

دراسة علمية وعملية لردم النفايات البلدية

Scientific and Empirical Study of Landfill of Municipal Waste

د. نعيم محمد علي ابراهيم - قسم الكيمياء - كلية التربية - جامعة كربلاء - محافظة كربلاء المقدسة

د. جاسم طالب مهدي - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة كربلاء - محافظة كربلاء المقدسة

الخلاصة

تناول هذا البحث الاساليب العلمية التي يمكن تبنيها لردم النفايات البلدية Municipal wastes التي تشكل تهديداً للبيئة والصحة العامة وبالتالي فهي تمثل بحد ذاتها عبئاً على الجهات المسؤولة عن الحفاظ على البيئة وحماية المجتمع من مخاطر التلوث البيئي وما ينتج عنه من آثار سلبية على الهواء والماء والتربة.

إن الاساليب والطرق العلمية التي تم عرضها في هذا البحث لها من الاجابيات ليس في حماية البيئة فقط ولكن أيضاً على الجانب الاقتصادي والتي مردودها يتمثل في الحصول على الطاقة وذلك من خلال الاسلوب العلمي التقني المتبع في إستخلاص غاز الميثان من النفايات البلدية والذي يوفر مصدر جديد للحصول على الطاقة وبنفس الوقت يبعد خطر التلوث البيئي ومخاطره الصحية.

المخططات اللازمة لردم النفايات البلدية تم توضيحها بشكل مبسط إضافة الى الاجراءات اللازمة التي يجب إتباعها في نقل ومن ثم ردم النفايات البلدية لتجنب احتمال حدوث كارثة بيئية والتي قد تسبب عبئاً ثقيلاً على الدولة للسيطرة عليها.

Abstract

This study is explaining the scientific and practical methods that can be adopted to landfill municipal solid waste (MSW), of which constitutes a threat to the environment, public health and eventually representing in itself a burden for the local authorities who are responsible to protect the environment and the society from such pollutant and its adverse consequences on air, water and soil.

The research elaborates the techniques deployed that have advantages not only in protecting our environment but also in the economical aspects. Its return include producing energy by applying simple and cost effective technology to extract methane gas from biodegradable municipal solid waste, so saving energy and avoiding environmental pollution and its health hazards.

Methods and diagrams to be introduced to landfill of municipal solid wastes were shown clearly, added to that the means to transporting and then landfill municipal solid waste.

المقدمة

النفايات البلدية Municipal wastes هي المخلفات الصلبة التي يطرحها الإنسان للتخلص منها وفي كل يوم نتيجة لممارسته مختلف النشاطات الحياتية وعلى مدار السنة. كما يطلق عليها بالنفايات البلدية حيث تتولى الإدارات البيئية في بلدية مدينة أو منطقة سكنية معينة مسؤولية جمع ونقل هذه النفايات لردمها في الأماكن المخصصة لها وذلك لحماية البيئة من التلوث والحفاظ على الصحة العامة (1)، (2).

تختلف عادة النفايات الصلبة في مكوناتها تبعاً للمجموعة البشرية التي تطرحها، وبصورة عامة تحتوي النفايات البلدية على مواد عضوية ولاعضوية وبنسب متفاوتة، فمثلاً الورق بأنواعه 55%، الزجاج 9%، الحديد 7%، المنيوم 2%، مخلفات حدائق 5%، خشب 4%، بلاستيكات 1%، بقايا مواد غذائية 14%، ومخلفات أخرى لم يعد الإنسان بحاجة لها بنسبة 3%. إن عملية ردم هذه النفايات بالأرض Landfill تحتاج إلى الاستفادة من الأساليب والطرق العلمية المتبعة حالياً في البلدان الصناعية وذلك لتجنب أي تلوث بيئي قد ينجم عن عدم السيطرة الكاملة على ردم هذه النفايات بالأرض وبالصورة التي تضمن تلافي أي تأثيرات صحية سلبية على الإنسان (1)، (2)، (3).

