اختيار التقنية المثلى لإدارة المخلفات الصلبة بمدينة مصراتة

د. إبراهيم أحمد بادي
كلية الهندسة، مصراتة
قسم الهندسة الميكانيكية
ibrahim.badi@hotmail.com

د. علي قاسم شتوان
كلية التقنية الصناعية، مصراتة
قسم الهندسة الصناعية
ashetwan@yahoo.com.au

أ. عبدالله إبراهيم العجيل
كلية الهندسة، مصراتة
قسم هندسة النفط
aelajeil@gmail.com

الملخص— **تمثل النفايات الصلبة عبئا ثقيلا على العديد من المجتمعات من النواحي الصحية والبيئية والاقتصادية وذلك نتيجة الأساليب البدائية التي لا تزال سائدة حاليا في التعامل مع هذه النفايات في هذه المجتمعات. في المقابل فقد طورت العديد من الدول المتقدمة طرقا حديثة لمعالجة هذه النفايات التي يمكن بواسطتها تحويلها من مصدر للتلوث إلى سلعة اقتصادية. ولا تزال ليبيا تعاني من عمليات إدارة النفايات الصلبة من حيث التجميع أو النقل أو المعالجة، كما أن الدراسات والبحوث التي قامت في هذا المجال لا تزال قليلة مما يجعل البيانات الخاصة بهذا الموضوع ضعيفة نسبياً. تتناول هذه الورقة مدخلا في مجال معالجة النفايات الصلبة من حيث طبيعة هذه النفايات وطرق إداراتها، كما تتطرق إلى المشاكل البيئية المرتبطة بموضوع النفايات الصلبة، وطرق المعالجة المختلفة، وتستعرض أيضا بعض التجارب في هذا الموضوع. وتقدم الورقة مقترحا لاختيار الطريقة المناسبة لمعالجة النفايات لمدينة مصراتة، حيث تستعرض المعايير الرئيسية الخاصة باتخاذ مثل هذا القرار. ولغرض اختيار الطريقة المثلى لإدارة المخلفات الصلبة فقد تم استخدام طريقة الوزن المتأرجح من خلال نموذج تم إعداده باستخدام برنامج اكسل. خلصت الدراسة إلى أن المعايير البيئية هي الأهم عند اتخاذ القرار، يليها المعايير التقنية. على مستوى التقنية المقترحة فإن الدراسة أظهرت أن تقنية الهضم اللاهوائي هي الأنسب.**

الكلمات المفتاحية: **اختيار، نفايات، مثلى، تقنية، معايير.**

1. المقدمة

يمكن تعريف النفايات الصلبة بأنها مجموع ما يرمى من المنازل والمؤسسات كنفايات يومية من مخلفات الأطعمة والأكياس والعلب وأدوات التنظيف والقناني والورق والثياب القديمة والأدوات المنزلية وغيرها. ولا تتضمن هذه النفايات المخلفات الاستشفائية والصحية والصناعية والكيميائية الخطرة والتي ينبغي التخلص منها بشكل علمي وسليم كل بحسب خصائصه.

تتكون النفايات المنزلية والبلدية من مواد عضوية كمخلفات الأطعمة ومخلفات غير عضوية كالأجسام الزجاجية والمعدنية. وتفيد الاستراتيجية العربية الاقليمية للاستهلاك والإنتاج المستدام أن حوالي 50 إلى 60 في المائة من النفايات البلدية الصلبة هي عضوية، وحوالي 10 في المائة ورق، و7 في المائة بلاستك و4 في المائة زجاج، و4 في المائة منسوجات [1]. تتغير كمية النفايات وتركيبها من بلد إلى آخر ومن منطقة إلى أخرى داخل البلد نفسه، بحسب مستوى المعيشة والظروف الاجتماعية والاقتصادية والمستوى الحضري. فقد أورد تقرير توقعات البيئة للمنطقة العربية الذي أعده برنامج الأمم المتحدة للبيئة أن الفرد العربي ينتج ما بين 0.5 كلغ إلى 1.75 كلغ من النفايات في اليوم الواحد. وما يميز المخلفات الصلبة البلدية عامة ارتفاع نسبة الرطوبة (حوالي 30 إلى 40 في المائة) مما يخلف القيمة الحرارية الناتجة عن الحرق. كما أن القيمة الحرارية تتغير مع الظروف الاقتصادية والاجتماعية وهي ما بين 750 كيلو كالوري و5000 كيلو كالوري للكيلو غرام الواحد من النفايات [1].

استلمت الورقة بالكامل في 28 اغسطس 2017 وروجعت في 17 سبتمبر 2017 وقبلت للنشر في18 سبتمبر 2017

ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 3 اكتوبر 2017

في بعض بلدان منطقة الاسكوا قد تصل نسبة ما يترك من النفايات المتولدة دون تجميع ما يقارب 50 في المائة، خاصة في المناطق النائية والريفية. وتشكل هذه النفايات خطراً بيئيا لأنها تؤدي إلى إنتاج غاز الميثان وهو أحد الغازات الدفيئة، وإلى انتشاره في الهواء عند تحلل المواد العضوية. كما تمارس في بعض بلدان المنطقة طرق بدائية للتخلص من هذه النفايات عبر حرقها في الهواء الطلق أو رميها في البحر وفي المجاري المائية [1].

تختلف عملية إدارة النفايات حاليا بين مكان وآخر، فمنها ما يعتمد على أساليب قديمة ومضرة بالبيئة، ومنها ما يلجأ إلى أساليب وتقنيات حديثة تخفف من التلوث. تتطلب إدارة النفايات الصلبة فرزا تمهيديا لإعادة تدوير بعضها أو إنتاج الأسمدة، ويتم تجميع ما يبقى منها في مساحات مفتوحة أو في مطامر صحية أو يعمد إلى حرقه [1]. يمثل تجميع النفايات في مساحات مفتوحة خطراً بيئيا يتمثل في انتشار الروائح والحشرات والميكروبات المضرة في المناطق المجاورة. أما الطمر الصحي الذي يقضي بتغليف النفايات وتجميعها في مواضع عُولجت بوضع عوازل لمنع تسرب الملوثات السائلة إلى المياه الجوفية فيعتبر أقل تلوثا من المكبات المفتوحة. تخفف معالجة النفايات والمخلفات من تلوث البيئة وانبعاث الغازات الدفينة، ولها فوائد كثيرة منها ما يلي [1]:

- تخفيف استعمال الموارد الطبيعية عبر إعادة استعمال وتدوير بعض النفايات كالورق والكرتون والبلاستيك والزجاج والمعادن وغيرها.
- تقليص الحاجة إلى مساحات أوسع للمكبات أو لأماكن التجميع.
- تقليص تكاثر الحشرات والميكروبات المؤذية التي تتواجد وتتكاثر مع النفايات.
- تخفيض معدلات التلوث البيئي وانتشار غازات الدفيئة من ثاني أكسيد الكربون وغاز الميثان.
- تخفيض تلوث الهواء والروائح الكريهة حول المكبات وأماكن التجميع.
- التخفيف من حدة تغير المناخ عبر استخدام النفايات في إنتاج الطاقة.

