الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة

تأليف

الدكتور المهندس / عبد الحكيم بنود

أستاذ في قسم الهندسة البيئية في كلية الهندسة المدنية

عميد كلية الهندسة التقنية في جامعة حلب (سابقاً)

العنـوان :«الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة»
المؤلف الدكتور المهندس / عبدالحكيم بنود

الموضـــــــــــوع : بيئـــي
عـــــــــدد الصفحات : 639 صفحة
قيـــــــــاس الصفحة : 17 - 24 سم
عـــــــــدد النســـــخ : 1000 نسخة

التصنيف العمـــــري : **E**
إذن طباعة رقم : 3879494 - 01 - 10 - **MC**
الرقم الدولي للسلسلة : 978-9948-785-66-8 **: (ISBN)**

الطبعة الأولى
1444 هـ - 2023 م

جميع الحقوق محفوظة ®
يمنع نسخ هذا الإصدار أو أجزائه بكل الطرق، كالطبع، والتصوير، والنقل، والترجمة،
والتسجيل المرئي، والمسموع والإلكتروني، إلا بإذن خطي من
«مؤسسة زايد الدولية للبيئة»

تم تصنيف وتحديد الفئة العمرية التي تلائم محتوى الكتب
وفقاً لنظام التصنيف العمري الصادر عن المجلس الوطني للإعلام»

ص. ب: 28399 دبي - الإمارات العربية المتحدة
برج العلي - شارع الشيخ زايد - رقم (504)
هاتف : 3326666 4 971+ - فاكس : 3326777 4 971+
البريد الإلكتروني : **cta@zayedprize.org.ae**
الموقع الإلكتروني : **www.zayedprize.org.ae**

الآراء الواردة في هذا الكتاب
لا تعبر بالضرورة عن رأي «**مؤسسة زايد الدولية للبيئة**»، ولا تتحمل أي مسؤولية
مهما كانت طبيعتها ناشئة أو متصلة بمحتويات هذا الكتاب

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم

إن سلسلة كتاب عالم البيئة تزداد ألقاً بمثل هذا الكتاب الذي يخاطب الفنيين والمتخصصين في التعامل مع النفايات بمختلف أشكالها وأنواعها ، فهو يطرح خارطة طريق واضحة المعالم للتعامل مع كل نوع من أنواع النفايات الصلبة التي تنتجها المنازل والمكاتب والمنشآت الزراعية والصناعية والخدمية والمستشفيات وكافة النشاطات البشرية. وقد اجتهد الدكتور عبد الحكيم بنود في تبسيط المفاهيم الأساسية وشرح الخطوات العلمية والعملية ، ليس فقط للتخلص من النفايات، بل للإستفادة منها كمورد إقتصادي يمكن أن يساهم في التنمية المستدامة للمجتمعات المحلية. كما أنه يمكن أن يساهم في تغطية العجز في احتياجات أساسية مثل الطاقة. والمعروف أن هناك بلدان لا تملك النفط لجأت لتحويل النفايات إلى طاقة كهربائية عن طريق محارق مغلقة وعالية الحرارة.

إن إدارة النفايات لهي من أساسيات العمل البلدي المتكامل الذي يشمل التخطيط العمراني ورقابة جودة الهواء وجودة مياه الشرب ورقابة الأغذية وإدارة النفايات وإدارة الصرف الصحي والصناعي. وبما أن العمل البلدي يتعلق بحياة المواطنين في كل البلاد فإنه لا يكتمل إلا بتوعية وتثقيف المجتمع المحلي لإشراكه في الإدارة المتكاملة لأن المواطن يمكن أن يلعب دوراً هاماً في تقليل كمية النفايات وفرزها لتسهيل التعامل معها في التدوير والمعالجة. ولو قمنا بتصنيف النفايات البلدية لوجدنا أن نسبة عالية منها عبارة عن نفايات عضوية يمكن الاحتفاظ بها في المنازل والمنشآت المختلفة وتحضيرها بطرق بسيطة وغير مكلفة لإنتاج سماد عضوي عالي الجودة للتشجير والزراعة المنزلية.

من هنا تود مؤسسة زايد الدولية أن تدعو كل من يهمه أمر البيئة والصحة أن يؤدي واجبه الكامل تجاه قضية النفايات. وهذا الواجب يبدأ بالرفض، إذ يمكنكم رفض استخدام أواني وأدوات البلاستيك أحادية الإستخدام (التي نستخدمها مرة واحدة ونرميها) وكل ما يمكن استبداله بأدوات مستديمة. وبعد ذلك يأتي تقليل النفايات عن طريق تقليل الإستهلاك وترشيد الموارد. ثم إعادة استخدام ما يمكن استخدامه بما في ذلك النفايات العضوية التي يمكن استخدامها كسماد عضوي بعد معالجة بسيطة. ومن ثم يجب فرز النفايات لتسهيل تدويرها قبل ايداعها في مركز النفايات. إن المسؤولية تضامنية ودور الفرد فيها لا يقل أهمية عن دور الحكومة. ولذلك على السلطات الحكومية أن تستثمر في توعية وتثقيف المواطنين ليقوموا بواجبهم على أكمل وجه.

الشكر الجزيل للأخ الدكتور عبد الحكيم بنود على هذا الجهد العظيم وللمحكمين والمدقق اللغوي وهيئة تحرير السلسلة.

مع تمنياتي لكم بقراءة شيقة وبالإستفادة من هذا السفر.

أ. د / محمد أحمد بن فهد

رئيس تحرير سلسلة كتاب عالم البيئة

رئيس اللجنة العليا لمؤسسة زايد الدولية للبيئة

الإدارة المتكاملـــة
للنفايات الصلبة

يترافق التطور والنشاط الاقتصادي والاجتماعي بالتلوث البيئي، فمع إنتاج الأجهزة والمعدات والسلع الاستهلاكية وتغير أسلوب الحياة ازداد إنتاج النفايات.

أصبحت النفايات من المشاكل البيئية المعاصرة التي تواجه معظم دول العالم، وبالأخص دول العالم الثالث، ومن بينها الدول العربية. ويسهم انتشار النفايات الصلبة بأنواعها المختلفة بشكل مباشر في تلويث البيئة، والإضرار بها، والعمل على زيادة وتيرة انتشار الأمراض وانخفاض مستويات الرفاهية.

لم يهتم الإنسان القديم كثيراً بالتخلص من النفايات، لعدة أسباب، من بينها أنه كان دائم التنقل والترحال. وبعد أن عرف الاستقرار والسكن في التجمعات الكبيرة، أصبح لزاماً عليه أن يبتكر طرائق فعالة لإدارة نفاياته، وتطور الأمر حتى أصبح موضوع إدارة النفايات علماً وفناً، وظهرت الإدارة المتكاملة للنفايات، تلك التي تشير إلى النهج الاستراتيجي للإدارة المستدامة للنفايات الصلبة التي تغطي جميع المصادر، وتركز على خطوات إنتاج النفايات والفصل والفرز والنقل والمعالجة والاستعادة، وإعادة الإستخدام والتدوير والتخلص بطريقة متكاملة. مع التركيز على تعظيم كفاءة استخدام الموارد. ولقد قطعت الدول المتقدمة شوطاً كبيراً في هذا المجال. وأخذ هذا الأسلوب يتطور بسرعة، ليصبح من الضرورة القصوى بالنسبة للدول العربية العمل على تقليص الفجوة الآنية لمواكبة التطور في مجال ادارة النفايات الصلبة.

يتضمن هذا الكتاب ستة عشر فصلاً.

حيث يعرض في الفصل الأول تعريف النفايات وتصنيفها بناءاً على مصادر إنتاجها وخواصها الكيميائية وخطورتها، بجانب تحديد الخواص الفيزيوكيميائية والفيزيوميكانيكية والجرثومية للنفايات. وخُصّص الفصل الثاني لعرض التأثيرات المختلفة للنفايات سواء كانت صحية أو بيئية أو اجتماعية اقتصادية، بينما جاء موضوع تقدير كميات النفايات ومعدلات إنتاج الفرد منها في الدول النامية والدول الصناعية في الفصل الثالث، مع ذكر العوامل المؤثرة في معدلات إنتاج النفايات وخاصة ما يتعلق بدخل الفرد.

الفصل الرابع خُصّص لبيان التطور التاريخي لإدارة النفايات. وشمل عرضاً لمعاني وأصول الإدارة المتكاملة للنفايات، وعناصر نظام النفايات وخطوات التخطيط في هذه الإدارة، ومزايا الإدارة المتكاملة والتحديات التي تواجه تطبيقها في الدول النامية. كما عرض فيه استخدام نظم المعلومات الجغرافية في الإدارة المتكاملة، وتمويل الإدارة المتكاملة ومشاركة القطاع الخاص في الإدارة المتكاملة، وبيان الإجراءات اللازمة لضمان فعالية هذا القطاع مع القطاع الخاص، والحلول المقترحة لها.

وخصص الفصل الخامس لموضوع حفظ النفايات وجمعها وبيان أسباب المشاكل الشائعة في أنظمة جمع النفايات، واختيار أنواع أوعية حفظ النفايات تبعاً لنوعية المساكن، وعرض الإطار العام الذي يحكم تخطيط جمع النفايات. وتم تبيان أنواع عربات جمع النفايات وآلياتها، وأنظمة حاويات النفايات المتنقلة، والحاويات الثابتة. وذكرت عناصر العمل في جمع النفايات واستخدام الجمع تحت الأرض، ومسارات آليات جمع النفايات وتحديد كلفة جمع النفايات ونقلها.

وعرض الفصل السادس نماذج محطات النقل والتحويل للنفايات الضرورية في حالة المدن الواسعة المساحة، حيث يقلل وجود هذه المحطات من مسافات انتقال آليات جمع النفايات. وتم تبيان أسس اختيار مواقع هذه المحطات ومهامها، وقدراتها الاستيعابية، ومزاياها وعقبات عملها.

يتحدث الفصل السابع عن الاقتصاد الدائري، ويعرض هرم قيمة النفايات المتضمن لأولويات إدارة النفايات، بدءاً من منع إنتاجها، مروراً بتقليل الإنتاج، إلى إعادة الاستخدام، وإعادة التدوير، إلى الاستعادة، حتى مراحل التخلص من البقايا.

ونظراً لأهمية استعادة النفايات العضوية، وتحويلها إلى محسنات للتربة، فقد عرض الفصل الثامن تصنيف عناصر النفايات الصلبة المستخدمة في صناعة الكمبوست، وبيّن أقسام محطات التحويل إلى كمبوست وسير العمل فيها، والعوامل المؤثرة في العملية، ونماذج تقنيات التخمير المستخدمة حالياً.

وتناول الفصل التاسع موضوع الهضم الميكروبي اللاهوائي، وتحويل النفايات إلى الغاز الحيوي، ذاكراً مبدأ الهضم اللاهوائي، ومراحل تكوين الغاز اللاهوائي، وآفاق تطور هذه التكنولوجيا ومشكلاتها الراهنة.

وخصص الفصل العاشر لترميد النفايات، حيث الغاية من تقانة الترميد، ومراحل سير العمل في مراكز الترميد، والعوامل المؤثرة في اختيار المخطط التكنولوجي لمحطة ترميد النفايات، وأنواع أفران الترميد تبعاً لنموذج حركة النفايات في حجرة الاحتراق. وتم تحديد العوامل المؤثرة في تقانة ترميد النفايات، ومخرجات هذه العملية، وطرق معالجة المخرجات. كما عرض الفصل لمسألة الحت والتآكل الذي يحدث في حجرات الاحتراق. وبيَّن أسلوب تحديد أبعاد منشأة ترميد النفايات، وشروط تصميم المرمدة وتشغيلها، واستثمار منشآت ترميد النفايات.

ونتيجة لظهور أساليب جديدة لتحويل النفايات إلى طاقة فقد تم تخصيص الفصل الحادي عشر للتحلّل الحراري والتغويز (إنتاج الغاز)، والتغويز بالبلازما للنفايات الصلبة. فبيَّن مبدأ التحلُّل الحراري، وتصنيف محطات التحلُّل الحراري حسب درجة الحرارة، مع ذكر أهم مخرجات التحلل الحراري ومراحل انجازه، وميزات تقانة التحلل الحراري للنفايات ومعوقاتها/سلبياتها. وعرض الفصل لمبدأ إنتاج الغاز من النفايات ومخرجات العملية، ومراحل العمل في منشأة إنتاج الغاز، وميزات تقانة التغويز ومعوقاتها/ سلبياتها. ومراحل إنتاج الغاز بالبلازما وميزات استخدام إنتاج الغاز بالبلازما، حيث تمت مقارنة تقانة التحلُّل الحراري للنفايات

بإنتاج الغاز. مع الشرح الوافي لتقانة تحويل النفايات إلى محروقات مشتقَّة، وبيان مراحل إنجاز هذا التحويل، ومواصفات المحروقات المشتقة من النفايات، وتخزينها ونقلها، وبيان الانبعاثات الناتجة عن حرقها، ومحاسن المحروقات المشتقة من النفايات وعقباتها.

بما أن أسلوب طمر النفايات الصلبة مازال متبعاً في العديد من الدول وخاصة النامية منها، فقد خُصّص الفصل الثاني عشر لهذا الموضوع، ليتم تبيين الهدف من المطامر الصحية للنفايات، ومراحل اختيار موقع مطمر النفايات والعوامل المؤثرة في الاختيار، وأُسس التصميم اللازمة، والمراحل المتعاقبة لتشغيل المطمر. ولتخفيف التأثيرات البيئية للمطامر، حيث تم الحديث عن تصميم طبقات العزل الداخلي والخارجي للمطمر، وعن تصميم شبكات جمع عصارة النفايات وإدارتها. وتصميم شبكة جمع الغازات الناتجة عن طمر النفايات، وتصميم نظام المراقبة البيئية للمطمر. وعرض الفصل لأسباب تأهيل مكبات النفايات، ومنهجية تأهيل المطامر العشوائية، ومراحل عملية التأهيل. مع ذكر إيجابيات الطمر الصحي للنفايات وعقباته.

تم تخصيص الفصل الثالث عشر للنفايات الطبية بوصفها إحدى النفايات الخطرة، حيث تم التعرض لأنواعها وإدارتها، وبيان مكوناتها وكمياتها، وعملية الفرز والتعبئة عند المصدر، ثم تجميعها وتخزينها في الموقع، وأساليب معالجتها.

لقد ازداد في العقود الأربعة الأخيرة استخدام الأجهزة الكهربائية والإلكترونية، ومنها أجهزة الكمبيوتر والموبايلات، مما أدى إلى ازدياد نفاياتها بكل ما فيها من خطورة. لذلك خصص الفصل الرابع عشر للحديث عن هذه النفايات، تعريفها وأهم مكوناتها وأساليب إدارتها، سواء بإصلاحها أو فصل مكوناتها للاستفادة من بعضها. وذُكرت مراحل معالجتها النفايات، والإجراءات التي يمكن اتباعها في تعديل طريقة إنتاج الأجهزة، وتخفيض حجم النفايات واسترجاعها، وإعادة استخدامها أو تدويرها. وأسلوب تقدير كميات النفايات الكهربائية والإلكترونية، وأهم الحلول المقترحة لهذه المشكلة

يلاحظ أن هناك زيادة مضطردة في التحضر على المستوى العالمي، ما يترافق مع تشييد مباني سكنية وغير سكنية وطرق، وينتج عن ذلك نوع آخر من النفايات يتمثل في أنقاض ومخلفات البناء الأخرى. يضاف إليها ما يتولد عن الكوارث الطبيعية والحروب من نفايات هدم، الأمر الذي خُصّص له الفصل الخامس عشر. والذي يبدأ بتعريف نفايات البناء والهدم، ومكوناتها وكمياتها، والتأثيرات السلبية للتخلص العشوائي من هذه النفايات. ولتشجيع الاستدامة، تم اقتراح إجراءات عديدة لتقليل إنتاج مثل هذه النفايات، واقتراح نظام لإدارتها، سواء كان الأمر أثناء عملية التشييد، أو الترميم أو الهدم، وإنشاء مركز ثابت لفرز وتدوير نفايات البناء والهدم، ومحطات متحركة أو قابلة للنقل.

الفصل الأول

مدخل إلى النفايات الصلبة

من الطبيعي أن تطرح الكائنات الحية في كل مكان بقاياها وإفرازاتها، إلا أن للنظام البيئي الطبيعي مقدرته على التعاطي معها، إذ يقوم بإعادة استخدامها بكفاءة عالية ضمن دورة واضحة. حيث تقوم المحلّلات بتحليلها إلى مواد أولية بسيطة تعود إلى التربة فتستخدمها النباتات، وهذا يسمى التنقية الذاتية.

أما ما يلقيه الانسان من نفايات صلبة من مخلفات البناء والصناعة والأجهزة الكهربية والإلكترونية، فقد إستعصى على النظام الطبيعي، ما استوجب أن يستحدث نظام تخلص أقل إضراراً بالبيئة.

1-1 مقدمة :

يتنامى معدّل إنتاج النفايات الصلبة في العالم كنتيجة طبيعية للنمو السكاني وتعاظم اقتصادات الدول، ناهيك عن التوجه نحو التمدّن والتصنيع، والتحولات في الظروف الاجتماعية والاقتصادية.