إن ردم النفايات الصلبة يتضمن في الواقع السيطرة على طرح هذه النفايات على أو في الطبقة العلوية من غلاف الأرض في مرادم صحية مناسبة معدة لهذا الغرض.

النتائج والمناقشة

أهم المظاهر لإنجاز مرادم صحية للنفايات الصلبة (1)، (2)، (3)

أولاً: اختيار الموقع الأرضي المناسب

هنالك عدة عوامل يجب أخذها بنظر الاعتبار في حالة اختيار موقع مناسب لردم النفايات الصلبة ومنها:-

أ- توفر مساحة أرضية كافية.

ب- المسافة ما بين جمع ونقل النفايات وموقع الردم والتي تحدد الجزء الأكبر من التكلفة.

ج- طوبوغرافية الأرض وحالة التربة.

د- هيدرولوجية المياه السطحية.

هـ- جيولوجية وهيدرولوجية الموقع.

و- الظروف المناخية.

ز- شروط البيئة المحلية.

ح- الاستفادة القصوى من موقع الردم.

أما الاختيار النهائي لموقع الردم فعادةً ما يبني على أساس النتائج الأولية لمسح الموقع وكذلك على نتائج التصميم الهندسي للموقع هذا إضافة إلى التكلفة الإجمالية والتأثيرات على البيئة المحيطة بالموقع (1)، (2).

ثانياً: طرق وعمليات ردم النفايات بالأرض

لاستعمال منطقة معينة كموقع لردم النفايات وبشكل فعال، فإن خطة عمل لردم النفايات يجب أن تكون مُعدة مسبقاً، وهناك طرق عديدة تم تطويرها على أساس الخبرة في هذا المجال. وأما أهم هذه الطرق فهي المتبعة في استغلال المناطق الجافة من الأرض كمرادم، وقد تضاف إلى هذه الطرق ما يلي:-

1. **طريقة المساحة:** وتتبع هذه الطريقة عندما تكون المنطقة الأرضية غير مناسبة لحفر خنادق أرضية لردم النفايات فيها.

عملية الردم تبدأ عادة ببناء حواجز أرضية قبالة طبقات غير سميكة من النفايات المضغوطة نسبياً، كل طبقة تضغط مع استمرار عملية الردم حتى يصل سمك النفايات إلى ارتفاع يتفاوت بين 2-3 متر، وعند ذلك الوقت وفي نهاية عملية كل يوم ردم تغطي النفايات بطبقة سمكها يتراوح بين 150-200 مليمتر من مادة التغطية (الطين مثلاً) (1)، (2).

إن مادة التغطية يجب أن يتم حملها بواسطة عربات نقل أو معدات متحركة من أرض مجاورة، أو من حفرة في مناطق مستأجرة لهذا الغرض.

كل حمولة نفايات تردم وبضمنها مادة التغطية تسمى خلية (Cell)، حمولات متتابعة توضع الواحدة فوق الأخرى حتى وصول الردم الدرجة الأخيرة من خطة التطوير أو الإنجاز. وتتم بعد ذلك تغطية الردم بطبقة تغطية أخيرة وبعد وصول الردم إلى الارتفاع المصمم له.

2- **طريقة الخندق الأرضي:** وهي طريقة مناسبة في مناطق حيثما تتوفر مادة التغطية عند الموقع ذاته ويكون مستوى الماء أسفل سطح المرادم. لعمل مرادم صغير يتم حفر خندق صغير بالبلدوزر والتربة المستخرجة تخزن كاحتياطي خلف الخندق الأول حيث توضع النفايات الصلبة في الخندق وتنتشر إلى طبقات رقيقة ومضغوطة نسبياً وتستمر العملية حتى وصول الارتفاع المطلوب. أما مادة التغطية فيتم الحصول عليها إما بحفر خندق مجاور أو من الخندق الأصلي ذاته والمستمرة عملية الردم فيه. أما في عمل مرادم كبيرة فتستخدم حفارة وكاشطة واحدة أو أكثر لحفر حفرة عميقة مستطيلة الشكل لردم النفايات فيها (1)، (2)، (3).

