 1-5, NGGIP, IGES, Japan. (http://www.ipcc-nggip.iges. or.jp).

[8]. PIPATTI, R.; SVARDAL, P.; ALVES, J. S.; GAO, Q.; CABRERA, C.; SMITH, A.; SCHEEHLE, E; YAMADA, M. *Solid Waste Disposal*. IPCC Guidelines for

National Greenhouse Gas Inventories. Vol.5, CHAPTER 3, NGGIP, IGES, Japan, 2006, 40.

[9]. PIPATTI, R.; SHARMA, C.;ALVES, J. S.; GAO, Q.; CABRERA, C.; MARECKOVA, K.; OONK, H.; SMITH, A.; YAMADA, M. *Waste Generation, Composition And Management Data*. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol.5, CHAPTER 2, NGGIP, IGES, Japan, 2006, 23.

[10]. العجي، بسام. معالجة النفايات الصلبة، منشورات جامعة دمشق، 2005.

[11]. PIPATTI, R.; ALVES, J. S.; GAO, Q.; CABRERA, C.; MARECKOVA, K.; OONK, H.; SMITH, A.; YAMADA, M. *Biological Treatment Of Solid Waste*. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol.5, CHAPTER 4, NGGIP, IGES, Japan, 2006, 8.

[12]. BACHERT, C; BIDLINGMAIER, W;WATTANACHIRA. *Open Windrow Composting Manual*. ORBIT e.v. , Weimar, Germany, 2008,68. <Waste@uni-Weimar.de>.

[13]. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Green house gas Inventory: Workbook, Module 6 Waste.