إن إدارة النفايات الصلبة هي قضية ملحّة، سيما وأن هناك مخاوف اجتماعية وصحية وجمالية ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالإدارة غير الكافية للنفايات، حيث تولّد النفايات الصلبة عند تخمُّرها كميات كبيرة من غازات الدفيئة التي تؤثر في تغير المناخ. كما يعد تلوث المياه والتربة، وإصدار الروائح الكريهة، وانتشار الأوبئة والأمراض من المخاوف المرتبطة وثيقاً بالإدارة غير البيئية للنفايات الصلبة.

على الرغم من تعدُّد الجهود المبذولة لمعالجة النفايات الصلبة، ينتهي المطاف بكميات كبيرة منها في مطامر النفايات، إذ تتطلب هذه الأخيرة مساحات كبيرة من الأراضي، إضافة إلى الأموال واليد العاملة لضمان التشغيل الناجح لها. لذلك تعد إدارة النفايات الصلبة معضلة على مستوى العالم، تسبب تبعات اقتصادية وبيئية تُلقي بظلالها على مجتمعاتنا، الأمر الذي يحتّم علينا الاهتمام بأمر الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة.

أصبحت إدارة النفايات الصلبة البلديّة (MSWM) وظيفة مركزية للبلديات في جميع أنحاء العالم. ووصلت أنظمة إدارة النفايات الصلبة البلديّة في معظم البلدان المتقدمة إلى مستويات عالية في تقديم الخدمة، وذلك قبل فترة طويلة من نهاية القرن العشرين، نتيجة عقود من التحسين منذ ظهور مشاكل إدارة النفايات الحقيقية في المراكز الحضرية[1]، وقد تبع تطوُّر هذه الأنظمة مسارات متشابهة إلى حد كبير عبر البلدان المتقدمة، مدفوعة في البداية بمخاوف الصحة العامة، تليها مكافحة التلوث، فيما ينصب التركيز حالياً على نهج الاقتصاد الدائري لتعزيز كفاءة الموارد المادية وحماية البيئة[2]، وعلى العكس من ذلك فإن أنظمة إدارة النفايات الصلبة البلدية لا زالت ضعيفة الأداء في معظم المدن، خاصة في البلدان ذات الدخل

المتوسط والمنخفض، إذ تتسبب في العديد من التأثيرات السلبية على الاستدامة، لا سيما في المدن سريعة التحضر[3].

لا وجود للتسلسل الواضح في البلدان النامية، التي تجابه في نفس الوقت العديد من العوامل المؤدية إلى حدوث تغييرات في أنظمة إدارة النفايات الصلبة البلديّة. وهذا يشير إلى «عبء مزدوج»، حيث لا المدن في البلدان النامية تتعامل مع قضايا إدارة النفايات الأساسية (مثل النفايات المنزلية)، في حين أنها تواجه تحديات جديدة في نفس الوقت (مثل النفايات الإلكترونية)[4]. وهناك مثال آخر على وجود اختلافات بين البلدان المتقدمة والنامية يتعلق بقطاع إعادة التدوير، والذي قد يكون في البلدان النامية مدفوعاً بشدة بالحاجة إلى توليد الدخل للشرائح الفقيرة في المجتمع[5]، بينما يطبق في الدول المتقدمة حفاظاً على الموارد الطبيعية.

ومع ذلك ونظراً لأن إدارة النفايات تعتبر بشكل متزايد حقاً أساسياً من حقوق الإنسان، فهناك ضغط متزايد لتحسين إدارة النفايات في مدن العالم النامي، وذلك للمساهمة - على الأقل - في تحقيق أهداف التنمية المستدامة (SDGs)، حيث ترتبط إدارة النفايات بإثني عشر هدفاً من الأهداف السبعة عشر للتنمية المستدامة[6].

1-2- تعريف النفايات

توجد عدة تعريفات للنفايات من وجهات نظر اقتصادية، وقانونية، وبيئية تنظيمية.

1-2-1- التعريف الاقتصادي للنفايات:

النفاية هي مادة أو شيء ذو قيمة معدومة أو سالبة بالنسبة لمالكه في لحظة معينة، وفي موقع معين، وللتخلص من هذه المادة يجب على مالكها دفع مبلغ لشخص أو مؤسسة مقابل التخلص منها، أو التخلص منها بعمل يقوم به هو بنفسه.

نستخدم صيغة المنفعة لوصف شيء ذي قيمة اقتصاديّة موجبة، أي للحصول عليه يلزم دفع مقابل مادي. وتفقد المنفعة قيمتها الاقتصاديّة مع الزمن. فالقيمة الاقتصاديّة للمواد الاستهلاكيّة تتناقص خلال أيام حسب مدة صلاحيتها، أما المنافع والتجهيزات المنزليّة فتتناقص قيمتها خلال سنوات.

عدا الزمان والمكان، تعد الكمية معياراً، فعدة أوراق قديمة في حاوية هي نفاية، أما طرداً أو بالةً من الأوراق القديمة المطبوعة والتي يطلبها شخص راغب بالحصول عليها هي ليست بنفاية، إنّها مادة أوليّة من الدرجة الثانية. ومثل هذا التعريف يمكن أن يحرّف المعايير والضوابط الخاصة بالنفايات.

1-2-2- التعريف القانوني للنفايات:

نميّز بين مفهوم شخصي ومفهوم موضوعي لتعريف النفاية، فحسب المفهوم الشخصي فإنّ المنفعة لا يمكن أن تصبح نفاية إلا إذا كان صاحبها لديه الرغبة بالتخلص منها، أما في حالة رمي هذه المنفعة على الرصيف، أو في موقع لرمي النفايات فمعنى ذلك أنّ مالك هذه المنفعة رغب بالتخلي عن حقّه فيها، فالأشياء الموضوعة على رصيف الطريق العام تعود إلى مالك هذا الطريق العام، أي البلديّة. لكن يمكن للمالك إعطاء هذه الأشياء إلى شخص ثالث، مثل حالة جمع الألبسة المستعملة، حيث المفهوم الشخصي للنفاية غير محدد تماماً.

وحسب المفهوم الموضوعي النفاية هي شيء يجب مراقبة إدارته بهدف حماية الصحة العامة والبيئة، بغض النظر عن رغبة مالك الشيء، وعن القيمة الاقتصاديّة لهذا الشيء. فالمنافع والأشياء القابلة للتدوير هي مواد أوليّة من الدرجة الثانية تدخل ضمن هذا التعريف الموضوعي للنفاية.

1-2-3- التعريف البيئي:

يتضمّن تعبير نفايات كل النفايات الصلبة، السائلة، الغازيّة، لكن هذا الخلط غير عملي، فقد تكون النفايات محددة ضمن مائع يقوم بتصريفها، والنفايات الصلبة أو الموضوعة ضمن وعاء لأنّها نفايات سائلة أو طمي.

وتشمل النفايات الممددة ضمن مائع:

- **مياه الصرف البلديّة ومياه الصرف الصناعيّة**: يسمح التمديد للنفايات بأن تنقل وتجر ضمن شبكة الصرف دون تشكيل رواسب.

- **الغازات والأدخنة**، والتي تطرح في الجو عن طريق مداخن أو علبة عوادم الإفلات إما بشكل مباشر، أو بعد معالجة.

يمكن تعريف النفايات الصلبة بشكل عام على أنها كتلة غير متجانسة من نفايات الأنشطة الإنسانية المنزلية والزراعية والتجارية والصناعية، أي كل المواد المتروكة أو المتخلى عنها كما هي في مكان ما (أي يرغب صاحبها بالتخلص منها لانتهاء الحاجة منها) حيث إن تركها كما هي يسيء إلى الصحة والسلامة العامة[7].

1-3- تصنيف النفايات(Classification of wastes)

لا يوجد تصنيف مثالي للنفايات بل توجد عدة طرائق لتصنيفها حسب عوامل عدة أهمها مصدر هذه النفايات، أو طبيعتها الكيميائية أو درجة خطورتها. فمن ناحية مصدر إنتاجها تقسم إلى نفايات بلدية، نفايات صناعية، نفايات زراعية.. إلخ. أو حسب درجة خطورتها حيث تقسم إلى نفايات غير خطرة ونفايات خطرة.[8]

ويبين الجدول (1-1)

تصنيفاً للنفايات الصلبة حسب مصدر النفايات

مصدر النفايات	وحدات الإنتاج	مكونات النفايات
منزلية	المنازل، الشقق، الفيلات، المساكن.	بقايا الطعام، وقمامة(ورق وزجاج ومواد بلاستيكية وغيرها).
تجارية	المخازن، المتاجر، المطاعم، الأسواق، المكاتب، المباني العامة، الفنادق...الخ.	بقايا الطعام، وقمامة ومواد التغليف.
الساحات العامة والمناطق المفتوحة	الحدائق والمنتزهات، مناطق الاستجمام والترفيه، الطرق والشوارع والأزقة، الملاعب، والساحات.	أوراق الشجر المتساقطة والأغصان والأتربة، ومخلفات المتنزهين من علب وأوراق وقوارير.. إلخ
صناعية	إنتاج، تصنيع، المصافي النفطية، محطات كيمائية، التعدين، قطع الأخشاب، محطات توليد الطاقة الحرارية، الهدم، إعادة البناء...الخ.	متبقيات مواد التصنيع الاولية، المنتجات التالفة رماد، أنقاض، ونفاية خطرة كالمذيبات العضوية.
زراعية	محاصيل حقلية، بساتين الفاكهة، ساحات الكروم، والحقول التجريبية، المزارع... الخ.	بقايا المحاصيل والتبن، مواد خطرة كبقايا المبيدات الزراعية.

أ النفايات المنزلية (Domestic waste)

يقصد بالنفايات المنزلية النفايات الناتجة عن أنشطة السكان في المنازل، وقد تشمل معه تلك الناتجة عن المطاعم وغيرها.

وتتكون النفايات المنزلية من جزء رطب وآخر جاف. يشمل الجزء الرطب مواد معروفة مثل نفايات المطابخ وعمليات تحضير الطعام الغنية بالبروتينات، والنشويات والسكريات...الخ. وقد تصل رطوبة النفايات الغذائية إلى أكثر من 70%، نتيجة لكثرة بقايا الخضراوات والفواكه. ومن خواص النفايات الغذائية قابليتها للتحلل الحيوي، وخاصة نفايات الفواكه خلال أشهر الصيف. بينما يشمل الجزء الجاف القمامة وما تحويه من ورق وزجاج ومواد بلاستيكية وغيرها. ولا تختلف المكونات النوعية للنفايات التجارية الناتجة عن المتاجر والمخازن كثيراً عن مكونات النفايات المنزلية، فيمكن إدارتهما معاً.

بما أن النفايات البلدية تحتوي على نسبة عالية من المواد العضوية القابلة للتحلُّل الحيوي وإصدار الروائح الكريهة، لذلك يجب التخلص منها بسرعة حتى لا تصبح وسطاً لتكاثر الحشرات الناقلة للأمراض، ومأوى للقوارض.

ب النفايات الصناعية (Industrial waste)

تتعدد الأنشطة الصناعية، وينتج عنها نفايات تختلف نوعيتها وكميتها باختلاف نوعية الصناعة وطريقة التصنيع. إذ يمكن للأساليب الصناعية المتطورة تخفيض كمية النفايات الناتجة عنها، وذلك عن طريق اللجوء إلى عملية إعادة الاستفادة من النفايات، وبالتالي التوفير في استهلاك الموارد والطاقة ورفع الجدوى الاقتصادية للصناعة.

تتشابه مكونات بعض النفايات الصناعية مع النفايات المنزلية، ويمكن بالتالي جمع هذه النفايات مع النفايات المنزلية دون تشكيل خطر على الصحة والسلامة العامة (مثال لذلك النفايات النسيجية والورقية)، أما النفايات الصناعية غير الشبيهة بالمنزلية فيجب جمعها ونقلها ومعالجتها منفصلة عن النفايات المنزلية. وتصنف نفايات معالجة مياه الصرف الصحي الحاوية على مواد عضوية وأخرى لا عضوية (الحمأة) مع النفايات الصناعية.

جـ النفايات الزراعية (Agriculture waste)

هي النفايات الناتجة عن كافة الأنشطة الزراعية النباتية منها والحيوانية. ومن أهمها نفايات الحصاد وجني المحاصيل الزراعية. وتختلف كمية النفايات حسب نوعية الزراعة والطريقة المتبعة في الإنتاج الزراعي، ففي الزراعة المكثفة intensive (Agriculture) التي تتبع في العديد من المناطق. يستغل كل متر مربع من التربة الزراعية أو حظيرة تربية الحيوانات لزيادة كمية الإنتاج النباتي والحيواني، مما يؤدي إلى إنتاج كميات كبيرة من النفايات التي قد تتطلب المعالجة.

د- **نفايات الساحات العامة والمناطق المفتوحة** (wastes of public squares and open areas Open Zones)

تنتج هذه النفايات من تنظيف الشوارع والساحات العامة، والمنتزهات، والملاعب، ومناطق الترفيه، والمناطق الحرة الأخرى. وتتكون من الأتربة والغبار، وأوراق الأشجار المتساقطة، والأغصان، وروث الحيوانات، وما يُلقى على قارعة الطريق من الكُناسة.

هـ. **النفايات الطبية** (Medical waste) :وهي النفايات الناتجة عن مؤسسات الرعاية الصحية.

و- **نفايات البناء والهدم** (Construction and demolition waste)

تنتج عن عمليات بناء وترميم وهدم المباني والبنى التحتية، والنسبة العظمى منها عبارة عن نفايات خاملة لا تسبب خطراً كبيراً على الصحة والسلامة العامة. ويمكن استخدام نفايات البناء والهدم غير الحاوية على مواد خطرة (كالاسبستوس وبقايا الدهانات الحاوية على مذيبات عضوية) في عمليات الردم المختلفة، وأشغال الطرق العامة، وتسوية المنحدرات على جوانب الطرق، كما يمكن استخدام نفايات الخرسانة وكسارة (شظايا) الحجارة كمواد حصوية في صناعة خرسانة جديدة، ومواد بناء أخرى[9]. إن تحديد أماكن التخلص من نفايات البناء والهدم مسؤولية المؤسسة المسؤولة عن ادارة النفايات الصلبة، ويجب عدم القائها دون تخطيط مسبق لذلك.

ز- النفايات التجارية (Commercial waste)

هي جميع النفايات البلدية الصلبة الصادرة عن مؤسسات تجارية مثل المخازن والأسواق، ومباني المكاتب والمطاعم ومراكز التسوق، ومراكز الترفيه.

وتصنف النفايات حسب الطبيعة الكيميائية إلى أربع فئات رئيسة:

أ- **نفايات عضوية:** التي تتكون من مواد عضوية (سكريات، بروتينات، قابلة للتحلُّل الحيوي ومذيبات عضوية مستهلكة صعبة التحلل الحيوي... وغيرها).

ب. **نفايات فلزية:** الخردة، حطام العربات.... الخ.

جـ. **نفايات بوليميرية (بلاستيكية):** تشمل النفايات المطاطية والمواد اللدنة (بولي فينيل كلورايد. والبولي ايتلين...)، وهي مواد صعبة التحلل الحيوي.

د. **نفايات لا عضوية:** تضم النفايات الزجاجية ورماد المراكز الحرارية لتوليد الطاقة وغيرها.

وتصنف النفايات الصلبة حسب درجة خطورتها إلى فئتين رئيسيتين:

أ- **نفايات عادية غير خطرة** (Ordinary Solid waste): ليست لها تأثيرات سمية على الأحياء والبيئة، وتشمل النفايات القابلة للتحلُّل الحيوي، والقمامة العادية كالورق والبلاستيك والزجاج... إلخ.

ب- **نفايات خطرة** (hazardous Solid waste): تحتوي هذه النفايات على عناصر أو مركبات تؤثر تأثيراً خطيراً أو مزمناً في صحة الإنسان وسلامة البيئة، ولها مقدرة على البقاء لدرجة كبيرة.

من أكثر النفايات الخطرة شيوعاً النفايات الطبية والنفايات الكهربائية والإلكترونية، وتُمثّل النفايات الخطرة مخاطر على صحة الإنسان، وغيره من الكائنات بسبب طبيعتها غير القابلة للتحلل الحيوي، أو لسُميتها، أو لإمكانية اشتعالها، أو

انفجارها، أو لتأثيراتها الإشعاعية، أو الكيميائية، أو البيولوجية الخطرة الضارة على البيئة المحيطة، أو لمشاكلها التراكمية المميتة، مما يستوجب إدارتها بطرق معينة، واستخدام تكنولوجيا ملائمة للتحكّم فيها، والسيطرة على مخاطرها بتحويلها إلى مركبات مفيدة أو خاملة أو حفظها الآمن، أو تغيير تراكيبها باستخدام التكنولوجيا والمعارف العالمية. وتُحدّد خطورة المادة عبر منظومة من الشروط والتقويم بمقاييس ومعايير محددة، مثل درجة السُمية، والسُمية النباتية(phytotoxicity)، والنشاط الجيني، والتركيز الحيوي وغيرها من المقاييس لمعرفة أثرها على البيئة، وصحة الإنسان، وممتلكاته.