3- **طريقة المنخفض الأرضي:** وتتبع عادة في المناطق التي تتواجد فيها المنخفضات الأرضية الطبيعية والاصطناعية، وغالباً ما تستخدم مثل هذه المنخفضات بشكل فعال في عمليات ردم النفايات الصلبة وحتى الوديان الضيقة والأخرى الشديدة الانحدار، الحفر اليابسة ومقالع الحجر كلها استخدمت كمرادم للنفايات الصلبة. إن طريقة وضع وضغط النفايات الصلبة في مثل هذه المرادم المنخفضة تتباين مع هندسية الموقع، خصائص مادة التغطية، مائية وجيولوجية الموقع وسهولة الوصول إليه.

أما موقع الوديان الضيقة، يبدأ الردم عند نهاية رأس الوادي وينتهي في حلق الوادي، وهذه العملية تمنع تراكم الماء خلف المرادم، كما وأن النفايات عادة تترسب على أرضية الوادي الضيق ومن هناك تدفع إلى الأعلى تدريجياً مقابل وجه الوادي وبمعدل 2 - 1، حيث يمكن إنجاز درجة عالية من التضغيط والدمج.

إن ردم النفايات في مناطق رطبة نادراً ما يحدث بسبب المشاكل المرافقة لتلوث المياه الجوفية المجاورة والتي تنشأ عنها الروائح، هذا إضافة إلى الثبات التركيبي للنفايات. أما في حالة الاضطراب إلى استخدام المناطق الرطبة كمرادم (كالمستنقعات، البرك والأهوار) فإن تجهيزات خاصة يجب أن تستعمل لاحتواء أو إزالة حركة السائل المترشح والغازات من كل خلية نفايات، وعادة يتم تصريف أولي للمردم ثم يبطن قاعه ببطانة طينية مانعة للتسرب أو أي مادة مانعة أخرى، وفي حالة استعمال الطين كبطانة مانعة للتسرب فمن الضروري أن تستمر عملية تصريف المردم حتى إكمال الردم بالكامل وذلك لتجنب أي ضغط نحو الأعلى مما قد يسبب انتفاخ البطانة الطينية ثم انفجارها (1)، (2)، (3).

ثالثاً: انبعاث الغازات وظهور السائل المترشح في المرادم

عند طرح النفايات الصلبة في المرادم الصحية المخصصة لها تحدث التغيرات البيولوجية والفيزيائية والكيميائية التالية:

- 1- تحلل بايولوجي للمواد العضوية إما بوجود غاز الأوكسجين بطريقة التحلل الهوائي (Aerobically)، أو بعدم وجود غاز الأوكسجين بطريقة التحلل اللاهوائي (Anaerobically)، وكلا الطريقتين تنتج عنهما غازات وسوائل.
- 2- التأكسد الكيميائي لمواد النفايات.
- 3- تحرر وتسرب غازات من المرادم.
- 4- تحرك السوائل بسبب التباين السطحي.
- 5- ذوبان وترشح المواد العضوية واللاعضوية بواسطة الماء وتحرك السائل المترشح Leachate خلال نفايات المردم.
- 6- تحرك المواد المذابة بسبب التفاوت في التراكيز والتنافذية.
- 7- استقرار غير متوازن بسبب اندماج مواد النفايات بشكل يؤدي إلى تكوين فجوات فيما بينها.

في إشارة إلى الفقرة الأولى فإن التحلل البكتيري يحدث في البداية بطريقة التحلل الهوائي لأن كمية معينة من الهواء انحصرت خلال النفايات أثناء عملية الردم. وهذه الكمية المحددة سوف تستهلك خلال عدة أيام ثم تبدأ بعدها عملية التحلل اللاهوائي وعلى المدى الطويل تستمر هذه العملية حيث تتخمر المواد العضوية محررة غازي ثاني أوكسيد الكربون والميثان (1)، (2)، (3).