2. الدراسات السابقة

توجد دراسات قليلة حول موضوع إدارة المخلفات الصلبة في ليبيا، حيث قام رمضان محمد رمضان بإجراء دراسة لتقدير كمية المخلفات المنزلية وتحليل مكوناتها، وإجراء دراسة جدوى هندسية للتخلص من هذه المخلفات الصلبة. نتج عن هذه الدراسة أن معدل إنتاج الفرد من المخلفات المنزلية في مدينة غدامس يبلغ حوالي 0.5 كجم يوميا، بينما يبلغ الإنتاج الإجمالي للمدينة بالكامل تقريبا 2,000 طن سنويا، علما بأن نسبة المواد العضوية تصل إلى 62% [2]. وفي مدينة بنغازي أجرى محمد لامة دراسة على أنواع ومكونات المخلفات الصلبة وأهمها المخلفات الأهلية ومصادرها. تناولت الدراسة عملية إدارة المخلفات الصلبة في المدينة وطرق التعامل معها في الموقع وطرق التخزين والفرز والتجميع وطرق التمويل والنقل وصولا إلى إعادة التدوير. توصلت الدراسة إلى أن إنتاج الفرد في مدينة بنغازي يصل إلى 0.5 كجم يوميا تقريبا، بما يعادل 182 كجم تقريبا سنويا. كما أشارت الدراسة إلى أن الغالبية العظمى من هذه المخلفات يتمثل في المواد العضوية، حيث تصل نسبتها إلى 80% من إجمالي المخلفات الصلبة، كما أشارت إلى أن المدينة

تنتج ما يقارب 500 طن يومياً [3]. أما في دراسة الجالي فتم تحليل العوامل التي تؤدي إلى تراكم النفايات الصلبة المنزلية في مدينة الجغبوب وتقييم دور كل من المواطن والجهات المسؤولة عن التعامل مع هذه النفايات وكيفية التخلص منها في المدينة، بالإضافة إلى معرفة أهم الطرق المستخدمة للتخلص منها. جُمعت بيانات الدراسة عن طريق استبيان ووزع على عينة من سكان المدينة بالطريقة العشوائية، وكذلك إجراء مقابلات شخصية مع بعض المسؤولين في شركة النظافة العامة. ثم أستخدام برنامج SPSS لتحليل البيانات. أظهرت النتائج أن نقص المعدات والآليات الخاصة بجمع النفايات وقلة الوعي البيئي لدى المواطن وعدم استخدام وسائل جيدة لجمع النفايات المنزلية من أهم أسباب تكدس النفايات في المدينة، أما طريقة التخلص من النفايات فيتم عن طريق جمعها وحرقها في مكب مفتوح وهي تعتبر طريقة تقليدية وغير آمنة بيئياً [4]. كما قامت أسماء البيرة بإجراء دراسة ميدانية قَيمت فيها وضع النفايات المنزلية في مدينة مصراتة. توصلت الباحثة إلى أن نسبة المواد العضوية في النفايات تبلغ 37.2% من إجمالي العينة، وأوضحت الدراسة خصائص النفايات المنزلية ومدى تأثير المستوى الاقتصادي على كمية ونوعية الفضلات. خلصت الدراسة إلى أن إنتاج الفرد الواحد من النفايات الصلبة المنزلية يبلغ 1.6 كجم [5]. كما قامت الباحثة حميدة سالم بدراسة التلوث بالنفايات المنزلية الصلبة وآثارها البيئية في مدينة طرابلس. كذلك تطرقت الدراسة إلى مصنع طرابلس للسماد العضوي، وتوصلت إلى أن إنتاج مدينة طرابلس من النفايات في سنة 2006 بلغ 1275 طن يوميا [6].

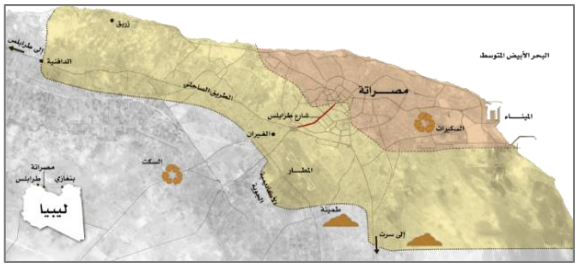
من خلال استعراض الدراسات السابقة يلاحظ أن معظم الدراسات تناولت مشكلة النفايات من حيث أنواعها وحساب نسبها وطرق التعامل معها وكيفية التخلص منها. الدراسة الحالية تتناول جانب آخر في إدارة النفايات وهو اختيار التقنية المثلى لإدارة المخلفات الصلبة بمدينة مصراتة.

3. الوضع الحالي لمدينة مصراتة

تقع مدينة مصراتة في شمال غرب ليبيا، عند الأطراف الشمالية الغربية لخليج سرت، وإلى الشرق من مدينة طرابلس بحوالي 210 كم، يحدها البحر المتوسط من جهتي الشمال والشرق وطول سواحلها البحرية حوالي 130 كم، ويحد منطقة مصراتة من الغرب منطقة زليتن، ومن الجنوب منطقة بني وليد ومن الشرق والجنوب الشرقي منطقة سرت، وتقع منطقة مصراتة بين دائرتي عرض 33^{o} :31^{o} و32^{o} :23^{o} شمالا، وبين خطي طول 36^{o} :14^{o}و22^{o} :15^{o} وتبلغ مساحتها حوالي 3637 كيلومتر مربع. يبلغ إنتاج النفايات والمخلفات الصلبة في مدينة مصراتة حوالي 450 طنا يوميا حيث ينقل ما يقارب من 60 طنا يوميا إلى مصنع السماد العضوي في المدينة. أما باقي المخلفات الصلبة فتنقل إلى نقطة التجميع التي تقع في منطقة الغيران ومنه إلى المكب النهائي [7].

تعتبر طريقة الردم أحد الطرق المتبعة في التخلص من النفايات إلا أن هذه الطريقة لها بعدين، إما أن يكون ردماً في مطمر صحي أو ردم غير صحي، والأخيرة هي الطريقة المتبعة في مدينة مصراتة، حيث يتم تجميع القمامة ونقلها وتفريغها في المردم، وبعد ذلك تتم عملية تسوية هذه النفايات من آن لآخر وتغطيتها بالتراب. من الملاحظ أن منطقة الدفن تعتبر من الأراضي غير الصالحة للزراعة وأنها تبعد عن وسط المدينة بحوالي 40 كم تقريبا. فبعد تجميع النفايات في نقطة التجميع بمنطقة السكت يتم نقلها عن طريق شاحنات كبيرة إلى منطقة الردم وطمرها طمراً غير صحي بدون فرز وفي مساحات مفتوحة، مما ينتج عنها خروج مواد متطايرة وروائح تؤدي إلى تلوث الهواء الخارجي. يوضح الشكل (1) خريطة لمدينة مصراتة موضحة عليها مناطق التجميع والردم الحالية [7].