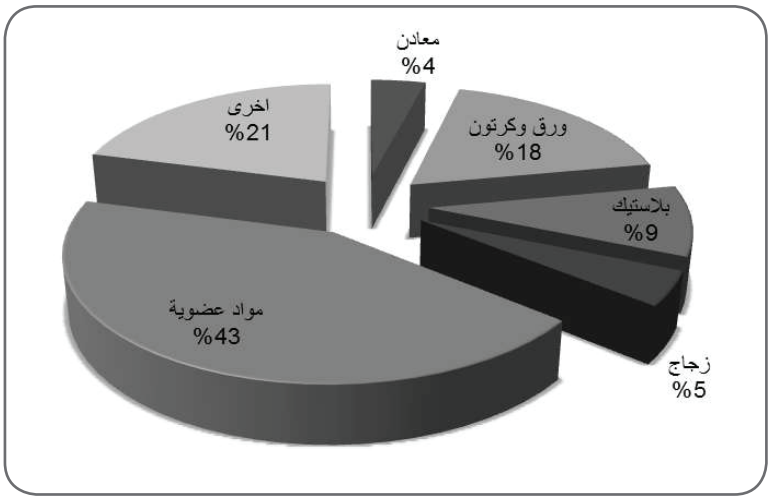
1-4- التركيب النوعي (المورفولوجي) للنفايات البلدية

التركيب المورفولوجي للنفايات البلدية هو تحديد النسب المئوية لكل مكون من مكونات النفايات (العضوية والورقية والبلاستيكية والمعدنية والزجاجية و«غيرها»[10]. وتعتمد تركيبة النفايات في أية بيئة حضرية على طائفة واسعة من العوامل، بما في ذلك مستوى التنمية الاقتصادية والموقع والمناخ والعادات الثقافية وأنماط الاستهلاك. وقد تتغير هذه التركيبة مع توسّع المناطق الحضرية والنمو في حجم السكان والاقتصاد.

على المستوى المتوسط العالمي، تعد النفايات العضوية القابلة للتحلل الحيوي (نفايات الأغذية) أكبر مكون وزناً للنفايات البلدية إذ تبلغ نسبتها 43% تليها نسبة نفايات الورق والكرتون، وفي المرتبة الثالثة نفايات البلاستيك، كما في الشكل (1-1) [10].

الشكـــل (1-1)

التركيب النوعي للنفايات البلدية على مستوى المتوسط العالمي

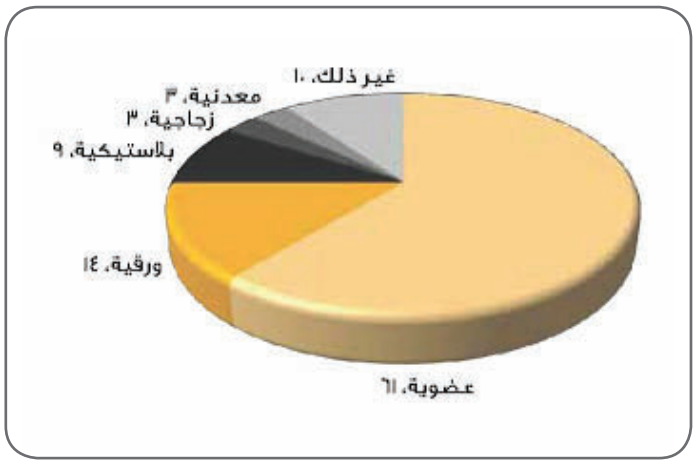


يعتمد جزء أكبر من النفايات الصلبة البلدية المصنفة على أنها «أخرى» على مصادر الوقود المحلية المستخدمة في الدولة، إذ ينتج عن الخشب والفحم جزءًا كبيرًا من المادة الخاملة (الرماد)، في حين أن الغاز يحتوي على كميات ضئيلة من المخلفات الصلبة.

في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، تتكون نحو 61 في المئة من النفايات المتولدة من مواد عضوية، وهي نسبة أعلى وزنا بكثير مقارنة بمناطق أخرى من العالم، يليها نفايات الورق، كما في الشكل (1-2)[11].

الشكل 1-2

النسب المئوية المتوسطة لمكونات النفايات البلدية في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا



يلاحظ في الدول المتقدمة صناعياً كدول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية ارتفاع نسبة نفايات الورق والكرتون، بينما في الدول غير المتقدمة صناعياً وذات الدخل المنخفض كدول القارة الافريقية ودول الشرق الأوسط وشمال افريقيا فتغلب لديها نسبة المادة العضوية القابلة للتحلل الحيوي على مكونات النفايات البلدية (وزناً)، كما يظهر في الجدول (1-2).[12]

الجدول 1 – 2:

التركيب المتوسط للنفايات الصلبة البلدية

حسب مناطق العالم (2012)

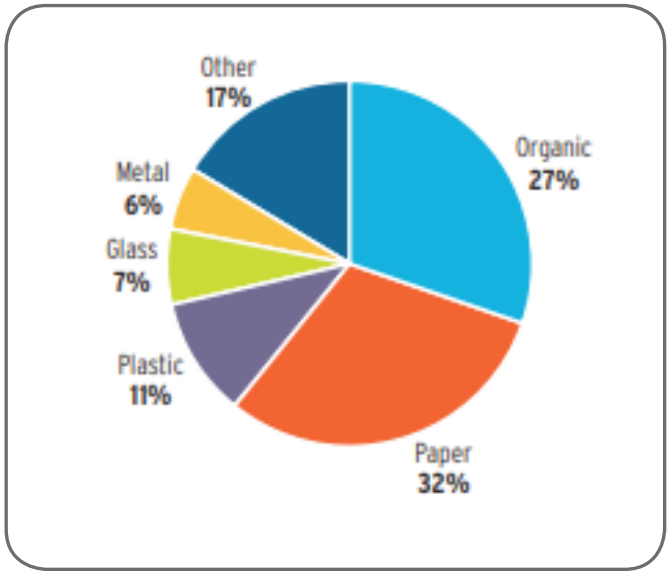
النوع / من إجمالي / المنطقة (%)	مواد عضوية	ورق وكرتون	بلاستيك	زجاج	معادن	أخرى
-افريقيا (عدا شمال أفريقيا)	57	9	13	4	4	13
-شرق آسيا والباسفك	62	10	13	3	2	10
-أوربا ووسط آسيا	47	14	8	7	5	19
-أمريكا اللاتينية والكاريبي	54	16	12	4	2	12
-الشرق الأوسط وشمال افريقيا	61	14	9	3	3	10
-منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية	27	32	11	7	6	17
–جنوب آسيا	50	4	7	1	1	37
من الإجمالي العالمي ٪	**46**	**17**	**10**	**5**	**4**	**18**

أما في الدول المتقدمة صناعياً فإن النسبة الوزنية لنفايات الورق والكرتون قد تزيد على نسبة النفايات العضوية (فضلات الطعام)، ويبين الشكل (1–3) زيادة نسبة الورق والكرتون على النفايات العضوية القابلة للتحلل الحيوي في الدول المتقدمة صناعياً.

الشكل 1 - 3

التركيب النوعي المتوسط للنفايات البلدية

في الدول المتقدمة صناعياً



وفي الدول العربية غير دول الخليج تشكل المواد العضوية أكثر من نصف مكونات النفايات البلدية، كما يظهر في الجدول (1-3)[13].

الجدول 1-3 :

التركيب النوعي للنفايات البلدية في عدد من الدول العربية

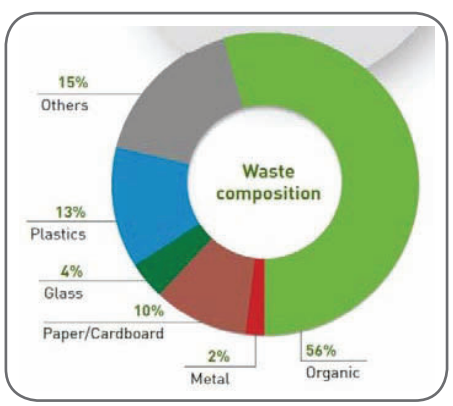
غير دول الخليج العربية

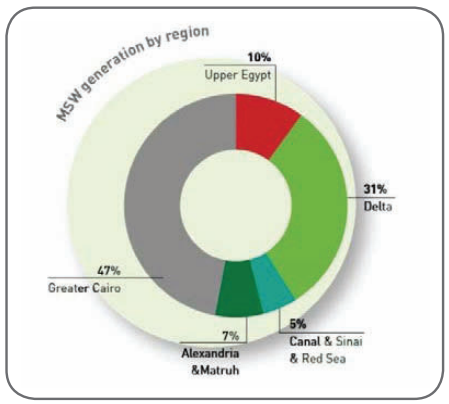
التركيب النوعي	الجزائر	المغرب	تونس	لبنان
مواد عضوية قابلة للتحلل	50%	68%	65%	61.7%
مواد بلاستيكية	13%	11%	10%	11.9%
أقمشة	-	-	-	11.3%
ورق وكرتون	17%	9%	8%	9.2%
معادن	6%	2%	1%	1.7%
زجاج	4%	2%	2%	1.3%
مواد أخرى	10%	8%	14%	2.9%

في مصر تمثل النفايات البلدية ما يقرب من 25% من النفايات الصلبة المنتجة في مصر. والوضع في القاهرة الكبرى حرج للغاية بسبب الكثافة السكانية العالية، وينتج عنها 47% من مجمل النفايات البلدية في مصر، الشكل (1-4 أ) [14].

وتبقى نسبة المادة العضوية غالبة بين مكونات النفايات البلدية في مصر، كما يظهر في الشكل (1-4 ب) [14].

الشكل 1-4:
(أ) النفايات البلدية الصلبة في مصر حسب المنطقة،
(ب) تكوين النفايات البلدية الصلبة في مصر



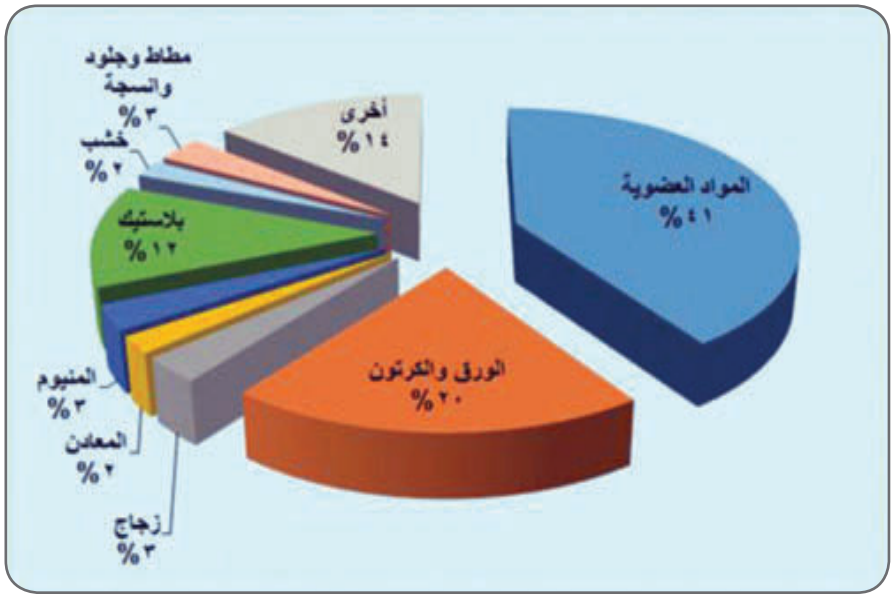


إن النسبة الوزنية للنفايات العضوية في المملكة العربية السعودية قريبة من النسبة المتوسطة على المستوى العالمي، تليها نسبة نفايات الورق والكرتون ثم نفايات البلاستيك، كما يظهر في الشكل (1-5) [15].

الشكل 1- 5:

التركيب النوعي المتوسط للنفايات البلدية

في المملكة العربية السعودية

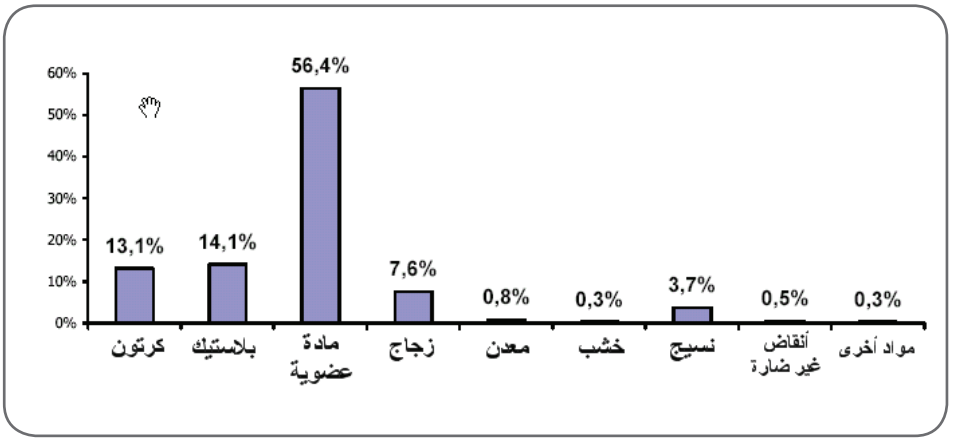


إن الكمية الوزنية للنفايات العضوية في المدن السورية ومنها مدينة حلب تتخطى نصف الكمية الاجمالية للنفايات البلدية، تليها كمية نفايات البلاستيك نتيجة لاستخدام الأدوات المنزلية والاكياس البلاستيكية بكثرة، ثم كمية الورق والكرتون، كما يظهر في الشكل (1-6).

الشكل 1-6:

النسب المئوية لمكونات النفايات المنزلية

في مدينة حلب



يتغير التركيب المورفولوجي للنفايات البلدية لتجمع سكاني بين فصل الشتاء والصيف، حيث يلاحظ زيادة نسبة الفضلات الغذائية في فصل الصيف الذي يعد موسماً للكثير من الخضروات والفواكه مثل البطيخ وغيره.

يبين الجدول (1-4)

التغير الفصلي لتركيب النفايات البلدية

في عدد من المدن العربية [16]

مكونات النفايات	نسبة الكتلة (%)		نسبة التغير للتركيب الشتوي (%)	
	التركيب الشتوي	التركيب الصيفي	تناقص	زيادة
فضلات غذائية	60	70	-	16.7
أوراق وكرتون	15	10	33.3	-
معادن	8	5	37.5	-
زجاج	6	4	33.3	-
نسيج	3	5	-	66.7
بلاستيك	4	2	50	-
نفايات أخـرى	4	4	-	-
المجموع	100	100		

بيد أن التغيرات في التركيب المورفولوجي للنفايات البلدية في مدن الدول النامية أكبر من التغيرات في تركيبها في الدول المتقدمة.

1-5-خواص النفايات الصلبة

يفيد تحديد خواص النفايات الصلبة (Properties of Solid Waste) بما فيه التركيب المورفولوجي في معرفة وتحديد ما يلي:

- معرفة المواد الخطرة والمؤذية التي قد توجد بالنفايات بغية فرزها والتخلص منها.
- تقدير كمية المواد العضوية القابلة للتحلل الحيوي لإنتاج الكمبوست أو الغاز الحيوي.
- معرفة المواد القابلة للترميد والحصول على الطاقة.
- تحديد الطرق والمخططات المثلى لعمليات جمع النفايات.
- تحديد أسلوب المعالجة الأنسب، وإمكانية الاستفادة المثلى من عناصرها.

تصعُب عملية تحديد مواصفات النفايات الصلبة، وخصوصاً البلدية منها، نظراً لاختلاف هذه المواصفات من بلد لآخر، ومن مدينة لأخرى، ولكثرة العوامل المؤثرة في خواص النفايات الصلبة، والتي تختلف من مجتمع لآخر، بل وضمن المجتمع الواحد، كما أنها تتباين مع الزمن.

يشمل تحديد مواصفات النفايات تحديد خواصها الفيزيو كيميائية (التحليل المتقارب، والتحليل للعناصر)، و الفيزيو مكانيكية (الكتلة الحجمية، والمسامية)، والجرثومية، والبيولوجية.

1-5-1 - الخواص الفيزيو كيميائية:

بداية تخضع النفايات للتحليل الآني، والذي نسميه التحليل المتقارب، ومن ثم تخضع بعد ذلك للتحليل النهائي، والذي نسميه التحليل العنصري[17].

أ-التحليل المتقارب للنفايات: يتم في هذا التحليل تحديد محتوى الرطوبة،

والكثافة، والمواد المتطايرة القابلة للاحتراق، والمواد غير القابلة للاحتراق، والقيمة الحرارية العظمى، والقيمة الحرارية الدنيا، وحجم حُبيبات النفايات.

1- **تحديد محتوى الرطوبة** (Estimation of the Moisture content)

يلزم معرفة محتوى الرطوبة للنفاية لتقدير قابليتها للرص، وتقدير إنتاج عصارة النفايات في المطمر ولتحديد كفاية الرطوبة لعملية التحويل إلى كومبوست، ولتحديد القيمة الحرارية الدنيا للنفايات[18].

يرتبط محتوى الرطوبة في النفايات ارتباطاً مباشراً بمحتواها من المواد القابلة للتحلل الحيوي. ويقدر الحد الأدنى لرطوبة النفايات في البلدان الصناعية بـ(20-35 %)، والحد الأعلى في البلدان النامية المنخفضة الدخل (40-80 %).

يتغير محتوى الرطوبة للنفايات من السلة إلى السيارة عبر الزمن. تحتوي الصحف والمطبوعات حوالي 7% محتوى رطوبياً بالوزن عند وضعها في الحاوية، غير أن محتوى الرطوبة لها يفوق 20% عند خروجها من سيارة النفايات. ويؤثر محتوى الرطوبة كثيراً عند التفكير في تحويل النفايات إلى محروقات مشتقة، أو عند ترميدها مباشرة.