أ- الغازات المنبعثة من مرادم النفايات:

وتشمل هذه الغازات: الامونيا، ثاني أوكسيد الكربون، الهيدروجين، كبريتيد الهيدروجين، الميثان، وغاز النيتروجين.

يعتبر غازا الميثان وثاني أوكسيد الكربون الغازين الرئيسيين الناتجين من عملية التحلل اللاهوائي للمواد العضوية للنفايات، ويعتقد أن التحلل اللاهوائي للمواد العضوية يحدث على ثلاث مراحل وهي:

المرحلة الأولى: التوسط الأنزيمي لتحويل مركبات ذات وزن جزيئي كبير إلى مركبات مناسبة للاستعمال كمصدر للطاقة.

المرحلة الثانية: التحلل البكتيري للمركبات الناتجة من المرحلة الأولى إلى مركبات وسيطة مميزة ذات وزن جزيئي صغير.

المرحلة الثالثة: التحلل البكتيري للمركبات الوسيطة إلى نواتج نهائية بسيطة مثل غازي ثاني أوكسيد الكربون والميثان (5).

إن سرعة تحلل النفايات العضوية في مرادم مهجور يتم قياسها بالنسبة لكمية الغاز الناتج والتي تكون أكبر ما يمكن خلال السنتين الأوليين ثم تبدأ بالتناقص تدريجياً وبتبطء، وتستمر في حالات عديدة لفترات طويلة تصل إلى 30 سنة أو أكثر.

ب- السائل المترشح من مرادم النفايات

وهو سائل يترشح من خلال النفايات الصلبة ويستخلص المواد الذائبة والعالقة فيها، وفي أغلب المرادم فإن هذا السائل يحتوي على ما تحلل من الفضلات والسوائل التي دخلت المردم من مصادر أخرى مثل مياه الصرف الصحي، مياه المطر، مياه الينابيع والمياه الجوفية.

رابعاً: السيطرة على حركة غازات وسوائل المرادم

أ- حركة غازات المرادم:

في الظروف الاعتيادية فإن الغازات المنبعثة من المردم يجب إما أن تُترك إلى الجو أو في المرادم الكبيرة تجمع لغرض إنتاج الطاقة، وفي أغلب الحالات أكثر من 90 بالمائة من حجم الغاز الناتج من تحلل النفايات يتألف من غازي الميثان وثاني أوكسيد الكربون. وعلى الرغم من أن أغلب غاز الميثان يُترك إلى الجو، فإن غازي الميثان وثاني أوكسيد الكربون وجدا بتراكيز قد تصل إلى 40 بالمائة من مسافات جانبية تصل إلى 120 متراً من حافة المردم.

إن عملية تصريف (ترك) الغاز إلى الجو بدون سيطرة تؤدي أحياناً إلى تراكم غاز الميثان عند أدنى البنايات وفي الأماكن المغلقة علماً بأن وزنه النوعي أقل منه للهواء (كثافة غاز الميثان 0.714 والهواء 1.293 غرام/لتر في درجة الصفر المئوي

وضغط جوي واحد)، وكذلك بالقرب من الصرف الصحي للمردم. أما بالتهوية المناسبة فإن غاز الميثان سوف لا يشكل أية خطورة محتملة (5)، (6).

غاز ثاني أكسيد الكربون أكثر كثافة من الهواء بـ 1.5 مرة ومن غاز الميثان بـ 2.8 مرة، لذا فإنه يميل للتحرك نحو المناطق السفلية من المرادم، وكنتيجة لذلك فإن تركيزه في الأجزاء السفلية من المرادم ربما تكون كبيرة لسنوات. وبسبب كثافته فإنه أيضاً يتحرك باتجاه الأعماق حتى يصل المياه الجوفية. ولأنه سريع الذوبان في الماء فهو عادة يقلل من قيمة الحمضية (pH) للماء والتي بدورها تزيد العسرة والمعادن في المياه الجوفية بسبب إذابة كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم.