يبلغ عدد سكان المدينة حوالي 343,502 نسمة، مع ملاحظة أن منطقتي الغيران وقصر أحمد تمثلان حوالي 35% من مساحة المدينة. يوضح الجدول (1) عدد السكان لكل منطقة من مناطق المدينة [5].

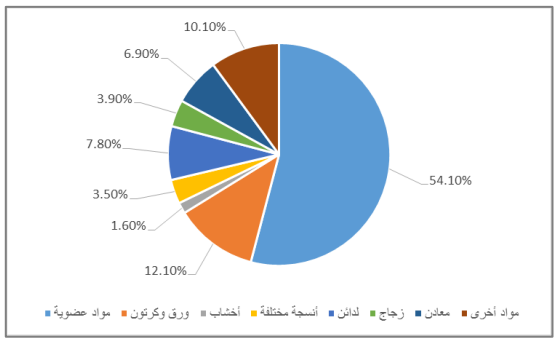


شكل 1.خريطة توضح مناطق التجميع والردم الحالية بالمدينة

وبالتالي يمكن حساب الإنتاج اليومي من النفايات والذي يقدر تقريبا بكمية 450 طن يومياً (باعتماد النسب الواردة في دراسة ابتسام البيرة والتي قدرت أن معدل إنتاج الفرد من النفايات يبلغ في المتوسط 1.5 كجم/ اليوم). في الدراسة الحالية سيتم اعتماد النسب المئوية للأصناف التي تحتويها المخلفات المنزلية والتي توصلت إليها دراسة أسماء البيرة [5]، وذلك وفق الشكل (2).

جدول 1. عدد السكان بمناطق مدينة مصراتة

ت	المنطقة	عدد السكان
1	طمينة	24,148
2	الدافنية	16,370
3	قصر أحمد	19,208
4	الزروق	32,288
5	الغيران	32,924
6	9 يوليو	41,179
7	رأس الطوبة	29,500
8	زاوية المحجوب	30,027
9	ذات الرمال	37,531
10	الشواهدة	52,326
	الإجمالي	**343,502**



شكل 2. النسب المئوية للأصناف الموجودة في المخلفات البلدية الصلبة

تمثل الأعمال اللوجستية عنصراً أساسيا في عملية إدارة المخلفات، وذلك لما تتطلبه من وقت، وكذلك لاستحواذها على جزء أساسي من التكلفة، حيث تصل تكلفة الأعمال اللوجستية إلى 40% من إجمالي تكلفة توليد الطاقة في بعض البلدان. بالرغم من أن تكلفة الوقود في ليبيا منخفضة إلا أنها تتميز بالمساحات الشاسعة مما يستلزم قطع مسافات كبيرة لغرض نقل المخلفات. مكان الردم الحالي يبعد عن وسط المدينة بمسافة تقرب من 40 كيلومتر، ويتم الردم بشكل غير صحي، حيث يتم فقط تجميع القمامة وتركها تتكدس. حاليا يوجد نقطتي تجميع، الأولى بمنطقة السكت والثانية بمنطقة السكيرات. يتم تجميع القمامة من المنازل والمحلات والمستشفيات وغيرها من النقاط ونقلها إلى هاتين النقطتين ومن ثمّ استخدام سيارات سعتها أكبر تقريبا 35 $م^3$، (حوالي 10 طن) لنقلها إلى المردم النهائي. يوجد أيضا مصنع للسماد العضوي قدرته الإنتاجية 80 طن/ يوم يقوم بالاستفادة من

جزء من هذه المخلفات بتحويلها إلى سماد، علماً بأن عملية فصل المخلفات تتم يدوياً في هذا المصنع، حيث يعمل بهذا المصنع 15 عاملا لغرض فصل المخلفات.

حاليا تقوم بخدمة نقل المخلفات حوالي 148سيارة بمختلف الأحجام، ويوجد نوعين من الصناديق، الأول بحجم 1.1 متر مكعب، والثاني بحجم 7متر مكعب، كما أن سعات الشاحنات الناقلة في تزايد مستمر وهي كالتالي [7]:

- 5 متر مكعب ضاغطة لتجميع ونقل القمامة من الأحياء السكنية إلى محطات التجميع المرحلية.
- 7-9 متر مكعب و19 متر مكعب ضاغطة لتجميع ونقل القمامة من الشوارع وميادين المدينة إلى محطة التجميع المرحلية أو إلى موقع التخلص النهائي.
- 35-50 متر مكعب ضاغطة لنقل القمامة من محطات التجميع المرحلية إلى موقع التخلص النهائي.

إن الكثير من الدول التي تستغل النفايات في توليد الطاقة تنتهج أسلوب فصل المخلفات عند المصدر، وهو ما يتطلب درجة عالية من وعي وتعاون المواطنين، إلا أن هذا النهج في إدارة المخلفات غير متبع حاليا في ليبيا.

يوجد ثلاثة مكبات مرحلية في مدينة مصراتة لتجميع القمامة ليتم نقلها إلى المكب النهائي وهي كما يلي:

أ) المكب المرحلي رقم (1)

يقع بالقرب من جزيرة المنقوش على دائرة عرض $32^{o}:23^{o}$ شمال، وخط طول $15^{o}:5^{o}$شرق. ويقوم باستقبال القمامة ومخلفات البناء والأثاث التي تأتي من المنازل، وتقوم السيارات بعملية النقل مرتين يوميا على الأقل إلى المكب النهائي، كما أن الشركة تقوم برش المبيدات على الموقع لضمان عدم تناقل الآفات من المكب. من عيوب هذا المكب أنه بالقرب من وسط المدينة، وكذلك بالقرب من سوق الخضار وعدم وجود سياج للحد من انتشار النفايات وهو في تزايد مستمر، وقد تم قفل هذا المكب مؤخرا في بداية سنة 2015، والشكل (3) يبين هذا المكب [7].

شكل 3. مكب مرحلي (1)

ب) المكب المرحلي رقم (2)

يقع هذا المكب خلف مقر شركة داوو على دائرة عرض $32^{o}:20^{o}$ شرقا، وخط طول $15^{o}:7^{o}$ شرقا، ويبعد عن وسط المدينة حوالي 7 كيلو متر، وهو قطعة أرض مسيجة تم استئجارها من قبل الشركة العامة للنظافة ليتم تجميع القمامة فيها وتبلغ مساحتها حوالي 2 كيلومتر مربع، وهذا الموقع لا يقل أهمية عن الموقع الأول، والشكل (4) يبين هذا المكب [7].

شكل 4. المكب المرحلي رقم (2)

ج) المكب المرحلي رقم (3)

يقع هذا المكب في منطقة الغيران على دائرة عرض $32^{o}:19^{o}$ شمالا، وخط طول $15^{o}:0^{o}$ شرقا، ويبعد عن وسط المدينة حوالي 8 كيلو متر، ويتم فيه تجميع القمامة تمهيدا لنقلها إلى المكب النهائي، ولا تتوفر فيه شروط السلامة إلا انه مسيج فقط، والشكل (5) يبين هذا المكب [7].