يمكن إيجاد محتوى الرطوبة لعينة ما باتباع الخطوات الآتية:

توزن العينة كما أخذت (الوزن الرطب)، ويلزم أن يكون وزن العينة مناسباً اللازم للتأكد من أنها تمثل عينة سكانية population sample.

- تجفف العينة في الفرن لدرجة حرارة (105 ° م)، ويحدد وزن العينة بعد التجفيف.
- يتم حساب محتوى الرطوبة باستخدام العلاقة (1-1):

$$M_w = \frac{W_w - W_d}{w_w} \times 100 \quad (1-1)$$

حيث: Mw: المحتوى الرطوبي، (نسبة مئوية).

Ww : الوزن الأولي (بالحالة الرطبة) للعينة.

Wd : الوزن النهائي (بالحالة الجافة) للعينة.

ويمكننا ضمن تقريب مقبول اعتماد النسب المئوية لرطوبة مكونات النفايات الصلبة الواردة في الجدول (1-5).

الجدول 1-5:

محتوى الرطوبة لمكونات النفايات

المكـــــون	حدود محتوى الرطوبة (نسبة الرطوبة)٪	
	المـــدى	النموذجي(المتوسط)
أ) نفايات منزلية غير مرصوصة		
الكرتون	4 - 8	5
الورق	4 - 10	6
البلاستيك	1 - 4	2
المنسوجات	6 - 15	10
نفايات غذائية (خليط)	50 - 80	70
دقائق رماد (تراب وغيره)	6 - 12	8
المطاط	1 - 4	2
الجلود	8 - 12	10
الزجاج	1 - 4	2
نفايات حدائق وحشائش	30-80	60
أخشاب	15-40	20
علب القصدير	2-4	3
ألمنيوم	2-4	2
معادن أخرى	2-4	3
قمامة	5-20	15
ب) نفايات صلبة تجارية		
نفايات غذائية رطبة	50-80	70
أدوات	0-2	1
ج) نفايات صلبة تجارية مرصوصة		
بقايا الأشجار	20-80	50
قمامة قابلة للاحتراق	10-30	15
قمامة غير قابلة للاحتراق	5-15	10
أقفاص شحن خشبية وحراشف النباتات	10-30	20
قمامة(مزيج)	10-25	15

د) نفايات صلبة بلدية		
في حاويات الجمع	40 - 15	20
في حقول الطمر	40-15	25
هـ) نفايات البناء والهدم(أنقاض)		
نفايات هدم مخلوطة غير قابلة للاحتراق	10-2	4
نفايات هدم مخلوطة قابلة للاحتراق	15-4	8
نفايات إنشاء قابلة للاحتراق	15-4	8
بيتون مكسر	5-0	3
و) نفايات صناعية		
أوحال كيميائية رطبة	99-75	80
رماد متطاير	10-2	4
قطع جلد	15-6	10
خردة معدنية خليط	5-0	1
زيوت، قطران، إسمنت	5-0	2
نشارة خشب	40-10	20
خشب خليط	60-30	25
نفايات نسيجية	15-6	10
ز)نفايات زراعية		
نفايات زراعية خليط	-	-
نفايات فواكه(خليط)	90-60	75
نفايات خضروات(خليط)	90-60	75

2- كثافة المواد والكثافة الظاهرية(Bulk and material density)

تُعرّف الكثافة بأنها وزن وحدة الحجم، وتتم عملية تحديد الكثافة بوزن وقياس حجم عينة النفايات الصلبة في أماكن تجميعها قبل عملية الترحيل، وتفيد الكثافة الظاهرية لتقدير كمية النفايات في بعض الحالات، ولتقدير متطلبات مواد تغطية المطمر الصحي.

قيم كثافة النفايات الصلبة البلدية تختلف على نطاق واسع. عموماً، تميل النفايات إلى أن تكون ذات كثافة أقل في البلدان الصناعية مقارنة مع نفايات

البلدان النامية، بسبب غلبة المكونات بطيئة أو غير القابلة للتحلل الحيوي(No putrescible) مثل الورق والبلاستيك ومواد التعبئة والتغليف الأخرى.

الكثافة الاعتيادية للنفايات في أمريكا الشمالية أو أوروبا بين 100 و 150 كغ/ م ^{3}، بينما في جنوب شرق آسيا تقع الكثافات النموذجية في نقاط التجميع بين 250 و 450 كغ/م ^{3}. وتميل الكثافات إلى أن تكون أعلى في نقاط التجميع المجتمعية، بسبب الضغط الذاتي للنفايات.

للنفايات كثافة متغيرة جداً اعتماداً على الضغط المطبق، فمثلاً للنفايات المفككة كما تخلص منها المالك تكون الكثافة الظاهرية في حدود 100 إلى 150 كغ/ م^3، وعند دفعها في الحاوية قد تصل إلى 180 كغ/م ^{3}، وفي داخل سيارة النفايات حيث تُضغط النفايات تصل الكثافة إلى 350 كغ/م^3 و450 كغ/م^3، وعند وضعها في المكب ودمكها (رصها) بالآليات ترتفع الكثافة إلى 700 كغ/م^3، وقد تصل إلى 1000 كغ/ م^3 في منطقة الطمر الصحي جيدة الدمك والضغط.

إن وجود نسب كبيرة من نفايات الطعام، والحديد، يزيد من كثافة العينة. كما ترتبط كثافة العينة بطول مدة التخزين قبل الترحيل نتيجة إمكانية الارتصاص الذاتي للنفايات.

تقدر كثافة النفايات الصلبة المنزلية لبلدان شرق البحر الأبيض المتوسط بين 150 -360 كغ/م ^{3} تقريباً. ويمكن اعتماد معطيات كثافة مكونات النفايات المبينة في الجدول (1-6).

الجدول 1-6:

كثافة مكونات النفايات الصلبة.

المكون	حدود الكثافة Kg /m3 كغ/م3	
	المدى	النموذجية (المتوسطة)
أ) نفايات منزلية غير مرصوصة		
الكرتون	80-40	50
الورق	130-40	85
البلاستيك	130-40	65
المنسوجات	100-40	65
نفايات غذائية (خليط)	470-130	290
دقائق رماد (تراب وغيره)	830-650	740
المطاط	200-100	130
الجلود	260-100	160
الزجاج	480-160	195
نفايات حدائق وحشائش	225-55	100
الأخشاب	220-130	235
علب القصدير	160-50	85
ألمنيوم	240-65	160
معادن أخرى	1150-130	320
قمامة	1890-85	130
ب) نفايات صلبة تجارية		
نفايات غذائية رطبة	950-470	540
أدوات	200-150	180
ج) نفايات صلبة تجارية مرصوصة		
بقايا الأشجار	180-100	150
قمامة قابلة للاحتراق	180-50	115
قمامة غير قابلة للاحتراق	360-180	300
أقفاص شحن خشبية وحراشف النباتات	160-105	105
قمامة (مزيج)	180-140	160

د) نفايات صلبة بلدية		
في حاويات الجمع	450-175	295

في حقول الردم (رص عادي)	495-360	450
في حقول الردم (رص ممتاز)	740-590	600
هـ) نفايات بناء وهدم (أنقاض)		
نفايات هدم مخلوطة غير قابلة للاحتراق	2595-1000	1420
نفايات هدم مخلوطة قابلة للاحتراق	400-300	355
نفايات إنشاء قابلة للاحتراق	255-180	260
بيتون مكسر	1800-1195	1530
و) نفايات صناعية		
أوحال كيميائية رطبة	1100-800	1000
رماد متطاير	895-700	800
قطع جلد	250-100	160
خردة معدنية ثقيلة	2000-1500	1780
خردة معدنية خفيفة	495-735	735
خردة معدنية (خليط)	1500-700	895
زيوت، قطران، اسفلت	1000-800	945
نشارة خشب	350-100	290
خشب خليط	675-400	495
نفايات نسيجية	215-100	180
ي) نفايات زراعية		
نفايات زراعية خليط	750-400	355
حيوانات ميتة	495-200	355
نفايات فواكه خليط	750-245	1000
نفايات خضراوات خليط	700-200	355

3 - المواد العضوية المتطايرة (Volatile solids)

وهي فقدان إضافي لمادة النفايات الصلبة بعد عملية التجفيف، يتم الفقدان عند الاشتعال وذلك بسحق المادة الجافة، ثم وضعها بفرن بدرجة حرارة (°550 م) لمدة 4 ساعات. يُمثل الفاقد في الوزن تلك المواد العضوية المتطايرة.

ب- التحليل العنصري للنفايات:

التحليل العنصري الشامل للنفايات(Ultimate analysis) يعطي النسب

الوزنية للعناصر الكيميائية الأساسية لعينة النفايات، وهذا التحليل دقيق وطويل ويتم في مختبرات/معامل متخصصة.

تحدد تركيزات العناصر القابلة للاحتراق كالهيدروجين، والكربون، ويحدد تركيز النتروجين، والكبريت، وكذلك تركيز الفوسفور والبوتاسيوم اللذين يعطيان فكرة عن القيمة الزراعية للنفايات. أمّا تركيزات المعادن الثقيلة فتُحدد خطورة هذه النفايات على الوسط المحيط، وعدم قابليتها للمعالجة بالطرق الحيوية.

يدل التحليل العنصري للنفايات على طريقة المعالجة الملائمة. فمثلاً يتم التركيز على تركيز الفوسفور والبوتاسيوم ونسبة الكربون إلى النتروجين C/N، يضاف إليها قيمة pH النفايات في حالات اقتراح طريقة التحويل إلى محسنات تربة (كومبوست)، وعلى نسبة الكربون والهيدروجين في حالة الترميد.

ويبين الجدول (1-7) التحليل الكيميائي العنصري العام للنفايات الصلبة البلدية (General Chemical Analysis of Solid Waste).

وتفيد معرفة المكونات الكيميائية(Chemical composition) للنفايات في اقتصاديات استعادة المواد أو الطاقة. ومن الملاحظ التباين والتغير الواسع في المكونات الكيمائية للنفاية بسبب طبيعتها غير المتجانسة والتغيرات الجغرافية والزمنية.

الجدول 1-7:

بيانات نموذجية للتحليل العنصري لمكونات النفايات البلدية

المكون	النسب المئوية بالكتلة الجافة					
	الكربون C	الهيدروجين H	الأكسجين O	النتروجين N	الكبريت S	الرماد
بقايا الطعام	48	6.4	37.6	2.6	0.4	5
الورق	43.5	6	44	0.3	0.2	6
الكرتون	44	5.9	44.6	0.3	0.2	5
البلاستيك	60	7.2	22.8	-	-	10
المنسوجات	55	6.6	31.2	4.6	0.15	2.5
المطاط	78.5	10	-	2	-	10
الجلود	60	8	11.6	10	0.4	10
تشذيبات الحديقة	47.5	6	38	3.4	0.3	4.5
الأخشاب	49.5	6	42.7	0.2	0.1	1.5
خليط المواد العضوية	48.5	6.5	37.5	2.2	0.3	5
الأوساخ والرماد والطوب...الخ	26.5	3	2	0.5	0.2	68

محتوى الطاقة ونسبة المادة الخاملة (الرماد):

محتوى الطاقة (Energy Content) هو قيمة الطاقة التي يمكن استخلاصها من كيلو غرام واحد من النفايات أثناء الحرق، وتقاس بالكيلو جول على الكيلوغرام kj/kg، وتقدر بالمسعر الحراري calorimeter حيث تحرق النفايات وتسجل الزيادة في درجة الحرارة وبمعرفة كتلة العينة والحرارة المنتجة من الاحتراق تحسب القيمة الحرارية calorific value ويمكن الاستفادة من الطاقة الناتجة عن حرق النفايات. ومن الواضح أن تكون للنفايات القابلة للاحتراق (الجزء العضوي) طاقة أكبر بكثير من تلك التي تُصنّف بأنها غير قابلة للاحتراق كالزجاج والرمال... الخ، وتفيد معرفة القيمة الحرارية للنفايات في استعادة الطاقة. ويبين الجدول (1-8) محتوى الطاقة (الأدنى، الأعلى، النموذجي) التي يعطيها كل كيلو غرام من عينة النفايات الصلبة المنزلية بحالتها الطبيعية.

الجدول 1-8:

محتوى الطاقة لمكونات النفايات البلدية

(الحد الأدنى، الأعلى، النموذجي).

المكون	الحد الأدنى (Kj/Kg)	الحد الأعلى (Kj/Kg)	الحد النموذجي المتوسط (Kj/Kg)
١-عناصر عضوية			
بقايا طعام	3450	6950	4650
الورق	11600	18600	16750
الكرتون	14000	17500	16300
البلاستيك	28000	37200	32300
المنسوجات	15000	18600	17500
المطاط	21000	28000	23500
الجلود	15100	19800	17500
تشذيبات(بقايا) الحدائق	2300	18600	6500
الاخشاب	17540	19800	18600
٢-عناصر غير عضوية			
الزجاج	100	250	150
علب القصدير	250	1200	700
معادن غير حديدية	250	1200	700
الحديد	250	1200	700
أسلاك ، رماد ، آجر	2300	11650	7000
النفايات البلدية عموماً	9300	13950	11600

ويبين الجدول (1-9)، النسب المئوية للمادة الخاملة بعد الحرق (الحد الأدنى، الأعلى، النموذجي).

الجدول 1-9:

النسب المئوية للمادة الخاملة بعد الحرق (الرماد)

المكون	الحد الادنى	الحد الأعلى	الحد النموذجي(المتوسط)
١- عناصر عضوية			
بقايا طعام	2	8	5
الورق	4	8	6
الكرتون	3	6	5
البلاستيك	6	20	10
المنسوجات	2	4	2.5
المطاط	8	20	10
الجلود	8	20	10
تشذيبات(بقايا) الحدائق	2	6	4.5
الاخشاب	0.6	2	1.5
٢- عناصر غير عضوية			
الزجاج	96	99	98
علب القصدير	96	99	98
معادن غير حديدية	90	99	96
الحديد	92	98	96
أسلاك ،رماد ،أجر	94	99	98
النفايات البلدية عموماً	60	80	70

ويمكن معرفة الطاقة الناتجة عن كل كيلو غرام من عينة النفايات بعد وصولها إلى الجفاف أي مطروحاً منها نسبة الرطوبة، بتطبيق العلاقة (1-2):

$$E_d = E \times \frac{100}{100 - W\%} \qquad (2-1)$$

حيث:

E : محتوى الطاقة في العينة الطبيعية الرطبة، بـ (Kj/Kg).

Ed : محتوى الطاقة في العينة الجافة، بـ (Kj/Kg).

W% : النسبة المئوية للرطوبة.

ويمكن معرفة مقدار الطاقة الناتجة عن كل كيلو غرام من عينة النفايات بعد احتراقها بطرح نسبة الرطوبة W والرماد S من العينة بتطبيق العلاقة (1-3):

$$E_d = E \times \frac{100}{100 - W\% - S\%} \qquad (3-1)$$

Ed : محتوى الطاقة في العينة بعد الاحتراق، بـ (Kj/Kg).

S : النسبة المئوية للباقي بعد الاحتراق (الرماد).

وعندما يكون من المتعذر الحصول على محتوى الطاقة من كتلة النفايات، فيمكن تقدير قيم الطاقة للنفاية باستخدام معادلة دولونغ Dulong بالاستفادة من القيم الموجودة في الجدول (5-8)، وبتطبيق العلاقة (1-4):

$$E = 337\,C + 1428\left(H - \frac{O}{8}\right) + 95\,S \qquad (4-1)$$

حيث:

E : محتوى الطاقة بالكيلو جول لكل كيلو غرام من النفايات من الكربون، $\frac{KJ}{kg}$

C : مقدار ما يحتويه كيلو غرام نفايات من الكربون، (%).

H : مقدار ما يحتويه كيلو غرام نفايات من الهيدروجين، (%).

O : مقدار ما يحتويه كيلو غرام نفايات من الأكسجين، (%).

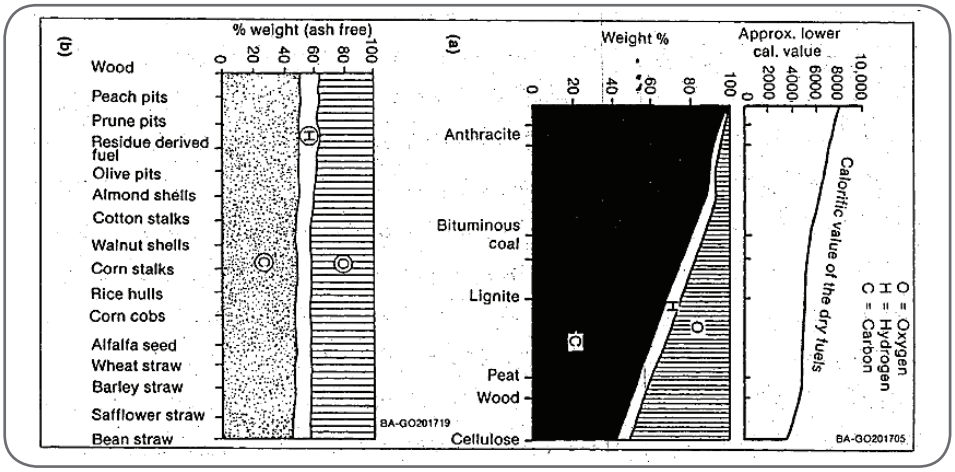
S : مقدار ما يحتويه كيلو غرام نفايات من الكبريت، (%).