ب- السيطرة على حركة الغازات في المرادم:

يمكن السيطرة على حركة الغازات بطريقتين:

الطريقة الأولى

السيطرة على حركة الغاز بعمل فتحات للتصريف وإقامة الحواجز:

إن الحركة الجانبية للغازات الناتجة في مرادم معين تتم السيطرة عليها بعمل فتحات للتصريف مصنوعة من مواد أكثر نفاذية من التربة المحيطة بالمرادم، وعادة تكون فتحات التصريف متشكلة من الحصى، كما أن فضاء فتحات التصريف الخاصة بكل خلية يعتمد على عرض خلايا النفايات والتي يتفاوت فيها العرض من 18 إلى 60 متراً، أما بالنسبة لسمك طبقة الحصى فيجب أن يكون متماثلاً وبشكل مستمر ولو كان هنالك تفاوت في الاستقرار، وعادة السمك يتراوح من 0.3 – 0.4 متر وهو ما يُنصح به دائماً (7)، (8)، (9).

إن الحواجز وكذلك فتحات التصريف الوعائية يمكن أيضاً استعمالها للسيطرة على الحركة الجانبية للغازات، وغالباً ما تستعمل فتحات التصريف الوعائية مع فتحات التصريف للسطح الجانبي بدرجة أقل في نفق حصوي.

أما بالنسبة للحركة السفلية للغازات فتتم السيطرة عليها بإقامة أنابيب مثقبة ومثبتة في طبقة حصوية في قاع المرادم، وفي حالة تعذر تصريف الغاز جانبياً فإنه من الضروري إقامة أوعية تصريف غازية ومن خلالها يضخ الغاز إلى الجو.

حركة الغازات خلال مكونات التربة المجاورة يمكن السيطرة عليها ببناء حواجز من مادة أكثر كثافة من التربة علماً بأنه توجد بعض المواد الكتيمة (المانعة للتسرب) المستعملة في المرادم ومتوفرة أيضاً، ومن هذه المواد الطين المضغوط وهو الشائع استعماله، ويكون سُمك الطبقة الكتيمة مختلفاً ويعتمد على نوع الطين ودرجة السيطرة المطلوبة، وعادة يتراوح السُمك بين (0.15 – 1.25) متر (8)، (9).

الطريقة الثانية

السيطرة على حركة الغازات بالاستخلاص للاستفادة منها:

وتتم نصب أوعية لجمع الغاز (استخلاصه) من مرادم كامل حيث يستعمل الطين وبطانات أخرى في حالة جمع الغاز أو استخلاصه وفي بعض أنظمة تجميع أو استخلاص الغاز يعاد السائل المترشح إلى أعلى المرادم حيث يحقن خلال خطوط من الأنابيب المثقبة والموضوعة في قنوات التصريف، وعادة ماتكون نسبة الغاز الناتج أكبر في حالة إعادة السائل المترشح أو حتى إضافة كمية من الماء (انظر شكل 1-).

إن عملية تجميع أو استخلاص الغاز متبعة في المرادم الكبيرة فقط نظراً لأن كمية الغاز المستخلصة منها ذات قيمة اقتصادية (مقارنة بالمرادم الصغيرة) حيث يشكل غاز الميثان نسبة 60%.

ج- حركة السائل المترشح في المرادم:

في الحالات الاعتيادية يتواجد السائل في قاع المرادم ومن هناك فإن حركته تكون خلال الطبقة التحتية بالرغم من أن بعض الحركة الجانبية له قد تحصل أحياناً، ولكنها تعتمد على خصائص المادة المحيطة به.