شكل 5. المكب المرحلي رقم (3)

يعتمد إنشاء محطات التجميع المرحلية على عدة عوامل أهمها ما يلي:

– المسافة من موقع التجميع إلى موقع التخلص النهائي.

– الزمن اللازم لوصول الشاحنة إلى موقع التخلص النهائي.

- *المكب النهائي*

يقع المكب النهائي في شرق مدينة مصراتة ويبعد عن وسط المدينة بحوالي 40 كيلو متراً، ويعد مكبا نهائيا غير صحي، وتبلغ مساحته حوالي 100هكتار، ويعمل بطريقة بدائية جداً. تجمع القمامة وتنقل من قبل المواطنين وسيارات الشركة، ويتم تسوية المخلفات بواسطة البلدوزر ثم بعد ذلك تأتي مخلفات البناء وتسوى أيضا، ثم تأتي سيارات الحماة والمياه الناتجة عن مخلفات العمليات الصناعية. تتكرر هذه العملية بشكل يومي، ويصل الارتفاع في بعض المناطق إلى حوالي 7 متر، ويتم إلقاء المخلفات دون فرز، حيث تمتص الأرض السوائل المختلفة من هذه المخلفات [7]. ويوضح جدول (2) كمية القمامة الداخلة إلى المكب النهائي خلال الفترة 2009-2013.

جدول 2. كمية القمامة الداخلة إلى المكب النهائي [7]

السنة	الكمية بالطن
2009	21682
2010	غير متوفر
2012	19003
2013	26454

ينبغي الإشارة إلى النقاط المهمة التالية التي تم ملاحظتها في عملية إدارة المخلفات بالمدينة:

– يتم التخلص من النفايات بشكل عشوائي دون الاهتمام بالبعد البيئي وعدم إتباع الطريقة الصحيحة في الدفن الصحي.

– عدم ردم النفايات يؤدي إلى انتشار الروائح الكريهة واشتعال الحرائق وانبعاث الدخان في الهواء الجوي بالمناطق المحيطة بالمكب.
– عدم اتباع الطرق العلمية الحديثة في إدارة النفايات حيث لا يتم فصل النفايات الصناعية أو النفايات الخطرة عن النفايات المنزلية لهذا فإن المخاطر الصحية تكون كبيرة ويصعب معالجتها.

- *مصنع السماد العضوي*

تم البدء في بناء هذا المصنع سنة 1984 بمنطقة السكت، ويبعد عن وسط المدينة حوالي 8 كيلو متراً إلى الجنوب منها، وبدأ المصنع في العمل سنه 1986 بسعة تصميمية تصل إلى 120طن يوميا، أي ما يعادل إنتاج مدينة مصراتة من النفايات في ذلك الوقت، أما في الوقت الحاضر فإنه ونظراً لقدم هذا المصنع وتهالكه فإن قدرته الإنتاجية انخفضت إلى حوالي 80 طن يوميا، وهي تعتبر رقماً صغيراً مقارنة بالإنتاج الحالي للنفايات في مدينة مصراتة والذي يقدر بحوالي 450 طن يوميا، كما يشرف على تشغيل هذا المصنع حوالي 40 عاملا منهم 15 عاملا لفرز النفايات [7].

4. التقنيات المستخدمة في إدارة المخلفات الصلبة

سيتم هنا استعراض أهم التقنيات المستخدمة في معالجة النفايات الصلبة.

أ. الطمر الصحي

تهدف هذه الطريقة إلى تقليص حجم النفايات واحتوائها للحد من الأضرار البيئية وذلك عن طريق تقليص حجم النفايات إلى أقل ما يمكن كذلك وضعها في أقل حيز ممكن وطمرها يومياً. ويمكن تطبيق طريقة الطمر الصحي بأسلوبين كما يلي:

طريقة الخندق: حيث يتم حفر خنادق منفصلة عن بعضها توزع فيها النفايات وترص ثم تغطى بالتراب الذي تم استخراجه خلال عملية الحفر، مع مراعاة أن عمق الخندق يجب ألا يؤثر على المياه الجوفية.

طريقة المساحة: في هذه الطريقة يتم حفر مساحة معينة بعمق أكبر من الخندق ثم تملأ بالنفايات وترص ثم تغطى في نهاية اليوم إلا أن هذه الطريقة تتطلب مساحة أقل من الخندق للتخلص من نفس حجم النفايات [10].

إن هذه الطرق تساهم في تلوث البيئة، وبالتالي فإنه من الضروري استخدام طريقة الطمر الصحي التي تعتمد على الوسائل والتقنيات الحديثة من حيث اختيار الموقع الذي يجب المراعاة فيه خدمة سكان المنطقة في صحتهم وسلامتهم. توجد عدة عوامل يجب أخذها في عين الاعتبار في طريقة الطمر الصحي منها ما يلي [9]:

التكلفة: يترتب على إنشاء الموقع تكلفة عالية جداً من حيث شراء الأرض وحفرها وتجهيزها، لذلك يجب أن تكون تكلفة إنشاء المكب اقتصادية.

تقبل السكان للموقع: حيث يجب عدم إغفال أهمية تقبل السكان لهذا الأمر، وبالتالي وجب إعلامهم بهذا عند اختيار الموقع، كما يفضل أن يبعد الموقع عن أقرب تجمع سكني مسافة 5 كيلومتر، كما يجب أن تبعد عن المطارات مسافة بأكثر من 10 كيلومتر بسبب انجذاب الطيور لمواقع المكبات مما يؤثر على حركة الطائرات.

في طريقة الطمر الصحي تحفر حفرة في الأرض عمقها وسعتها تعتمد على طبيعة المنطقة وكمية النفايات، وتقدر المساحة اللازمة لكل 25 ألف مواطن حوالي هكتار واحد في السنة. ولمعرفة حجم الموقع لابد من معرفة كمية النفايات وكثافتها حيث تعتمد كثافة النفايات الصلبة المرصوصة على نوعية المعدات المستعملة في عملية الرص، فكلما زادت كفاءة عمليات الرص كلما استوعب المكب كميات أكبر. بعد الانتهاء من عملية الحفر يتم عزل الحفرة عن المياه الجوفية بطبقة عازلة توضع على قاعدة وجوانب الحفرة وذلك للحد من نفاذيتها وتجهيز المكب بشبكات لجمع الغازات للأسباب التالية:

– الاستفادة من غاز الميثان كمصدر للطاقة.
– الحد أو منع عمليات الاشتعال الذاتي للمكب.
– منع تسريب الغازات الناتجة عن موقع الطمر إلى مناطق مجاورة.

عملية طمر النفايات عملية قديمة جدًا ومع ذلك فهي تُعَدُّ واحدة من أكثر التقنيات استخدامًا في عمليات التخلص من النفايات، إلا أن معظم أماكن طمر النفايات لا تملك معدات لإنتاج الطاقة. وهي تعتبر أكثر الطرق شيوعا وأرخصها، وتتم هذه العملية بحفر خندق أو حفرة في الأرض، ثم تبطن بطبقة من الإسمنت أو الإسفلت أو البلاستيك، ويجب أن تتحمل البطانة درجات الحرارة العالية، وأن تكون مقاومة للمواد الكيمائية والتحلل العضوي حتى لا تتسرب النفايات الضارة إلى المياه الجوفية. كما تزود حفر الدفن بشبكة صرف للمياه العادمة، حيث يتم تصريف أكثر من 90% من النفايات المنزلية بالدفن. ومن عيوب هذه الطريقة الأرض التي يتم فيها دفن القمامة تكون لينة ولا يمكن استعمالها في البناء وإقامة المنشآت عليها [10].