ويبين الشكل (1-7) محتوى الطاقة ونسبة المادة الخاملة (الرماد) في عدد من مكونات النفايات.

الشكل 1 - 7:

محتوى الطاقة ونسبة المادة الخاملة (الرماد)

في عدد من المواد



1-5-2- الخواص الفيزيو ميكانيكية

إن معرفة حجم الجسيمات (التركيب الحبي Particle size) للنفايات يفيد في تحديد التكنولوجيا الأفضل لجمع النفايات ولمعرفة أبعاد الحاويات والسيارات الملائمة لترحيلها وتحديد استعادة المواد، خاصة عند استخدام طرق ميكانيكية للاستعادة مثل المناخل والغرابيل والفارزات المغناطيسية.

متوسط حجم الجسيمات للنفايات الصلبة في الدول النامية يميل إلى أن يكون أصغر بشكل ملحوظ من متوسط حجم الجسيمات في البلدان المتقدمة صناعياً. هذا يعني، على سبيل المثال، أن العديد من الأساليب والطرق الآلية لاستعادة الموارد من الدول المتقدمة التي تعتمد على تخفيض الحجم كخطوة أولية، غالبا ما تكون غير مناسبة للبلدان النامية.

ويؤثر حجم حُبيبات النفايات الداخلة للمطمر الصحي على التعامل معها ولمعرفة المناخل والفرامات والفارزات اللازمة في مصانع معالجة النفايات الصلبة. ولتعيين أبعاد الحبيبات تنخل عينة متوسطة من النفايات على مناخل قد تكون بقياسات (4080،.. 120، 250، 350) ملم ، حيث يحدد التركيب النوعي المحجوز

على كل منخل. وتتصف النفايات الجافة صعبة التحلل الحيوي (وخاصة البلاستيك والنسيج) بكبر ابعادها (تزيد أبعادها على 80 ملم) مقارنة مع النفايات الرطبة (النفايات الغذائية).

ويمكن تصنيف النفايات حسب أبعاد الحبيبات إلى عدة مجموعات، كما يظهر في الجدول (1-10)

الجدول 1 - 10:

تصنيف النفايات حسب حجم الحبيبات

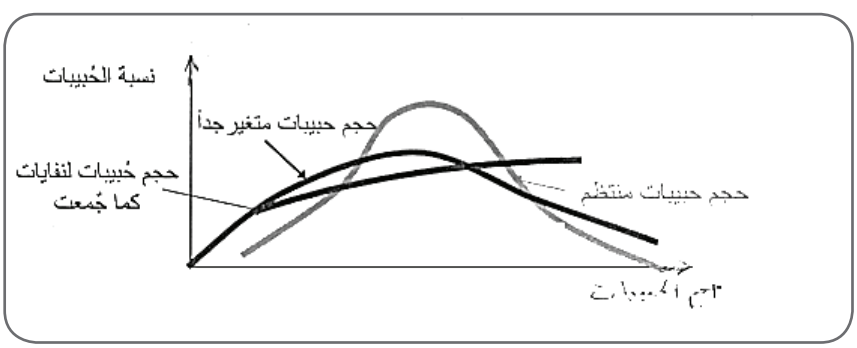
المجموعة	التصنيف	الحجم (ملم)
الأولى	نفاية صغيرة الحجم	أقل من 8
الثانية	نفاية متوسطة الحجم	8 إلى 40
الثالثة	نفاية خشنة	40 إلى 120
الرابعة	متبقي المصفاة	أكبر من 120

يصعب تحديد أبعاد حبيبات النفايات بسبب الشكل غير المنتظم للحُبيبات، ولوجود أنواع وأحجام مختلفة منها في الخليط. ولدواعي الإدارة الجيدة للنفايات فمن المهم معرفة تغير نسبة الحبيبات بالعدد أو الوزن مع حجمها كما مبين في الشكل (1-8).

يُعتمد في حجم الحُبيبات على حجم الحُبيبات المتوسط للخليط average particle size والذي يعرف على أنه قطر المنخل الذي يمرر (50%) وزناً من الحُبيبات.

الشكل (1-8):

منحني توزيع حجم الحبيبات



للكتلة الحجمية ومسامية النفايات تأثير في أسلوب تحلل النفايات بيولوجياً، فالنفايات التي كتلتها الحجمية أدنى من 350 كغ/م ^{3} تسمح بدخول كمية كافية من الهواء إلى كتلة النفايات فيسيطر في هذه الحالة التحلل الهوائي، أما النفايات ذات الكتلة الحجمية الأعلى من 500 كغ/م ^{3} وذات المسامية الضعيفة فتصلها كمية ضئيلة نسبياً من الهواء، وبالتالي يسيطر التحلل اللاهوائي. كما تحدد الكتلة الحجمية والمسامية قابلية النفايات للرص، بشكل خاص عند التخلص من النفايات بطريقة الطمر الصحي.

ومن المفيد تحديد زاوية الاستقرار (Angle of repose) التي هي الزاوية مع الأفقي التي تجعل المواد مكوّمة ومرصوصة دون أن تنزلق. للرمل زاوية استقرار 35 درجة اعتماداً على المحتوى الرطوبي. تتراوح هذه الزاوية بين 45 درجة إلى أعلى من 90 درجة للنفايات اعتماداً على تغيرات الكثافة الظاهرية، وحجم الحُبيبات، والمحتوى الرطوبي.

(مثال) (1-1):

إذا كان لدينا عينة من النفايات البلدية الصلبة تحوي المكونات المبينة في الجدول (1-11). المطلوب:

1 - حساب الوزن الجاف، ومحتوى الرطوبة للعينة، باعتبار وزن العينة الرطبة 100 كغ؟

2- حساب كثافة العينة باعتبار وزن العينة 1000 كغ؟

الجدول 1-11: مكونات عينة نفايات صلبة

العنصر	النسبة
فضلات طعام	%20
ورق	%40
كرتون	%15
بلاستيك	%10
بقايا حدائق	%5
أخشاب	%5
علب قصدير	%5

الحـــل

- ننشئ جدولاً حسابياً (1-12) لتحديد كل من: الوزن الجاف للعينة، والكثافة، بالاعتماد على الجداول (1-6) و(1 - 5).

الجدول 1- 12:

تحديد الوزن الجاف والكثافة للعينة

المكون	النسبة ٪	الرطوبة% من الجدول (1-6)	وزن جاف Kg	وزن العنصر رطب (kg)	الكثافة من الجدول (1-7)	الحجم (m3)
1	2	3	4	5	6	7
فضلات طعام	20	70	6	200	290	0.69
ورق	40	6	37.6	400	85	4.71
كرتون	15	5	14.25	150	50	3
بلاستيك	10	2	9.8	100	65	1.53
بقايا حدائق	5	60	2	50	100	0.5
أخشاب	5	20	4	50	235	0.21
علب قصدير	5	3	4.85	50	85	0.59
المجموع	100		78.5	1000	-	11.23

1- حساب الوزن الجاف للعينة:

الوزن الجاف لكل مكون في العينة (القيمة في العمود 4) = النسبة (القيمة في العمود 2) [الرطوبة % (القيمة في العمود 3) × النسبة (القيمة في العمود 2) مقسوماً على 100]

الوزن الجاف للعينة = مجموع الأوزان الجافة للمكونات (مجموع القيم في العمود 4)

الوزن الجاف للعينة = 78.5 كغ

حساب محتوى الرطوبة (الرطوبة النسبية) في العينة: باستخدام العلاقة (1-1):

$$M_w = \frac{W_w - W_d}{W_w} \times 100$$

$$M_w = \frac{100 - 78.5}{100} \times 100 = 21.5\%$$

2 - حساب الكثافة الكلية للعينة:

الحجم لكل مكون في العينة (القيمة في العمود 7) = [وزن العنصر الرطب (القيمة في العمود 5) مقسوماً على الكثافة (القيمة في العمود 6)]

الحجم الكلي للعينة = مجموع الحجوم للمكونات (مجموع القيم في العمود 7)

الحجم الكلي للعينة = 11.23 م^3

الكثافة الكلية للعينة = الوزن الكلي (كغ)÷ الحجم الكلي (م^3)

الكثافة الكلية للعينة =1000 ÷ 11.23 = 89.05 كغ/ م^3

(مثال) (1-2):

اذا كان لدينا عينة من النفايات المنزلية الصلبة لها نفس المكونات المبينة في الجدول (1-12) السابق.

المطلوب:

حساب محتوى الطاقة، للعينة الرطبة، فالجافة، ومقدار الطاقة الناتجة حتى الوصول إلى الرماد، وذلك بفرض نسبة المادة الخاملة (الرماد) 5% من الكتلة العامة؟

الحـــل:

ننشئ جدولاً حسابياً (1-13) لتحديد محتوى الطاقة، بالاعتماد على الجدول(1-8).

الجدول 1-13:

تحديد محتوى الطاقة

المكون	النسبة٪	الطاقة من الجدول (1-9) Kj/kg	إجمالي الطاقة Kj
1	2	8	9
فضلات طعام	20	4650	93000
ورق	40	16750	670000
كرتون	15	16300	244500
بلاستيك	10	32300	323000
بقايا حدائق	5	6500	32500
أخشاب	5	18600	93000
علب قصدير	5	700	3500
المجموع	100		1459500

محتوى الطاقة لكل مكون في العينة (القيمة في العمود 9) = النسبة (القيمة في العمود 2)× الطاقة (القيمة في العمود 8)

إجمالي الطاقة = مجموع الطاقة للمكونات (مجموع القيم في العمود 9)

نحسب محتوى الطاقة في العينة بالكيلو جول لكل كيلو غرام:

$$E = \frac{1459500}{100}\frac{kj}{kg} = 14595\ kj/kg$$

نحسب محتوى الطاقة في كيلو غرام من العينة بالحالة الجافة بالكيلو جول باستخدام العلاقة:

$$E_d = E \times \frac{100}{100 - W\%}$$

$$\mathrm{E_d} = 14595 \times \frac{100}{100 - 21.5} = 18592\ \mathrm{kj/kg}$$

نحسب مقدار الطاقة الناتجة عن كل كيلو غرام من عينة النفايات بعد احتراقها بطرح قيمة الرطوبة W والرماد S من العينة حسب العلاقة:

$$E_d = E \times \frac{100}{100 - W\% - S\%}$$

$$E_d = 14595 \times \frac{100}{100 - 21.5 - 5} = 19857$$

(مثال) (1-3):

بين التحليل التقريبي أن نفايات بلدية كتلتها 500كغ تحتوي على التركيب الوسطي التالي:

رطوبة 110 kg مواد غير قابلة للاحتراق (رماد) 31 kg بينما أظهر التحليل العنصري التكوين الوسطي التالي:

كربون 175 kg، هيدروجين حر 23 kg، أكسجين حر 150 kg، نتروجين 3 kg ، كبريت 0،5 kg والمطلوب:

تحديد الصيغة الكيميائية التقريبية باعتبار وجود الكبريت ثم بإهمال وجود الكبريت.

الحل:

تلخص نتائج التحليل بالجدول التالي:

العنصر	رطوبة	كربون	هيدروجين حر	أكسجين حر	نتروجين	كبريت	رماد
الكتلة Kg	110	175	23	150	3,0	0,5	31

لتحويل الرطوبة في النفايات إلى عنصريها الهيدروجين والأكسجين

$$H_2O \quad 4 \quad H_2 + 1/2\ O_2$$

18 2 16

110 x y

كتلة الهيدروجين المرتبط بالماء $x = \frac{110 \times 2}{18} = 12,2\ Kg$

كتلة الأكسجين المرتبط بالماء $y = \frac{110 \times 16}{18} = 97,8Kg$

لنعزل كتلة الهيدروجين والأكسجين من كتلة النفايات البلدية بعد إضافة كتلة الأكسجين والهيدروجين المرتبطين بالماء:

$H = 12,2 + 23,0 = 35,2\ Kg$

$O = 97,8 + 150 = 247,8\ Kg$

فيكون مجموع كتل العناصر الجزئية

$H + O + C + N + S + Cendre$

$35,2 + 247,8 + 175,0 + 3,0 + 0,5 + 31,0 = 492,5\ Kg$

لكن بما أن الكتلة الإجمالية للنفاية البلدية 500 Kg لذلك تصبح كتلة كل عنصر من الكتلة العامة للنفايات كما يلي:

العنصر	كربون	هيدروجين حر	أكسجين حر	نتروجين	كبريت	رماد
كتلة العنصر في الكتلة العامة Kg	177,5	35,9	251,3	3,05	0,51	31,5

لنحسب عدد الجزيئات لكل عنصر كيميائي في النفاية البلدية كما يلي:

العنصر	كربون	هيدروجين حر	أكسجين	نتروجين	كبريت
الكتلة Kg	177,5	35,9	251,3	3,05	0,51
الكتلة الجزيئية g	12,01	1,01	16	14,01	32,06
عدد الجزيئات $\times 10^{-3}$	14,78	35,8	15,7	0,22	0,016
نسبة الجزيئات إلى الكبريت	892	2237	981	13,8	1,0
نسب الجزيئات إلى النتروجين بإهمال وجود الكبريت	67,2	162,7	71,4	1	

- فتكون الصيغة الكيميائية التقريبية للنفاية باعتبار وجود الكبريت

$C\ 892H\ 2237O\ 981N\ 13,8S$

- أما بإهمال وجود الكبريت فتصبح الصيغة الكيميائية التقريبية

$C_{67,2}H_{162,2}O_{71,4}N$

1-5-3- الخواص الجرثومية (البكتريولوجية) للنفايات الصلبة
Bacteriological (bacterial) Properties of Solid Wastes

تعد النفايات وسطاً مناسباً لتكاثر عدد هائل من الميكروبات بعضها ممرضة[19]، كالعصيات التيفية والباراتيفية (نظيرة التيفية)، والمتحولات الزحارية، والكوليرا....إلخ، فضلاً عن بيوض الديدان المعوية، والإسكاريس...إلخ، وكذلك تُعد مكاناً لنمو عدد كبير من الذباب والبعوض والحشرات... إلخ، ويبين الجدول (1-14) ظروف حياة بعض الميكروبات الممرضة.

الجدول 1 - 14:

ظروف حياة بعض الميكروبات الممرضة

الميكروبات الممرضة	مدة المحافظة على نشاطها ضمن النفايات الصلبة، (يوم)	مدة المحافظة على نشاطها في درجة حرارة معينة	
		درجة الحرارة (م°)	المدة، دقيقة
العصيات التيفية	110-4	60-55	30-5
العصيات الباراتيفية (نظائر التيفية)	136-24	60	20-15
المتحولات الزحارية	40-10	55	60
الميكروبات المسببة للكوليرا	1	50	60-30

ويبين الجدول (1-16) تفصيل حياة الحشرات المنزلية الشائعة من مرحلة البيضة، وحتى مرحلة الحشرات البالغة. ويظهر الجدول السابق إمكانية نمو الحشرات خلال مدة تقل عن أسبوعين اعتباراً من مرحلة وضع البيضة.

الجدول 1-15:

تفاصيل حياة الحشرات المنزلية الشائعة

الزمن (ساعة)	Stage	المرحلة
12-8	Eggs Develop	مراحل نمو البيضة
20	First Stage Of Larval Period	الطور الأول من مرحلة اليرقة
24	Second Stage Of Larval Period	الطور الثاني من مرحلة اليرقة
72	Third Stage Of Larval Period	الطور الثالث من مرحلة اليرقة
120-96	Pupal Stage	مرحلة العذراء
264-216	Total Period	المدة الكلية

1-5-4- **قابلية التحلل البيولوجي للنفايات** Biological Properties of Solid Wastes

يصنف الجزء العضوي لأغلب النفايات الصلبة البلدية (باستثناء البلاستيك، والمطاط، والجلد) إلى:

1- **عناصر قابلة للانحلال/الذوبان في الماء كالسكريات** والنشويات، والأحماض الأمينية، ومختلف الأحماض العضوية.

2- **الهيميسيليلوز**: وهو عبارة عن تكاثف منتجات السكر خماسي وسداسي الكربون.

3- **السيلولوز**: وهو عبارة عن تكاثف منتجات سكر الغلوكوز سداسي الكربون.

4- **الدهون والزيوت**: وهي سلاسل طويلة للأحماض الدهنية.

5- **الليغنين والمواد الحاوية على الحلقات العضوية** مع رمز الميتوكسيل (-OCH3)، وتوجد هذه المواد في بعض المنتجات الورقية وألواح الالياف.

6- **السيلولوز الليغنيني**: وهي مركبات اتحاد السيلولوز والليغنين.

7- **البروتينات**: وهي مركبات من سلاسل الأحماض الأمينية.

ومن أهم الخصائص البيولوجية للجزء العضوي من النفايات الصلبة البلدية هي إمكانية التحلل الحيوي لمعظم العناصر العضوية الموجودة في هذه النفايات إلى غاز حيوي وعضويات خاملة نسبياً ولاعضويات صلبة[20].

ومن أهم الخصائص الحيوية: النشاط التنفسي، ومقدرة إنتاج الغاز. عموماً فإن 40 – 60% من النفايات البلدية سهلة التحلل الحيوي، مما يستوجب التفكير في أطر المعالجة للمواد غير القابلة للتحلل الحيوي للتخلص منها بطريقة مناسبة، أو باستخدامها الأمثل لزيادة الفائدة منها.