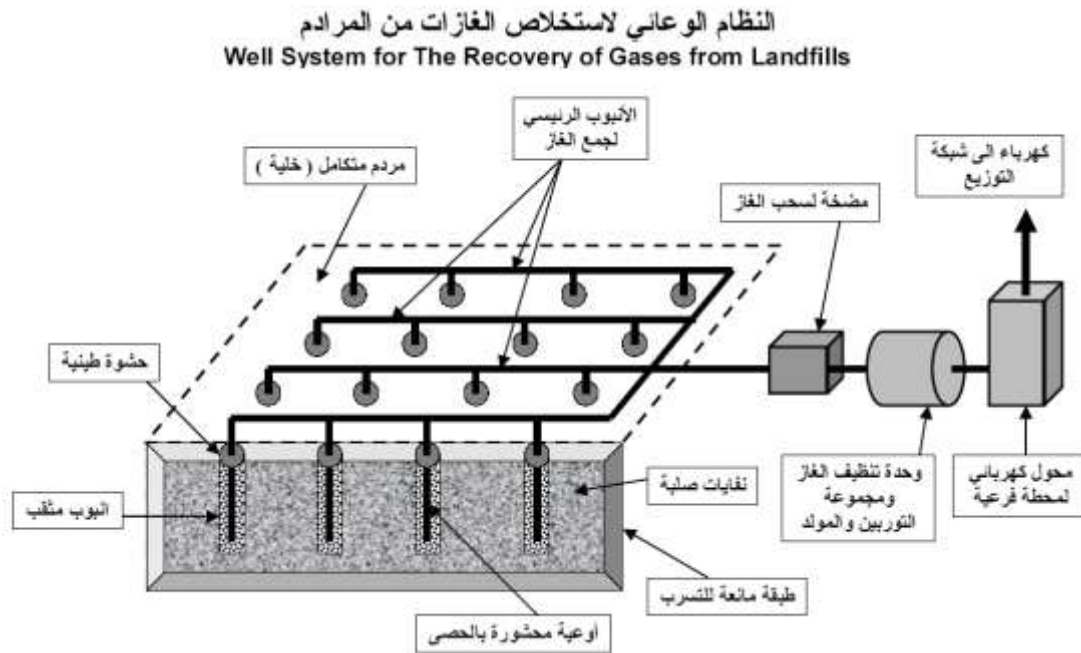
إن سرعة نز السائل المترشح من قاع المرادم يمكن تقديرها بواسطة قانون خاص يُسمى قانون دارسي (Darcy's Law)، على فرض أن المادة أسفل المرادم إلى أعلى المنصة المائية مشبعة، وأن طبقة صغيرة من السائل المترشح تتواجد في قاع نفايات المرادم تحت هذه الظروف تكون سرعة تفريغ السائل المترشح في وحدة المساحة تساوي قيمة معامل النفاذية (K) معبراً عنها بالأمتار في اليوم الواحد (7)، (8)، (9).

إن القيمة الحقيقية لسرعة التفريغ تمثل الكمية القصوى للنز والمتوقعة، وهذه القيمة يجب أن تستعمل فقط لأغراض تصميم المرادم، أما في الحالات العملية فإن السرعة الحقيقية ستكون أقل من هذه القيمة لأن عمود التربة أسفل المرادم لا يكون مشبعاً فعلاً.

د- السيطرة على حركة السائل المترشح في المرادم:

إن نفاذ السائل المترشح خلال الطبقة التحتية يؤدي إلى إزالة عدة مكونات منه وبالتحديد المكونات الكيميائية والبايولوجية ومن محتواه الأصلي حيث تزال بعملية الترشيح والالتصاق السطحي على مادة الطبقة التحتية للمردم، وبشكل عام مدى حدوث هذه العملية يعتمد على خصائص التربة وخاصة المحتوى الطيني لها، وبسبب المخاطر الناجمة عن ترك السائل لكي يترشح إلى المياه الجوفية فإن أفضل إجراء عملي هو إزالته أو منعه من تلويث المياه الجوفية.

إن استعمال الطين كبطانة كانت الطريقة المفضلة في تقليل أو منع نفوذ السائل المترشح، مقارنة بالبطانات الغشائية المستعملة أيضاً والأكبر تكلفة وتحتاج إلى عناية خاصة لمنع تلفها خلال عمليات الردم. هنالك أيضاً أهمية متكافئة لما تم ذكره آنفاً، وتتضمن في السيطرة على السائل المترشح ومنعه من الاختلاط بالمياه السطحية أثناء ترشحه وتعتبر عملية الاختلاط هذه المساهم الرئيسي في زيادة الحجم الكلي للسائل المترشح ولكن مع استعمال طبقة الطين غير النفاذة وميل سطحي مناسب (1-2%) وتصريف فعال فإن اختلاط السائل المترشح بالمياه السطحية يمكن السيطرة عليه إلى حد كبير (8)(9).