ب. الهضم اللاهوائي

في هذه الطريقة تستخدم الكائنات الدقيقة لتحويل النفايات العضوية إلى غاز حيوي (الميثان) الذي يمكن حرقه لتوليد الكهرباء والحرارة، أو لتحويلها إلى البايوميثان. هذه التقنية هي الأكثر مناسبة للنفايات العضوية الرطبة أو فضلات الطعام، كما يمكن استخراج السماد الحيوي. في هذه الحالة يتم تركيب مواسير لجمع الغازات الناتجة عن تحليل المواد العضوية، ويتكون غاز المكبات في أماكن الطمر الصحي في مراحل مختلفة. تتكون العملية من خمس مراحل وهي: الضبط المبدئي، مرحلة التحول، المرحلة الحمضية، تخمر الميثان، مرحلة النضج. ويوضح الشكل (6) مخططاً لخطوات طريقة الهضم اللاهوائي.

شكل 6. خطوات الهضم اللاهوائي للمخلفات

ج. الحرق

تهدف عملية حرق النفايات إلى تقليل حجم النفايات والتخلص من الأوبئة، وتحاول محطات حرق النفايات في الوقت الحاضر تقليل حجم النفايات إلى أقل قدر ممكن وتحويل الطاقة الحرارية الكامنة التي يستفاد منها في مختلف المجالات. عملية الحرق تتم بوزن النفايات الصلبة القادمة للمحطة لمعرفة كمية المواد المتوفرة للحرق، ومن ثم تفرغ في خزان جمع النفايات التابع للمحطة، ويجب أن تتوفر في خزان جمع النفايات مواصفات خاصة من أهمها ما يلي [12]:

– حجم كبير يضمن تشغيل محطة الحرق 24 ساعة في اليوم وعلى مدار السنة لأنه في حالة توقف المحطة عن الحرق فإن التقلصات والتمددات التي تحدث تؤدي إلى حدوث تشققات وتلف في غرفة الحرق.
– منع تطاير الغبار والأوراق من مخزن النفايات، وكذلك مع انتشار الروائح الكريهة الناتجة عن تعفن النفايات.

الحرق هو عملية معالجة النفايات حرارياً، حيث تُستخدم المواد الأولية والمواد غير المعالجة كمواد تغذية (وقود). تعود فكرة حرق النفايات إلى عام 1876 في بريطانيا، وتحدث هذه الطريقة بوجود كمية كافية من الهواء لأكسدة الوقود. تُحْرق النفايات في درجة حرارة 850 مْ، حيث تتحول النفايات في هذه المرحلة إلى ثاني أكسيد الكربون وماء ومواد غير قابلة للاحتراق مع رواسب صلبة تُسمّى رماد القاع والذي يحتوي دائماً على كمية قليلة من رواسب الكربون. ويصل الوزن بعد الحرق إلى ثلثي وزنها الفعلي وحجمها إلى حوالي 90% من الحجم الفعلي. يوجد في مصانع توليد الطاقة

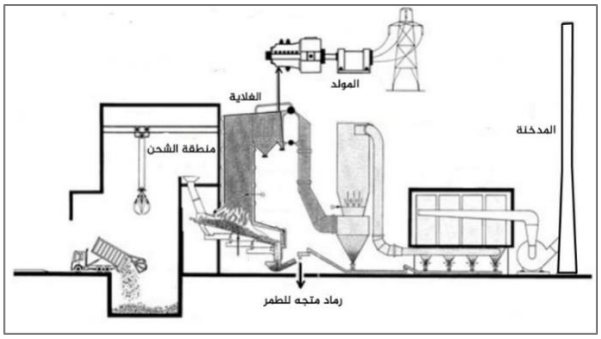
من النفايات باستخدام هذه التقنية غلاية لكي تحافظ وتُحَوّل الحرارة المنبعثة لكهرباء وبخار، كما يوجد فيها أنظمة شاملة لمراقبة تلوث الهواء تعمل على تنظيف الغازات المحترقة لكي لا تتجاوز نسب الانبعاث المسموح بها قبل إطلاقها في الهواء عن طريق المدخنة. تستهلك هذه المصانع حوالي 50-300 ألف طن من مواد التغذية سنوياً. إن أهم مصادر مواد التغذية تتمثل في الآتي [12]:

- وقود مصدره النفايات المحلية الصلبة.
- وقود مصدره النفايات التجارية والصناعية.
- وقود مشتق من النفايات أو وقود مستخلص من النفايات الصلبة [12].

وتكون مخرجات هذه المصانع على النحو التالي:

- الكهرباء أو الحرارة أو كلاهما في حالة الجمع بين الحرارة ومصنع الطاقة.
- رماد القاع، وهو الرماد المتبقي بعد عملية الاحتراق ويمكن استخدامه لصناعة الاسمنت أو كمادة تستخدم كطبقة أولية للطرقات. في حالة عدم إزالة المعادن قبل الاحتراق، يمكن إعادة تدويره بعد الاحتراق.
- الرماد المتطاير، حيث تجمع أجهزة مراقبة التلوث هذا الرماد.

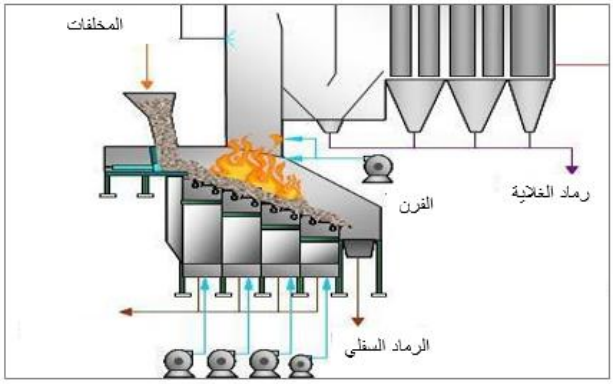
ويوضح الشكل (7) مخططاً لمصنع توليد الطاقة من النفايات باستخدام تقنية الحرق، حيث تُنقل النفايات إلى غرف مُسبقة الاحتراق (الموقد)، وبعد الاحتراق ينتج الخبث والرماد. بعد ذلك، يُنقى الغاز بماصة الماء أو بأي طريقة تنقية أخرى. وفي النهاية، ينبعث الهواء النظيف من المدخنة للجو.