1-5-5- خواص أخرى

مثل تحديد سمية النفايات تجاه الأحياء الدقيقة (تركيز الكلور والكبريت وغيرهما) وتحديد عدوانية النفايات السائلة تجاه المنشآت والنشاط الإشعاعي – إن وجد.

الفصل الثاني

تأثيرات النفايات الصلبة

تشوّه النفايات الصلبة المتراكمة مظهر المدينة أو البلدة، وتسيء إلى نفسية الإنسان، وتدفع الناس للعزوف عن سكن المناطق التي لايُعتنى فيها بجمع ونقل النفايات البلدية، ويؤدي ذلك إلى انخفاض أسعار الأراضي والعقارات في هذه المناطق، كما يؤدي للإضرار بصناعة السياحة.

2-1- التأثيرات البيئية والصحية للنفايات الصلبة

تعتمد التأثيرات البيئية والصحية للنفايات على أصنافها وحجمها وأسلوب التعامل معها. حيث تنتج النسبة الأعظم من الغازات الدفيئة عند معالجة النفايات الصلبة، وتختلف وفقاً لأساليب التعامل معها. أما عملية جمع النفايات الصلبة البلدية وفرزها فلا يرافقها إصدار كمية كبيرة من الغازات الدفيئة، وكذلك عملية النقل مادامت مسافات النقل غير كبيرة .

وينتج عن تحلُّل النفايات المطروحة في المكبات أو المطامر غازات تلوث الغلاف الجوي، وعلى رأس هذه الغازات غاز الميثان الذي يعتبر من أهم الغازات المسببة للاحتباس الحراري، فمن المعروف أن لغاز الميثان تأثير كبير في ظاهرة الاحتباس الحراري[21]، وتأثير وحدة الكتلة من غاز الميثان يعادل إثنان وعشرين مرة تأثير وحدة الكتلة من غاز ثاني أكسيد الكربون.

يعد التخلص من النفايات عن طريق المطامر غير المدارة بشكل سليم تلويثاً للبيئة الطبيعية والهواء والمياه والتربة[23]، كما يظهر في الشكل (2-1).

الشكل 2-1:

التأثيرات البيئية لمطامر النفايات غير المدارة بشكل سليم.

تُعد المطامر التي لا يتم فيها استرجاع الغازات الناتجة عن تحلل النفايات، أو استرجاع الطاقة من غازات العادم من حرق النفايات من أسوأ الإجراءات في إدارة النفايات تجاه تغير المناخ العالمي. وتنتج ستة وثلاثون بالمائة من إطلاقات الميثان التي يتسبب فيها الإنسان من مطامر النفايات الصلبة البلدية.

تشتعل في أكوام النفايات المطروحة المتراكمة لفترة طويلة حرائق نتيجة لتشكيل مزيج انفجاري للميثان مع الهواء الجوي. كما يوجد احتمال حدوث انفجار في مكبات النفايات غير المجهزة بتصريف الغازات حيث يؤدي احتباس الغازات ضمن المكب إلى تعرضها للضغط الشديد الذي يولد انفجاراً يمكن أن يؤدي إلى وفيات كما سبق وحدث في أكثر من مكان في العالم.

ويؤدي ترك النفايات المنزلية لفترات طويلة، وخاصة في الأجواء الحارة إلى تعفُّن المواد العضوية الموجودة في النفايات بفعل العديد من الجراثيم متغيرة التغذية (heterotroph)، وتنبعث روائح كريهة ناتجة عن إصدار العديد من الملوثات الغازية كالنشادر وكبريتيد الهيدروجين، وبعض الأمينات إضافة إلى غاز الميثان. وينتج عن استخدام الوقود في شاحنات نقل النفايات إطلاق ثاني أكسيد الكربون وأكسيد النتروز، وينبعث من حرق النفايات إطلاق الديوكسينات المسرطنة إضافة إلى ثاني أكسيد الكربون.

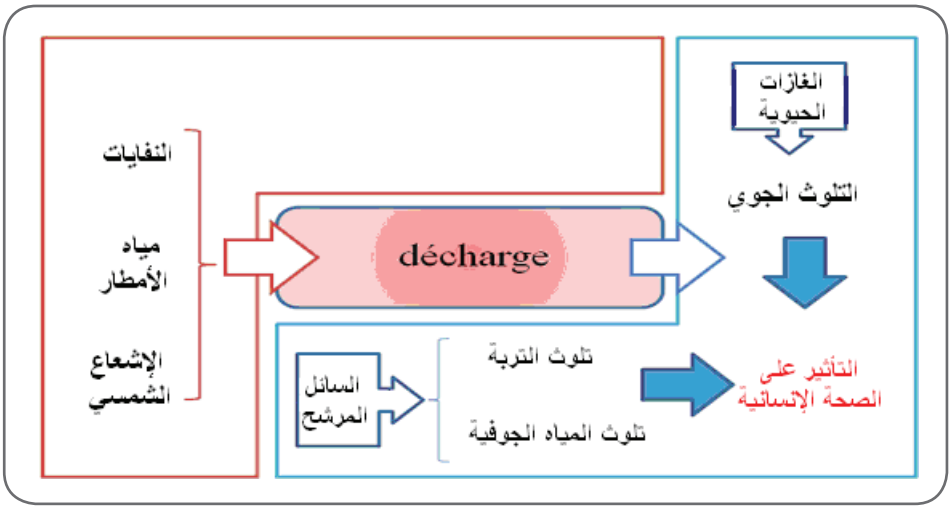
ليست تأثيرات تغير المناخ سوى واحدة من عدد من الآثار البيئية الناتجة عن خيارات إدارة النفايات الصلبة. وتشمل الآثار الأخرى الآثار الصحية التي تُعزى إلى انبعاثات المواد المستنفدة لطبقة الأوزون مثل الكلوروفلوروكربونات (CFC)، بجانب تلوث المسطحات المائية، والضوضاء[23].

ينتج عن رمي النفايات في المكبات (dechargedump) عصارة (سائل مرشح) محملة بالملوثات العضوية والمعدنية، يؤدي إلى تلويث المياه السطحية والجوفية، وكذلك التربة في الموقع، وبالتالي تتأثر سلباً الصحة الإنسانية كما يظهر في الشكل (2-2) .

الشكل 2 - 2:

التلوث البيئي والصحي الناتج عن رمي النفايات في المكبات

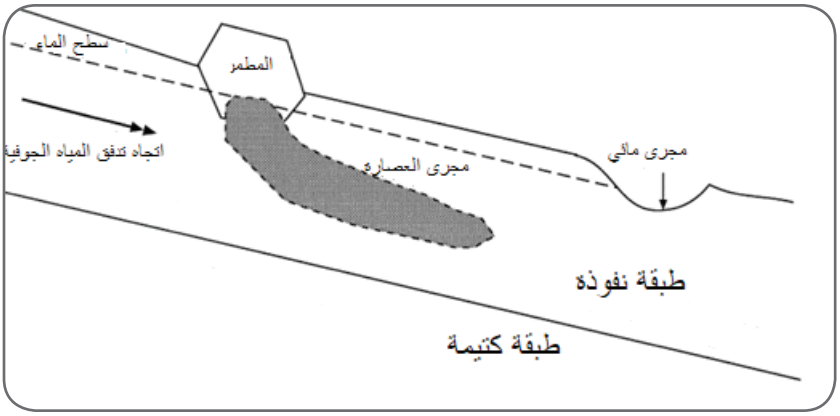
(decharge- dumps)



وقد يؤدي تلويث المياه الجوفية إلى استبعادها كمصدر لمياه الشرب، والتخلي عن آبار المياه المتضررة، والبحث عن مصدر مائي بديل ليحل مسألة تأمين المياه بالمنطقة. ويبين الشكل (2-3) الآلية التي يتم وفقاً لها تلوث المياه الجوفية بسبب زيل/إنسراب عصارة مكبات النفايات العشوائية.

الشكل 2 - 3:

آلية انتقال عصارة نفايات المكبات ضمن الحامل المائي



تشكل النفايات المنزلية ونفايات المناطق الزراعية التي تُربى فيها الحيوانات الأليفة أخطاراً مؤكدة على الصحة العامة وصحة الحيوانات، سواءً كان ذلك عن طريق النقل المباشـر للجراثيم الممرضة نتيجة التماس والعبث بالنفايات، أو بنقلها عن طريق الذباب، أو التخلص منها مباشرة في الوسط البيئي (التربة)، أو من خلال طرق غير مباشرة، عن طريق الغلاف الجوي بفعل الرياح التي تحمل الجسيمات الدقيقة إلى سطح المياه.

وتسبب النفايات وخاصة الأكياس البلاستيكية الصعبة التحلل الحيوي المتروكة في الشوارع أو الأراضي الفارغة انسداد المصارف المطرية، وحدوث فيضانات، وانتشار الأمراض التي تنقلها المياه. فقد كان هذا سبب فيضان كبير في سورات بالهند في عام 1994، مما أدى إلى تفشي وباء يشبه الطاعون أصاب 1000 شخص وقتل 56 وفقاً لـ(جوبتا ، 2010)[24].

كما تُعزى الفيضانات السنوية في الأجزاء المنخفضة من كمبالا بأوغندا جزئياً إلى الأكياس البلاستيكية، المعروفة محلياً باسم buveera، والتي تسد المصارف[25].

وفي غرب إفريقيا، تم إلقاء اللوم في الفيضانات على الأكياس البلاستيكية الصغيرة التي لم يتم جمعها، تلك التي تُباع فيها مياه الشرب[26]. كما تسببت النفايات البلاستيكية بالعديد من المشاكل في بنغلادش[27]، التي تعد من أوائل الدول في العالم التي أصدرت تشريعات تحظر الأكياس البلاستيكية[28]. وبالمثل، استجابةً للعواقب الكارثية للفيضانات الموسمية في مومباي وكامل ولاية ماهاراشترا في الهند، والتي حدثت في أغسطس/آب 2005 ، حيث نتج عنها أكثر من 900 حالة وفاة، بجانب ضياع مليارات الروبيات (مئات الملايين من الدولارات الأمريكية)، قامت ولاية ماهاراشترا بحظر تصنيع وبيع واستخدام الأكياس البلاستيكية حيث تبين أنها تسد المصارف.

وتعد النفايات البلاستيكية خطراً كبيراً على الدلافين والشعاب المرجانية أثناء إلقائها وتحركها الدائم مع حركة المد والجذر. وتجد مخلفات البلاستيك التي لا يتم التخلص منها بالطريقة البيئية الصحيحة طريقها في آخر الأمر لمياه البحر، وتعرض الشعاب المرجانية والكائنات البحرية التي تبتلعها أو تقع في شباكها للموت[29].

تؤمن النفايات الصلبة وسطاً ملائماً لنمو العديد من الجراثيم المرضة كالسالمونيلا وغيرها، وأكدت التحاليل نشاط هذه الجراثيم في النفايات المنزلية. ويمكن أن يتعرض العمال ونباشي النفايات إلى الكائنات المرضة القابعة في النفايات الصلبة وغيرها كالحفاضات[30]. وتعتبر النفايات المنزلية وسطاً مثالياً يكفل نمو الذباب والبعوض، ومدهما بالغذاء اللازم لحياتهما. وقد وُجد أن الذبابة الواحدة قادرة على حمل حوالي 6 مليون ميكروب. ويمكن أن ينقل البعوض والذباب أمراضاً متنوعة، كالملاريا واللشمانيا وغيرهما.

وتوفر النفايات الصلبة الغذاء والمأوى للقوارض والصراصير، ولايخفى عن البال الأمراض التي تنقلها هذه الكائنات الحية للإنسان. فالقوارض تنقل داء الكلب، والطاعون، بينما تنقل الصراصير العديد من الأمراض المتعلقة بجهاز الهضم. وفضلاً عن ذلك فوجود هذه الأحياء بأعداد كثيرة يقزز النفس، ويؤثر في الحالة النفسية للإنسان.

تسبب النفايات الحادة الناتجة عن مؤسسات الرعاية الصحية التي عادة ما تكون ملوثة وخزاً وجروحاً، حيث يتم رمي الزجاج المكسور والأبر والمشارط مع النفايات المنزلية مما يؤدي إلى إصابة عمال الجمع والنباشين بجروح وإصابات قد تكون بليغة[31]. ويؤدي اختلاط النفايات الطبية الخطرة بما تحمله من جراثيم وعوامل ممرضة مع النفايات العادية نتيجة عدم وجود نظام جمع منفصل للنفايات الطبية الخطرة إلى مخاطر مباشرة على المتعاملين مع النفايات.

و ينتج عن نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية آثار ضارة بالبيئة[32]. كما للنفايات الإلكترونية تأثير على الصحة العامة فعلى سبيل المثال يسبب الرصاص الموجود في نفايات البطاريات في حدوث خلل وظيفي عصبي لدى البالغين والأطفال أو فشل كلوي أو قصور في الجهاز العصبي[33]، ونتيجة تلوث التربة والمياه تصبح المنتجات والثروة الحيوانية ملوثة، ومن ثم تدخل الملوثات في السلسلة الغذائية لتصل للإنسان باستهلاك المياه والأغذية الملوثة بها.

2-2- التأثيرات الاجتماعية والاقتصادية للنفايات الصلبة

تشوّه النفايات الصلبة المتراكمة مظهر المدينة أو البلدة، وتسيء إلى نفسية الإنسان، وتدفع الناس للعزوف عن سكن المناطق التي لايُعتنى فيها بجمع ونقل النفايات البلدية، كما يؤدي ذلك إلى انخفاض أسعار الأراضي والعقارات في هذه المناطق، كما يؤدي للإضرار بصناعة السياحة.

وتستنفد عمليات جمع ونقل النفايات الجزء الأكبر من تكاليف تشغيل وإدارة خدمات النفايات الصلبة (حوالي 60%-70 من التكلفة)، لذلك تستخدم المدينة عادة ما بين عامل وثلاثة عمال لكل ألف نسمة من السكان. أما بالنسبة للنقل فإن المعدل المعتاد هو سيارة ثقيلة واحدة لكل 15 ألف نسمة. ونستنتج وفقاً لذلك أن خدمات إدارة مشروعات النفايات الصلبة تستنفد ما يقارب الـ 1% من مجموع ناتج الدولة الإجمالي، وعلى هذا النحو يمكن اعتبارها واحدة من أهم الخدمات الحضرية، وبناء عليه فإن كفاءة أنظمة التشغيل وارتفاع إنتاجية الأيدي العاملة يعتبران من المسائل بالغة الأهمية في موضوع تشغيل وإدارة النفايات الصلبة. أما مستوى التشغيل الآلي الذي يُتّبع في أنظمة إدارة النفايات الصلبة فإنه يرتبط مباشرة بتكلفة الأيدي العاملة، ذلك بالمقارنة مع تكاليف الطاقة وتكاليف المشروع. وفي العديد من الحالات تعتبر النفايات الصلبة ثروة وطنية، يمكن أن تدر عائداً كبيراً إذا تمت إدارتها بطريقة سليمة وتدويرها واستخدام معظم مكوناتها، فالتخلص العشوائي يهدر مواداً قد تكون ذات قيمة اقتصادية كبيرة[34].

الفصل الثالث

تقدير كميات النفايات الصلبة وطرائق أخذ العينات

إنتاج النفايات هو نتاج طبيعي للتحضُّر والتنمية الاقتصادية، والنمو السكاني. فعندما تصبح الدول والمدن مكتظّة أكثر بالسكان، وتقدم المزيد من المنتجات والخدمات للمواطنين، والمشاركة في التجارة والتبادل السلعي العالمي، تزداد كميات النفايات المطلوب إدارتها.

3 - 1 - كميات النفايات الصلبة البلدية- نظرة عالمية

قُدّرت كمية النفايات الصلبة البلدية الناتجة عن التجمعات السكانية في المدن عالمياً (عام 2012) بحوالي 1.3 مليار طن/سنة[35]، حيث كان عدد سكان المدن حوالي 3 مليار نسمة، ما يعني أن متوسط إنتاج الفرد حوالي 1.2 كيلوغرام في اليوم الواحد. بينما أنتج العالم في عام 2016 مايقرب من 2.01 مليار طن من النفايات الصلبة البلدية. ويتوقع أن يرتفع الإنتاج السنوي للنفايات البلدية إلى 2.2 مليار طن في عام 2025، وإلى 3.4 مليار طن في عام 2050 [36]. وتوقع برنامج الأمم المتّحدة للبيئة (UNEP) من خلال دراسة أصدرها بعنوان «نحو اقتصاد أخضر» أن تصل كمية النفايات الصلبة البلدية وغير البلدية التي يُنتجها العالم سنوياً إلى ما يزيد عن 13 مليار طنًّا عام 2050، وإلى 8 مليارات ونصف المليار طن عام 2025، وقد تنخفض إلى نحو النصف إذا ما اعتُمدَت سياسة «الاقتصاد الأخضر»[37].

- **وفي دراسة للبنك الدولي في عام 2012 على 169 دولة[38]، صُنّفت الدول ضمن مناطق العالم السبع وهي:**

أفريقيا AFR (44 دولة) -شرق آسيا والباسفك EAP (19 دولة) – أوروبا ووسط آسيا ECA (18دولة) – أمريكا اللاتينية والكاريبي LAC (33 دولة) – الشرق الأوسط وشمال افريقيا MENA (18 دولة) – منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD (29 دولة) – جنوب آسيا SAR (7 دول).