شكل - 1 : النظام الوعائي لاستخلاص الغازات من المرادم.

الاستنتاجات

- 1- يتضح مما سبق ذكره ان النفايات البلدية يجب أن يتم ردمها وفق أسس علمية مدروسة وبدقة تستند على طرق تتبنى تحقيق التنمية المستدامة اضافة الى حماية البيئة والصحة العامة. وهنا لا بد من الاشارة الى مايبضمن إنجاز ذلك كما يلي:-
- 2- إن ردم النفايات يراعى فيه تطبيق كل ما من شأنه عدم المساس بالبيئة المحلية.
- 3- مراعاة الشروط الصحية للمناطق المأهولة بالسكان والمجاورة لموقع الردم.
- 4- عدم إحداث أي تغيير بالاثار القريبة من موقع الردم.
- 5- عدم إثارة أي إزعاج من شأنه يربك الحياة البرية المحيطة بموقع الردم.
- 6- إن طريقة الردم العلمي أخذت بنظر الاعتبار إبعاد خطر التلوث عن المياه السطحية والجوفية.
- 7- إن مسار مركبات نقل النفايات لا يثير اي ضجيج للمناطق السكنية المتواجدة على مسافة قريبة من موقع الردم.
- 8- عدم انتشار الحشرات والقوارض من موقع الردم الى المناطق المحيطة به وخاصة السكنية القريبة.
- 9- الحفاظ على المنظر الطبيعي والمظاهر التراثية مع ضمان استمرار تدفق السائحين للمنطقة الاثرية القريبة.
- 10- وضع العوازل الصوتية حول موقع الردم لمنع انتشار الضجيج.
- 11- الطريقة العلمية تراعى الحد من انتشار الروائح غير المرغوب فيها والتي تسبب الازعاج للسكان.
- 12- إن الطريقة الأنفة الذكر هي بشكل عام تخطيط دقيق ومتكامل لأنها تأخذ بنظر الاعتبار كافة الشروط البيئية والصحية اضافة الى تحقيق التنمية المستدامة.

المصادر:

1. M.D. Brown, T.D. Vence and T.C. Reilly: “*Solid Waste Transfer Fundamentals*”, Ann Arbor Science, Ann Arbor, Mich., 1981.
2. Municipal Refuse Disposal, 3rd ed., Public Administration Services, Chicago, 1970.
3. Emcon Associates: “*Methane Generation and Recovery from Landfills*”, Ann Arbor Science, Ann Arbor, Mich., 1980.
4. G. Noble, “*Sanitary Landfill Design Handbook*”, Technomic, Westport, Conn., 1976.
5. Tchobanoglous, G., H. Theisen and R. Eliassen: “*Solid Wastes: Engineering Principles and Management Issues*”, McGraw-Hill, New York, 1977.
6. A. Porteous, “*Dictionary of Environmental Science and Technology*”, 3rd ed., Chichester and New York, John Wiley and Sons, 2003.
7. James R. Mihelcic, Julie B. Zimmerman, “*Environmental Engineering: Fundamentals, Sustainability, Design*”, John wiley & sons, 2009.
8. Jan den Boer, “*Waste Management Planning and Optimization, Handbook for Municipal Waste Prognosis and Sustainability Assessment of Waste Management systems*”, ibidem-Verlag, Jessica Haunschild u Christian Schon, 2005.
9. Atkeyelsh Persson, “*Best Practices of Municipal Solid Waste Management: The Role of Households and Municipalities in Solid Waste Management: The Case of Sweden*”, LAP Lambert Academic Publishing, 2009.