شكل 7. مخطط لتوليد الطاقة باستخدام تقنية الحرق

يمكن أن تصل الكفاءة الكهربائية لمصانع الحرق بين 0.4 و0.7 ميجاوات/ ساعة باستخدام 1 طن من النفايات الصلبة الكفاءة الحرارية لحرق 1طن من النفايات الصلبة فتصل تقريبا إلى 2 ميجاوات/ ساعة. إلا أن لمحطات الحرق تأثيرات بيئية، فعند حرق النفايات الصلبة ينتج ثاني أكسيد الكربون والنيتروجين وثاني أكسيد الكبريت ومجموعة أخرى من مراحل الغاز العضوي واللاعضوي لانبعاثات الهواء، وأيضا الرماد المتطاير ورماد القاع هي من التأثيرات البيئية، ويمثل الرماد نسبة (حجمية) تصل إلى 20% من الكمية التي يتم حرقها [9]، ويشكل الرماد المتطاير خطورة أكبر من رماد القاع لأن الرماد المتطاير يحتوي على نسب عالية من المعادن الثقيلة مثل الرصاص والكاديوم والنحاس والخارصين بالإضافة إلى كميات صغيرة من المواد السامة. من أنواع تقنيات الاحتراق في التطبيق التجاري هما الفرن الدوار والسير المتحرك.

السير المتحرك هو تصميم لاحتراق نمطي لمحرقة النفايات الصلبة البلدية "محرقة نفايات القمامة المنزلية". وفيها تُلْقَى النفايات عن طريق الرافعة أو الكماشة على السير المتحرك، والذي ينقله إلى غرفة الاحتراق ومنها ينتقل لأسفل لإلقاء المخلفات المحروقة في مجمع الرماد في الجهة الأخرى للسير وهذه المحرقة عبارة عن وسط مسامي معدني تسمح لهواء الاحتراق الرئيسي بالتدفق من القاع، فيما هواء الاحتراق الثانوي مزود بفوّهات من أعلى السير تسهل الاحتراق الكامل بإدخال الاضطراب الدوامي [10].هذا النوع لديه غرفة احتراق ثانوية موصولة بعد محرقة السير المتحرك يتم فيها تزويد هواء الاحتراق الثانوي، لضمان إتاحة الوقت الكافي للاحتفاظ بدرجة حرارة عالية لكي تتحلل الملوثات العضوية السامة، ويوضح الشكل (8) مخططا لمحرقة السير المتحرك.



شكل 8. محرقة السير المتحرك

د. *الانحلال الحراري والتحويل لغاز (التغويز)*

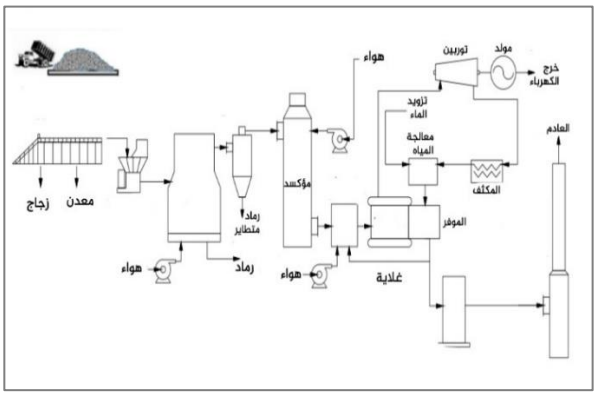
الانحلال الحراري هو تفكك حراري للنفايات في غياب الهواء لإنتاج الغاز (غاز مركب)، السوائل (نفط خام) أو المواد الصلبة (فحم، أغلبه رماد وكربون). يحدث الانحلال الحراري عادة في درجة حرارة تتراوح ما بين 400-1000 درجة مئوية. يحدث التغويز في درجات حرارة أعلى من درجة حرارة 1000-1400درجة مئوية، وبكمية أوكسجين محددة. يحتوي المنتج الغازي على ثاني أكسيد الكربون، وأول أكسيد الكربون، وغاز الهيدروجين، وغاز الميثان، والماء. عمليات التخلص من النفايات القائمة على الانحلال الحراري والتغويز بوجه أخص يُقلّلان ويمنعان التآكل والانبعاثات وذلك عن طريق الإبقاء على القلويات والمعادن الثقيلة. سيكون هناك انخفاض في مقدار انبعاث ثاني أكسيد الكبريت والجسيمات الأولية الناتجة عن عمليات الانحلال الحراري والتغويز. لكن انبعاث أكسيد النيتروجين والمركبات العضوية المتطايرة والديوكسينات ربما يكون مشابهاً لتقنية معالجة النفايات الأخرى، وعادةً ما يُشار إليها بالمعالجة الحرارية المتقدمة، حيث تُعالج مصانع التغويز والانحلال الحراري الوقود حرارياً بدون أن تسمح لكمية كافية من الأوكسجين بالاحتراق التام. كما أن تلك المصانع عادةً ما تكون أصغر وأكثر مرونة من مصانع الحرق، وهي تستهلك حوالي 25 – 150 ألف طن من النفايات في العام على الرغم من أن بعض الأنواع يمكن أن يصل استهلاكها إلى 350 ألف طن في العام[11]، ويوضح الشكل (9) مخططا لتدفق عملية الانحلال الحراري والتغويز. ينبغي الإشارة إلى أن المواد الداخلة في صناعة الوقود في هذه التقنية تتمثل في الآتي:

- وقود مصدره النفايات المحلية الصلبة.
- وقود مصدره النفايات التجارية والصناعية.
- وقود مشتق من النفايات أو وقود مستخلص من النفايات الصلبة.
- وقود غير مشتق من النفايات، على سبيل المثال: الخشب، والأشكال الأخرى من الكتل الحيوية (النباتات والحيوانات).

من خلال هذه التقنية يمكن الحصول على المخرجات التالية:

- الكهرباء أو الحرارة أو كلاهما في حالة الجمع بين الحرارة ومصنع الطاقة.
- تجميع الغاز، حيث يمكن تنقيته لإنتاج الغاز الحيوي، والوقود الحيوي، والكيماويات، والهيدروجين.
- المواد الخام المستخدمة في الصناعات الكيميائية والتي تسمح باستخدام الكتل الحيوية بدلاً من النفط عند إنتاج المواد البلاستيكية على سبيل المثال.
- رماد القاع، والفحم، والخبث المعدني، وهي منتجات ثانوية يمكن استخدامها لأغراض مفيدة كصناعة الاسمنت وصناعات الطبقات الأولية للطرقات. ويتكون الغاز الصناعي من غاز ثاني أكسد

الكربون بشكل رئيسي وأول أكسيدا لكربون، والهيدروجين والميثان وبخار الماء [13].



شكل 9. مخطط لتدفق عملية الانحلال الحراري والتغويز

إن اختيار التقنية المثلى من بين البدائل الموضحة أعلاه هي عملية معقدة، فالمعايير المستخدمة كثيرة، وبالتالي تمر مرحلة اتخاذ القرار بعدة خطوات. الخطوة الأولى تتمثل في تحديد المعايير، أما الخطوة الثانية تتمثل في تقييم كل معيار من هذه المعايير، ويتم ذلك عن طريق الخبراء والمختصين في هذا المجال. ولغرض التقييم فقد تم استخدام طريقة الوزن المتأرجح.