يبين الجدول (1-3) إنتاج المناطق والأفراد من النفايات الصلبة البلدية عام 2012، والمتوقع عام 2025 حسب دراسة البنك الدولي - وفقاً للمصدر نفسه.

الجدول 1-3:

إنتاج المناطق والأفراد من النفايات الصلبة البلدية عام2012

المنطقة	عام 2012		عام 2025	
	إنتاج الفرد كغ/نسمة. يوم	ناتج المنطقة بالنسبة للعالمي (%)	إنتاج الفرد كغ/نسمة. يوم	ناتج المنطقة بالنسبة للعالمي (%)
-أفريقيا (عدا الشمال)	0.65	5	0.85	7
-شرق آسيا والباسفك	0.95	21	1.5	31
-أوروبا ووسط آسيا	1.10	7	1.5	5
-أمريكا اللاتينية والكاريبي	1.10	12	1.6	12
-الشرق الأوسط وشمال أفريقيا	1.10	6	1.43	6
- منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية	2.2	44	2.1	29
– جنوب آسيا	0.45	5	0.77	10
إجمالي (مليار طن/ يوم)	3.6	100	6.0	100
وسطي عالمي (كغ/نسمة. يوم)	1.2	_	1.42	_

قُدّرت معدلات إنتاج النفايات الصلبة البلدية في المناطق الريفية بنصف المعدل الحضري الإجمالي. ويتم دعم تقدير النصف كنسبة لتوليد النفايات من الريف إلى الحضر من خلال العديد من الدراسات، وهو تقدير يقل عن الاتجاهات التي لوحظت في البيانات المتاحة عبر المناطق[39].

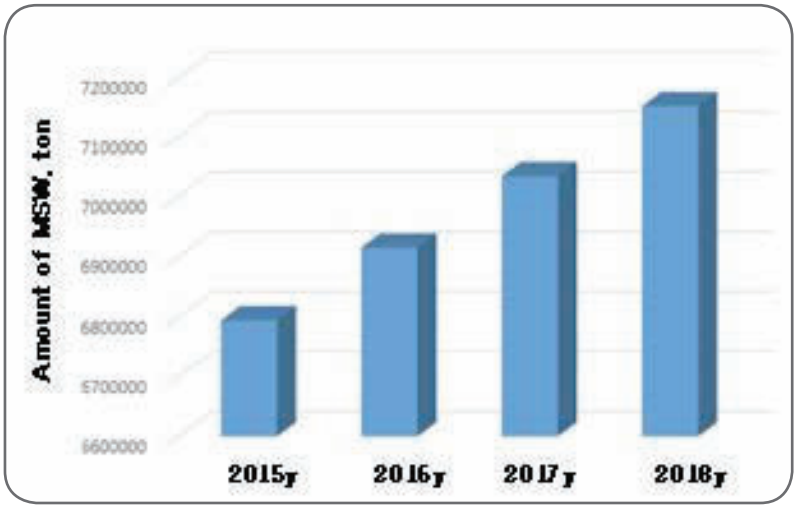
إنتاج النفايات هو نتاج طبيعي للتحضر والتنمية الاقتصادية، والنمو السكاني. فعندما تصبح الدول والمدن مكتظة أكثر بالسكان، وتقدم المزيد من المنتجات والخدمات للمواطنين، والمشاركة في التجارة والتبادل العالمي، تزداد كميات النفايات المطلوب ادارتها.

يبين الشكل (3-1) تزايد إنتاج النفايات البلدية في اوزباكستان كمثال لتزايد كمية النفايات مع مر السنين من عام 2015 إلى 2018 [40]

الشكل 3-1:

تزايد إنتاج النفايات البلدية في أوزباكستان

خلال الأعوام 2015 حتى 2018.

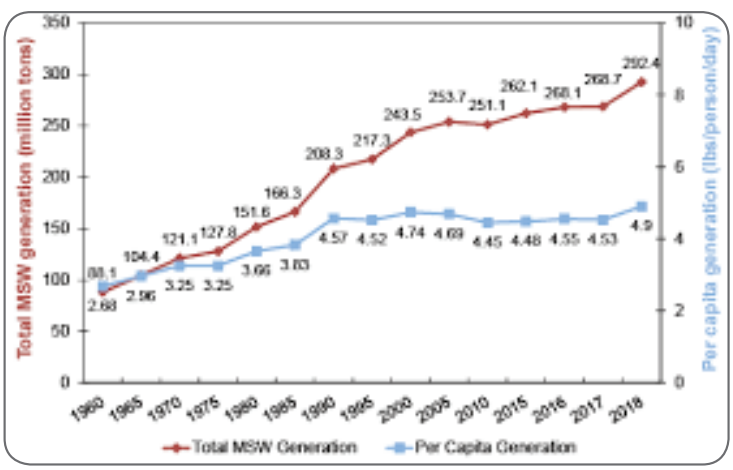


بينما ثبت إنتاج الفرد من النفايات أو تناقص بعد عام 1995 في الدول المتقدمة نتيجة ثبات التحضر وتحفيز تقليل إنتاج النفايات. يبين الشكل (3-2) تغير إنتاج النفايات في الولايات المتحدة خلال الفترة من 1960 إلى 2018[41].

الشكل 3-2:

معدل وكميات النفايات المنتجة في الولايات المتحدة

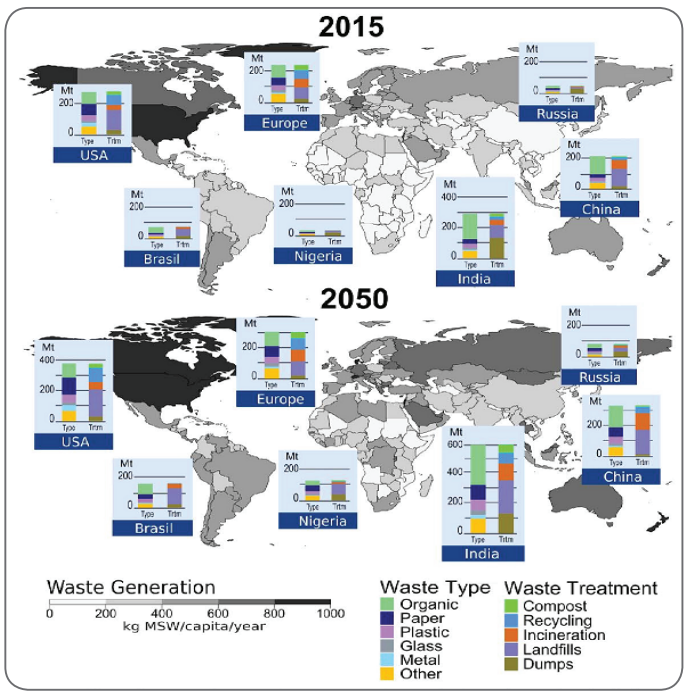
خلال الفترة 1960-2018.



وفي العديد من الدول المتقدمة في العالم كالولايات المتحدة بلغ معدل إنتاج الفرد من النفايات سنويا أكثر من 600 كلغ ، ويتوقع أن يبقى المعدل أكثر من 600 كغ بحلول عام 2050، كما يظهر في الشكل (3-3).

الشكل 3-3:

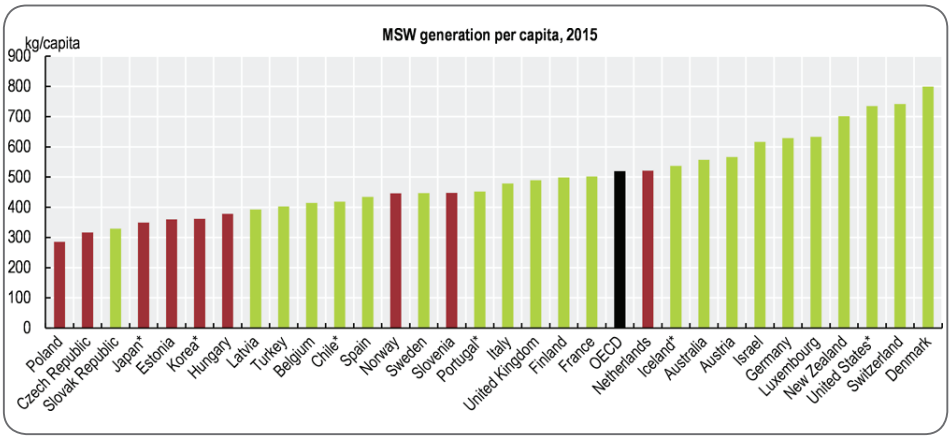
المعدل السنوي لإنتاج الشخص الواحد من النفايات، ونسب مكونات النفايات وأساليب المعالجة والتخلص المطبقة في عدد من دول العالم في عام 2015 والتوقعات في عام 2050.



تؤثر عدة عناصر على كمية النفايات المنتجة، حيث يوجد ارتباط إيجابي بشكل عام بين إنتاج النفايات ومستوى الدخل. وتؤثر التنمية الاجتماعية والاقتصادية ودرجة التصنيع على معدلات إنتاج النفايات من خلال التأثير بشكل عام على أنماط الدخل والاستهلاك، حيث كان معدل إنتاج الشخص سنوياً من النفايات البلدية في الولايات المتحدة و هولندا والدانمارك خلال عام 2015 من أعلى المعدلات على مستوى العالم، كما يظهر في الشكل (3-4)[42].

الشكل 3-4:

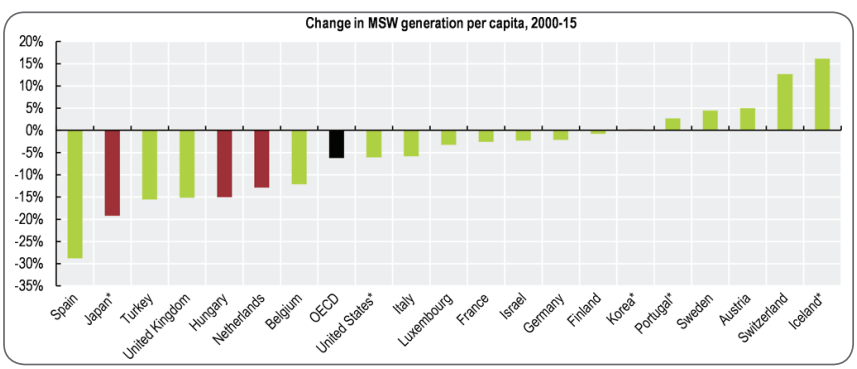
معدل إنتاج الشخص من النفايات البلدية في بعض دول من العالم خلال عام 2015.



وخلال عام 2015 كان معدل إنتاج الشخص من النفايات البلدية أقل من المعدل في عام 2000 في العديد من الدول المتقدمة صناعياً كإسبانيا واليابان، وذلك نتيجة لاعتماد الاقتصاد الدائري، بينما كان خلاف ذلك واستمر في الارتفاع في البرتغال والسويد وأستراليا وهولندا وايسلاندا، كما يظهر في الشكل (3-5).

الشكل 3-5:

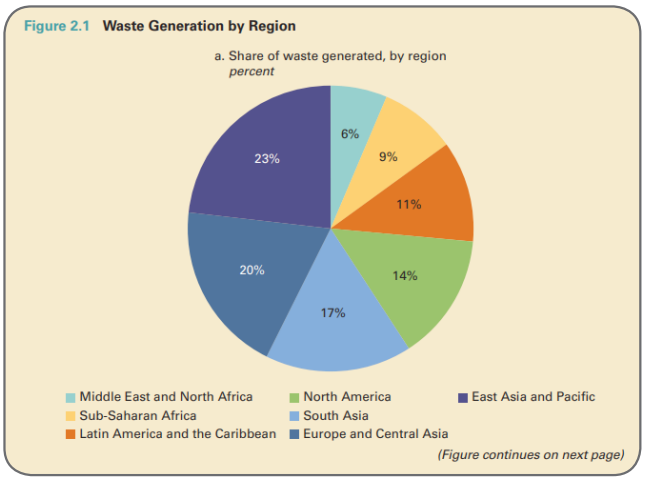
تغير معدل إنتاج الشخص من النفايات البلدية في دول من العالم خلال الفترة بين عام 2000 وعام 2015.



تعد دول شرق آسيا والمحيط الهادئ وأوروبا وآسيا الوسطى مسؤولة عن 43 % من نفايات العالم، الشكل (3-6). وتنتج منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا وأفريقيا جنوب الصحراء أقل كمية من النفايات على مستوى المناطق حيث يبلغ إنتاجها معاً 15 % من نفايات العالم. تنتج شرق آسيا والمحيط الهادئ أكثر كمية من حيث القيمة المطلقة، و تقدر بنحو 468 مليون طن في عام 2016 ، بينما إنتاج الشرق الأوسط وشمال أفريقيا يعد أقل قيمة على مستوى المناطق حيث بلغت الكمية 129 مليون طن[43]، وهذا نتيجة كون عدد سكان المنطقة غير كبير.

الشكل 3-6:

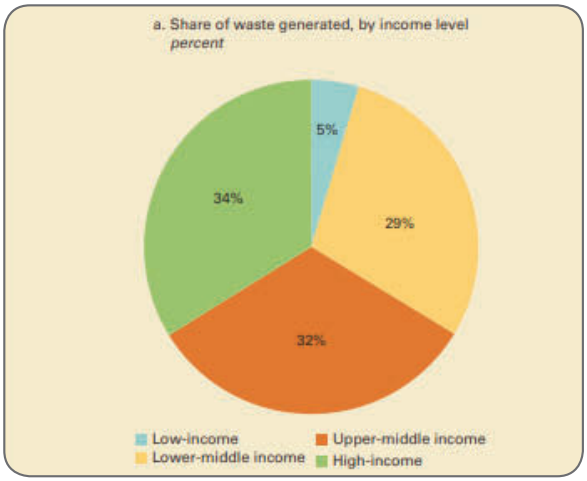
نسبة إنتاج النفايات حسب المناطق في العالم.



على الرغم من أن سكان البلدان ذات الدخل المرتفع لا يمثلون سوى 16 % من سكان العالم، فإن هذه البلدان تنتج 34 % أو 683 مليون طن من نفايات العالم. وتمثل البلدان منخفضة الدخل 9 % من سكان العالم ولكنها تنتج فقط 5 % من النفايات العالمية (الشكل 3-7)[44].

الشكل 3-7:

نسبة إنتاج النفايات الصلبة في مناطق العالم تبعاً للدخول المادية

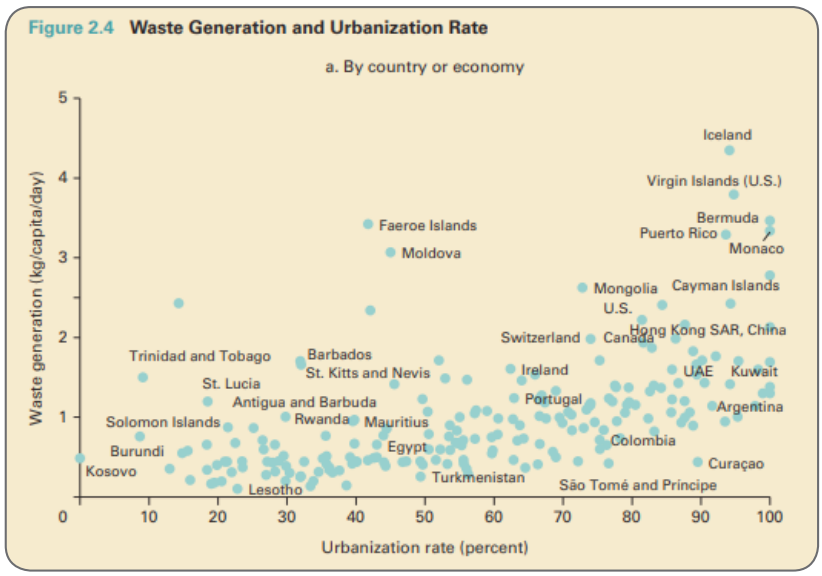


بلغ متوسط إنتاج الفرد على مستوى العالم في عام 2016 قيمة 0.74 كيلوغرام من النفايات للفرد في اليوم. وفي أفريقيا جنوب الصحراء ينتج الفرد أقل كمية من النفايات بمتوسط 0.46 كغ/اليوم، بينما في جنوب آسيا ينتج الشخص 0.52 كغ/ اليوم، وفي شرق آسيا والمحيط الهادئ ينتج 0.56 كغ/اليوم.

ويزداد إنتاج النفايات أيضاً مع زيادة مستوى التحضر (الشكل 3-8). البلدان والاقتصادات ذات الدخل المرتفع أكثر تحضراً وتنتج المزيد من النفايات للفرد. على المستوى الإقليمي، تولد أمريكا الشمالية، ذات أعلى معدل تحضر يبلغ 82 % ، 2.21 كيلوغرام نفايات للفرد في اليوم، بينما ينتج الفرد الواحد في أفريقيا جنوب الصحراء التي فيها معدل التحضر 38 % معدل 0.46 كيلوغرام للفرد في اليوم[45].

الشكل 3-8:

علاقة إنتاج الفرد من النفايات مع مستوى التحضر



وفي الدول النامية يمكن أن يؤثر عدد الأشخاص في المنزل على معدل إنتاج الفرد من النفايات، حيث أن عدداً أكبر من الأشخاص في منزل معين ينتج عنه تقليل إنتاج النفايات لكل شخص يومياً.