5. طريقة الوزن المتأرجح Swing Weighting Method

تستخدم طريقة الوزن المتأرجح للمقارنة بين عدد من الخيارات المتاحة واختيار الأفضل من بينها، وتعتمد هذه الطريقة على عدة خطوات سيتم توضيحها لاحقاً. في هذه الدراسة استخدمت هذه الطريقة للمقارنة بين عدد ثلاثة تقنيات لإدارة المخلفات وهي الطمر الصحي، والحرق، والهضم اللاهوائي واختيار الأفضل من بينها. ويوضح الشكل (10) خطوات طريقة الوزن المتأرجح.

1) إنشاء مصفوفة أوزان المعايير: حيث تتكون هذه المصفوفة من البدائل التي تتم المقارنة بينها والمعايير التي تؤخذ بعين الاعتبار، ويتم منح وزن المعايير لجميع البدائل.

1	إنشاء مصفوفة أوزان المعايير
2	تحويل الأوزان إلى القيم التقريبية
3	إنشاء مصفوفة العنصر المعياري
4	ترتيب المعايير حسب أهميتها
5	إعطاء درجة لكل معيار
6	حساب النسبة المئوية لجميع المعايير
7	المقارنة بين البدائل

شكل 10. خطوات طريقة الوزن المتأرجح

2) تحويل الأوزان الممنوحة في المصفوفة السابقة إلى قيم تتراوح بين (1،0). في هذه الخطوة تمنح القيمة (1) للبديل الذي تحصل على أعلى وزن، وتمنح القيمة (0) للبديل الذي تحصل على أقل وزن، وباقي البدائل تمنح قيماً بين (1،0).

3) إنشاء المصفوفة التي تحتوي على العنصر المعياري Benchmark. يتم في هذه الخطوة إنشاء مصفوفة جديدة تحتوي على العنصر المعياري والذي يمثل أسوأ قيمة يمكن أن تتحصل عليها جميع المعايير، يكرر محتوى العنصر المعياري لجميع المعايير ماعدا المعيار المراد إعطاء وزنه. لو افترضنا وجود ثلاثة معايير وكانت أفضل قيم للمعايير هي (60،80، 100) على التوالي، وكانت أسوأ قيم للمعايير هي (30، 40، 50) على التوالي، فيتم إعطاء الأوزان بالصورة الموضحة بالجدول (3).

جدول3. مصفوفة العنصر المعياري

المعيار	معيار(أ)	معيار(ب)	معيار(ج)
Benchmark	50	40	30
معيار(أ)	100	40	30
معيار (ب)	50	80	30
معيار (ج)	50	40	60

4) ترتيب المعايير حسب أهميتها (Rank): في هذه الخطوة ترتب المعايير حسب أهميتها بحيث يحصل المعيار الأهم على الترتيب الأول ويحصل المعيار الأقل أهمية (وهو المعيار المرجعي Benchmark) على الترتيب الأخير.

5) إعطاء درجة لكل معيار(Rate): يمنح كل معيار درجة تتراوح بين (100،0)، حيث يحصل المعيار الأهم على درجة (100)، ويحصل المعيار الأقل أهمية (وهو المعيار المرجعي Benchmark) على درجة (0).

6) حساب النسبة المئوية لكل معيار: يتم حساب النسبة المئوية بقسمة الدرجة التي تحصل عليها المعيار على المجموع الكلي للدرجات.

7) المقارنة بين البدائل: وذلك من خلال حساب قوة وأهمية كل بديل عن طريق ضرب النسبة المئوية التي تحصل عليها المعيار في مصفوفة القيم المعيارية، ومن ثم تجمع القيم المتحصل عليها لكل بديل من البدائل.

تقوم طريقة الوزن المتأرجح على فكرة تحويل أوزان البدائل (والتي يمكن أن تأخذ أي قيمة في هذه الحالة) إلى قيمة معيارية تتأرجح بين [0,1]. بعدها يتم إيجاد أسوأ حل في جميع هذه المعايير واستخدامه كقيمة مرجعية Benchmarking للحكم على أهمية كل معيار من هذه المعايير.

6. اختيار التقنية المناسبة لإدارة المخلفات بمدينة مصراتة

في البداية تم تحديد المعايير التي سيتم استخدامها لغرض المقارنة بين البدائل الثلاثة، وتم تقسيم هذه المعايير إلى أربعة أقسام رئيسية ثم قُسم كل معيار رئيسي إلى مجموعة من المعايير الفرعية، ويوضح الجدول (4) هذه المعايير.

جدول 4. المعايير المستخدمة في التقييم

المعيار الرئيسي	المعايير الفرعية
معايير بيئية	تلوث الهواء والمياه استخدام الأرض تقليل المخلفات الصلبة الضوضاء والغبار
معايير اجتماعية	القبول لدى الناس القوانين والسياسات الثقة
معايير تقنية	خبرة العمال المحليين الأنظمة المحلية للتوليد القدرة الاستيعابية القدرة التوسعية القدرة على الاستمرارية
معايير اقتصادية	تكلفة الإنشاء قيمة الاستثمار تكاليف الصيانة والتشغيل خلق فرص عمل المخلفات الصادرة

لغرض الوصول إلى قرار الاختيار فقد تم إتباع الخطوات الواردة في البند السابق وفق الآتي:

الخطوة الأولى: تم في هذه الخطوة إنشاء مصفوفة أعمدتها تمثل التقنيات الثلاث التي سيتم المفاضلة بينها (وهي الطمر الصحي والهضم اللاهوائي والحرق)، وتمثل الصفوف المعايير الرئيسية التي أخذت بعين الاعتبار. يوضح جدول (5) مصفوفة أوزان المعايير. وقد تم مَنح الأوزان لهذه المعايير بواسطة خبراء في مجال إدارة المخلفات. ويمثل تدرج الألوان من الأخضر إلى الأحمر تدرج القيم من الأكبر إلى الأصغر، بالأخذ في الاعتبار أن المعايير الثلاثة الأولى هي معايير ربح (Benefit) بينما المعيار الأخير هو معيار كلفة (Cost).

جدول 5. مصفوفة أوزان المعايير

المعايير	الطمر الصحي	الحرق	الهضم اللاهوائي
معايير بيئية	5	30	60
معايير اجتماعية	5	30	50
معايير تقنية	5	35	55
معايير اقتصادية	60	40	6

الخطوة الثانية: في هذه الخطوة تم تحويل الأوزان الممنوحة من قبل الخبراء إلى قيم معيارية تتراوح بين[0,1]، وتمنح التقنية التي تحصلت على أقل وزن صفراً، بينما تمنح التقنية التي تحصلت على أعلى وزن واحداً، وتتأرجح القيمة المعيارية الممنوحة لباقي التقنيات بين [0,1]، ويبين جدول (6) هذه الخطوة.

جدول 6. القيم المعيارية الممنوحة للمعايير

المعيار	القيم المعيارية		
معايير بيئية	0	0.5	1
معايير اجتماعية	0	0.6	1
معايير تقنية	0	0.5	1
معايير اقتصادية	1	0.6	0

الخطوة الثالثة: الهدف من هذه الخطوة الوصول إلى ترتيب للمعايير حسب أهميتها. ويكون ذلك عن طريق عمل مصفوفة جديدة توضع فيها المعايير المستخدمة في كل من الأعمدة والصفوف مع إضافة عنصر جديد معياري يمثل أسوأ قيمة تحصل عليها كل معيار، ويطلق على هذا العنصر "العنصر المعياري"، أو Benchmarking element. يكرر محتوى هذا العنصر المعياري لجميع المعايير، مع استبدال قيمة المعيار بأفضل قيمة له. ومن خلال إضافة خانتين جديدتين للخانة الأولى يمنح من خلالها كل معيار درجة (Rate) تتراوح بين [100,0] يتحصل من خلالها المعيار الأهم على درجة 100 وأقل معيار من حيث الأهمية على درجة 0 (يعتبر في هذه الحالة المعيار المرجعي Benchmark). أما في الخانة الثانية فيتم منح ترتيب (Rank) للمعايير حسب أهميتها حيث يحصل المعيار الأهم على الترتيب الأول ويحصل المعيار الأقل أهمية على الترتيب الأخير (وهو المعيار المرجعي، وترتب باقي المعايير بينها بناء على أهميتها.

الخطوة الرابعة: الغرض من هذه الخطوة حساب النسبة المئوية التي تمثلها أهمية كل معيار من هذه المعايير، وذلك من خلال قسمة الدرجة (Rate) التي تحصل عليها المعيار على المجموع الكلي للدرجات. يمثل عمود النقاط الدرجة التي تحصل عليها المعيار ويمثل العمود w النسبة المئوية التي تحصل عليها كل معيار. والجدول (7) يوضح حساب الأوزان المرجحة للمعايير الخاصة بالحالة الدراسية.

جدول 7. حساب الأوزان المرجحة للمعايير

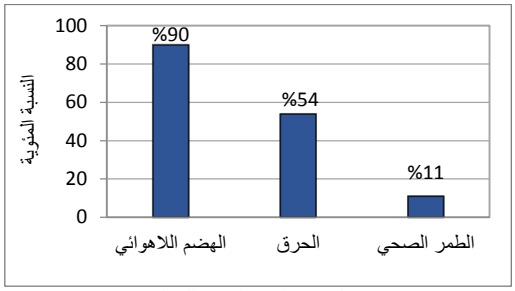
المعايير	الوزن المتأرجح	
	النقاط	الوزن
معايير بيئية	100	%36
معايير اجتماعية	70	%25
معايير تقنية	80	%29
معايير اقتصادية	30	%11

الخطوة الخامسة: الغرض من هذه الخطوة المقارنة بين البدائل المختلفة، وذلك من خلال حساب قوة وأهمية كل بديل عن طريق ضرب النسبة المئوية التي تحصل عليها المعيار في مصفوفة القيم المعيارية، ومن ثم جمع القيم المتحصل عليها لكل بديل من البدائل. يوضح الصف الأول في الجدول (8) حصول البديل الثالث (الهضم اللاهوائي) على قيمة 0.36 وهي ناتجة من ضرب النسبة المئوية 36% في القيمة 1. ويبين جدول (8) حساب الأهمية لكل بديل.

جدول 8. حساب الأهمية لكل بديل

الهضم اللاهوائي	الحرق	الطمر الصحي
0.36	0.18	0.00
0.25	0.15	0.00
0.29	0.14	0.00
0.00	0.06	0.11

بعد الانتهاء من حساب أهمية كل معيار بالنسبة لجميع البدائل يتم جمع القيم التي تحصل عليها كل بديل ويلاحظ حصول البديل الأول على نسبة 0.11، والبديل الثاني على 0.54، والبديل الثالث على 0.90، ومن هنا يمكن القول إن البديل الثالث والمتمثل في الهضم اللاهوائي هو البديل الأفضل، كما هو موضح بالشكل (11).



شكل 11. النسبة المئوية للبدائل

7. الخلاصة

درست هذه الورقة عملية معالجة النفايات الصلبة من حيث طبيعتها وطرق إداراتها، كما تطرقت إلى المشاكل البيئية المرتبطة بموضوع النفايات الصلبة، وطرق المعالجة المختلفة. كذلك استعرضت بعض التجارب العربية والعالمية في هذا الموضوع، وتقدم الورقة مقترحا لاختيار الطريقة المناسبة لمعالجة النفايات الصلبة بمدينة مصراتة. هذا المقترح يتضمن أربعة معايير رئيسية وسبعة عشر معياراً فرعيا. بناءً على ذلك تم اختيار التقنية المثلى لإدارة المخلفات الصلبة باستخدام طريقة الوزن المتأرجح من خلال بناء نموذج بواسطة برنامج اكسل. خلُصت الدراسة إلى أن المعايير البيئية هي الأهم عند اتخاذ القرار، يليها المعايير التقنية. أما على مستوى التقنية المقترحة، فإن الدراسة أظهرت أن تقنية الهضم اللاهوائي هي الأنسب في إدارة عملية المخلفات الصلبة بمدينة مصراتة.

المراجع

[1] ريتا بياتي وتشيمندرا شارما وماساتو ياماداء بيانات توليد النفايات وتكوينها ومعالجتها، الخطوط التوجيهية لهيئة ipcc, 2006.
[2] رمضان محمد رمضان، التلوث بالنفايات المنزلية في غريان، رسالة ماجستير مقدمة إلى جامعة السابع من إبريل، الزاوية2003.
[3] محمد عبد الله لامة، 1990 التلوث بالنفايات الصلبة في مدينة بنغازي، رسالة ماجستير مقدمة إلي قسم الجغرافية، كلية الآداب والتربية جامعة قاريونس 1990.
[4] الجالي جمعة رحومة جمعة، التحليل المكاني للنفايات المنزلية الصلبة في مدينة الجغبوب.
[5] البيرة ابتسام عبدالسلام 2007، التحليل المكاني للتلوث بالنفايات الصلبة في مؤتمري مصراتة المدينة والزروق، كلية الآداب جامعة مصراتة، ليبيا.
[6] حميدة منصور سالم التلوث بالنفايات المنزلية الصلبة وأثاره البيئية في مدينة طرابلس، رسالة ماجستير مقدمة إلى جامعة السابع من ابريل، كلية الآداب، قسم الجغرافيا، 2006.
[7] زيارات ميدانية ومقابلات مع مدير شركة الخدمات والنظافة العامة مصراتة ومصنع السماد مصراتة، 2015

[8] www.trading economics.com/Libya/population-growth-annual percent-wb-date.html.
[9] التقرير الوطني الأول للبيئة.
[10] نعيم بارود، مبادئ علم البيئة.
[11] Prasad، Neeraj, 2008، „Municipal Solid Waste Treatment Technologies and Carbon Finance", Bangkok.
[12] Wilson، Bary،& Williams، Neil, 2013, "A Comparative Assessment of Commercial technologies for Conversion of Solid Waste to Energy", EnviroPower Renewable.