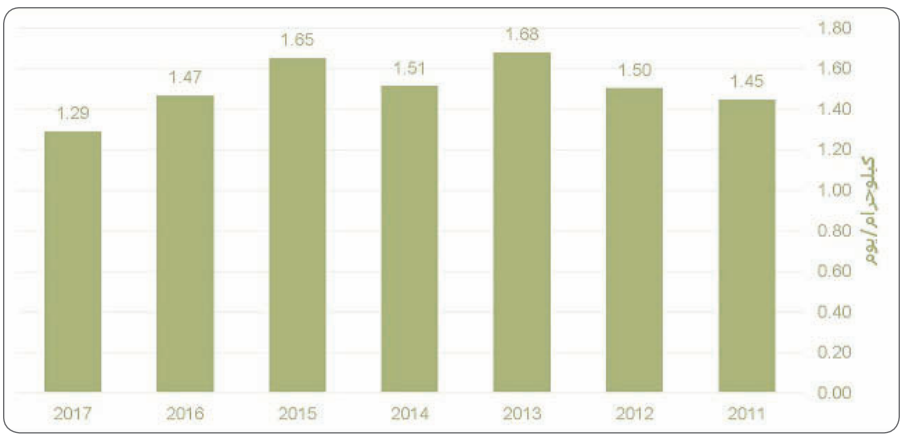
تؤثر التغيرات المناخية والموسمية على إنتاج النفايات من خلال التأثير على كمية المواد العضوية المنتجة كمنتج نفايات تحضير الأطعمة الطازجة في المواسم، أو المناخات التي تسمح بهذا التحضير.

ويشير تقرير للبنك الدولي إلى أن غالبية بلدان مجلس التعاون الخليجي تقع ضمن المراكز العشرة الأولى عالمياً من حيث معدل إنتاج الفرد للنفايات. فينتج سنوياً قرابة الـ 120 مليون طن من النفايات في بلدان مجلس التعاون الخليجي، وتقديرياً تشكل مخلفات البناء والهدم ما نسبته 55 في المائة من هذه النفايات، إلى جانب 20 في المائة للمخلفات البلدية، و 18 في المائة للمخلفات الصناعية فضلاً عن 7 في المائة للمخلفات الخطرة[46].

وفي دولة الإمارات العربية المتحدة وحدها، تبلغ كتلة النفايات الصلبة البلدية المنتجة سنوياً مايفوق 4.892 مليون طن مع إنتاج يومي يبلغ 4118 طن في إمارة العين و 2349 طن في المنطقة الغربية. كما أن معدل إنتاج النفايات الصلبة البلدية للفرد الواحد في إمارة أبو ظبي يتراوح مابين 1.47 و 1.68 كغ/ يوم، كما يظهر في الشكل (3-9)[47].

الشكل 3-9:

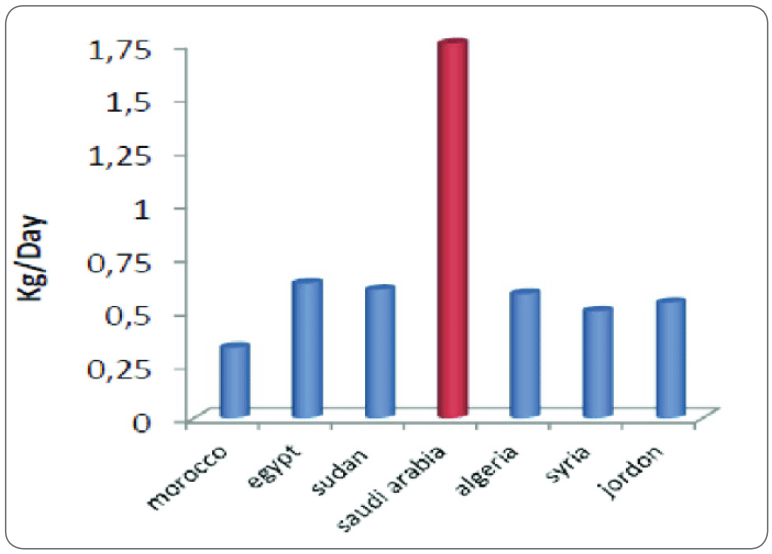
الإنتاج اليومي للفرد الواحد من النفايات البلدية في إمارة أبو ظبي



إن معدل إنتاج الفرد في البحرين والإمارات والكويت والسعودية من النفايات البلدية يومياً يتجاوز 1.5 كغ/شخص - اليوم ، وهو أعلى من المتوسط العالمي، وأعلى من المتوسط في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، بينما معدل إنتاج النفايات البلدية في أغلب الدول العربية غير الخليجية يقل عن 0.75 كغ/شخص.اليوم ، كما يظهر الشكل (3-10) .

الشكل 3-10:

معدل إنتاج الفرد من النفايات البلدية في عدد من الدول العربية



ويبقى معدل إنتاج الفرد من النفايات البلدية في مدن الدول النامية منخفضاً[48]، حيث تبين أن معدل توليد النفايات الصلبة البلدية في دكا عاصمة بنغلادش (0.46 كغ/فرد/يوم) فقط وهو قريب من إنتاج الفرد من النفايات البلدية في المدن السورية.

3 - 3 - التوقعات المستقبلية المتعلقة بإنتاج النفايات البلدية وتكوينها

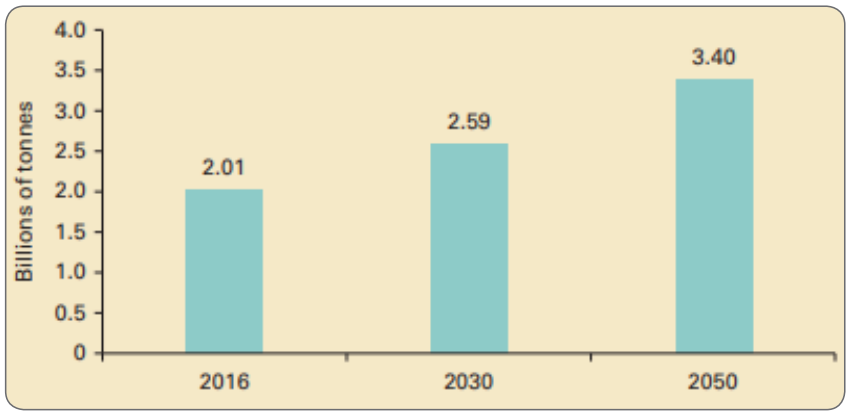
من المتوقع أن تزداد في العقود القادمة كمية النفايات الصلبة المنتجة في منطقة أفريقيا جنوب الصحراء بمعدل أعلى من أي منطقة أخرى نظراً لارتفاع معدل التحضر و النمو السكاني فيها.

بحلول عام 2030، من المتوقع أن ينتج العالم 2.59 مليار طن من النفايات البلدية سنوياً، بينما بحلول عام 2050 ، يتوقع أن يصل إنتاج النفايات في جميع أنحاء العالم إلى 3.40 مليار طن(الشكل 3-11).

الشكل 3-11:

توقع الإنتاج العالمي للنفايات البلدية

في عام 2030 و 2050

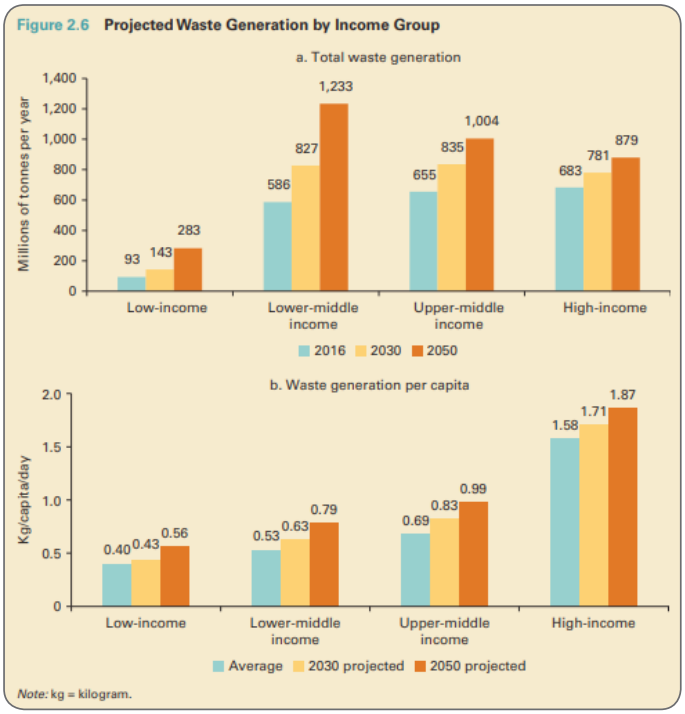


من المتوقع أن يحدث في البلدان ذات الدخل المرتفع أقل قدر من نمو إنتاج النفايات بحلول عام 2030، بالنظر إلى أنها وصلت إلى مستوى نقطة التنمية الاقتصادية التي يكون فيها استهلاك المواد أقل إرتباطاً بنمو الناتج المحلي الإجمالي (الشكل 3-12). أما في البلدان ذات الدخل المنخفض فسيحدث أكبر قدر من النمو في النشاط الاقتصادي، وزيادة في السكان، ومستويات النفايات المتوقعة إلى أكثر من ثلاثة أضعاف بحلول عام 2050.

الشكل 3-12:

توقع تطور إنتاج النفايات في عام 2030 و 2050

حسب الدخل في مناطق العالم



وقد أعطت دراسة البنك الدولي عام 2012 – ورد ذكرها سابقاً - تقديرات إنتاج النفايات عام 2025 حسب الدخل في الجدول (3 - 2).

الجدول 3-2:

تقديرات إنتاج النفايات حسب مستوى الدخل

المنطقة حسب الدخل	% من الناتج العالمي 2012	% متوقع (2025)
-دخل عالي: >12.475 US$/نسمة.سنة	46	32
-دخل متوسط عالي:4.126-12474 US$ -/نسمة. سنة	29	43
-دخل متوسط منخفض: 1046-4125 US$/نسمة. سنة	19	17
-دخل منخفض: <1046 US$/نسمة. سنة	6	8

من المتوقع حسب الجدول السابق انخفاض مساهمة الدول الغنية ذات الدخل العالي في الإنتاج العالمي للنفايات المتوقع عام 2025 مقارنة مع عام 2012، وذلك مقارنة مع مساهمة الدول ذات الدخل المتوسط العالي خلال نفس الفترة. من أسباب ذلك ازدياد ترشيد الاستهلاك المتوقع وكذلك نسبة إعادة التدوير في دول الشريحة الأولى، وكذلك إلى الطفرة الكبيرة المتوقعة في النمو الاقتصادي في دول الشريحة الثانية.

3-4- طرائق أخذ عينات النفايات الصلبة البلدية (Municipal Solid Waste Sampling Methods)

لتحديد خواص النفايات ينبغي إتباع الطرق المبينة في المواصفات القياسية بما فيها طريقة أخذ العينة وتحضيرها، وطريقة إجراء التجربة لمعرفة الخاصية قيد البحث[49]. فعند إجراء الاختبارات والتجارب على عينات النفايات الصلبة البلدية ينبغي أخذ الاعتبارات الآتية:

1. أن تشمل العينة جميع مناطق المدينة، ومختلف أنواع السكان القاطنين ومستوياتهم وظروفهم.
2. أن تكون العينة بعيدة عن الانحراف والتحيز، فيجب تجنب التأثيرات الخارجية الاستثنائية المؤثرة في نوعية النفايات الصلبة البلدية وكميتها. مثلاً - الابتعاد عن أخذ العينة في أوقات الأعياد، وفي حالات الطقس السيئ الطويل غير الاعتيادي.
3. أن يشمل البرنامج جميع فصول السنة، وأوقات تغير الطقس، كما يجب أن يستمر البرنامج طيلة أسبوع كامل دون انقطاع.
4. لحجم العينة علاقة مباشرة بحجم العناصر المكونة لكتلة النفايات الصلبة.
5. لعدد أفراد الأسرة تأثيره الكبير في كمية النفايات الصلبة البلدية ومواصفاتها.

6. لابد من التخطيط والدراسة المسبقين والشاملين لبرنامج تحديد التكوين النوعي للنفايات الصلبة البلدية وكميتها، بغية الحصول على معلومات أقرب إلى الواقع بأقل الجهد والتكاليف الممكنين.

7. لابد من حماية العاملين في هذا البرنامج من الأثر الضار للتماس المباشر لأجسامهم مع النفايات الصلبة وخصوصاً عمال التصنيف. وتجري الحماية بتزويد العمال بملابس واقية (أفرولات)، وقفازات يدوية مقاومة للثقب، وأحذية حامية.

يمكن أن يجري تنفيذ برنامج واحد لعدة مدن ذات ظروف مختلفة، وذلك بهدف وضع معايير تصميمية للمدن المختلفة وللبلد ككل، ذلك لاستخدامها في دراسات مشاريع إدارة النفايات الصلبة.

هناك طرق مختلفة لأخذ عينات النفايات الصلبة البلدية، نذكر منها الآتي:

3-4-1- طريقة أخذ العينات من حمولة سيارات الجمع:

تقسم المدينة المدروسة إلى خمس مناطق على الأقل، وذلك بحسب مستويات سكانها، ويجري أخذ العينات لكل منطقة من هذه المناطق بالاختيار العشوائي لسيارة واحدة من سيارات الجمع المحملة بالنفايات الصلبة والخاصة بكل منطقة على حدة. يفضل إعلام سيارات الجمع بأن إحدى حمولاتهم سوف توزن وتؤخذ منها عينات للتحليل دون تخصيص السيارة مسبقاً.

تفرغ حمولة سيارة الجمع في غرفة تصنيف أبعادها (25m × 25m) بحيث تسمح بحرية حركة العمال مع أدواتهم. تحتوي غرفة التصنيف على ميزان أرضي، وبراميل لفصل عناصر العينات سعة (120 لتر) مصنعة من البلاستيك، وطاولة تصنيف أبعادها (1m × 1.2 m × 3.5 m)، وعلب كرتونية مزودة بحقائب بلاستيكية بحجم (0.08) متر مكعب.

يُزود عمال التصنيف بأربعة رفشات، وشوكتين، ومغناطيسين مزودين بقبضات يدوية. ويجب أن تضاء غرفة التصنيف جيداً، وتُهوّى بشكل مناسب. كما يجب أن تكون مبلطة قابلة للتنظيف السريع بعد الانتهاء من العمل. تُزود الغرفة خارجياً بقبان أرضي لوزن سيارات جمع النفايات الصلبة، وحاوية مخصصة للنفايات الفائضة. توزن حمولة سيارة الجمع بواسطة القبان الأرضي وهي محملة، ثم وهي فارغة بعد تفريغ النفايات على أرضية غرفة التصنيف. يقوم العمال بفرز كتلة النفايات إلى البراميل المرقمة، حيث يتم وزنها بالميزان الأرضي داخل الغرفة، ويسجل ذلك ضمن جداول خاصة. يقوم بعد ذلك مراقب الميزان بأخذ عينات من البراميل المرقمة، لتوضع ضمن حقائب بلاستيكية داخل العلب الكرتونية، ثم ترسل للفحص المخبري (تؤخذ هذه العينات من الجزء العضوي فحسب من كتلة النفايات). ويمكن فرز الحديد عن المعادن الأخرى بإعادة فرز برميل المعادن باستخدام المغنطيس ذي المقبض اليدوي.

تفرغ البراميل بعد وزنها في الحاوية الموجودة خارج غرفة التصنيف ليعاد استخدام هذه البراميل مرة أخرى. بعد أن يتبقى ربع كتلة النفايات الكلية يجري ملء ثلاثة براميل، لتنثر على طاولة الغربال، حيث يجري تحديد نسبة المواد الناعمة كالرماد والأتربة في كتلة العينة.

يستمر البرنامج السابق لمدة سبعة أيام متتالية، حيث نحصل على سبعة جداول للتركيب المورفولوجي (النسب المئوية لكتل كل من مكونات النفايات الصلبة كالنفايات الغذائية، والورق، والخشب، والبلاستيك، والمطاط... الخ)، منسوبة إلى الكتلة الكلية للنفايات الصلبة لكل منطقة.

3-4-2- الطريقة الموضعية لأخذ العينات:

يجري في هذه الطريقة أخذ العينات من أكوام النفايات المتشكلة يومياً، ويتابع برنامج التصنيف بخطوات البرنامج السابق نفسه.

3-4-3 - طريقة أخذ العينات من حافة الرصيف:

تستخدم هذه الطريقة لتحديد معدلات تراكم النفايات الصلبة المنزلية وكمياتها في المناطق التي تتبع أسلوب الجمع من حافة الرصيف، حيث يجري اختيار ثلاثين منزلاً على الأقل من كل منطقة من مناطق المدينة. تؤخذ العينات من النفايات المتجمعة على حافة الرصيف قبل مرور سيارة الجمع. توزن النفايات من قبل العامل بواسطة خطاف قابل للحمل، ويقوم العامل بنقل هذه النفايات معه بواسطة جهاز كلاب مع خطاف، أما الجزيئات الصغيرة الناعمة فتجمع بوساطة بوتقة بلاستيكية صغيرة أبعادها (0.6 m × 0.15 m) × 0.6 m حيث يجري تسجيل وزن النفايات لكل منزل يومياً مع تدوين عدد أفراد كل منزل.

ويبين الجدول (3-3) أمثلة لمطلوبات إجراء اختبار العينة من النفايات[50].

الجدول 3-3:

أمثلة لمطلوبات إجراء اختبار العينة من النفايات

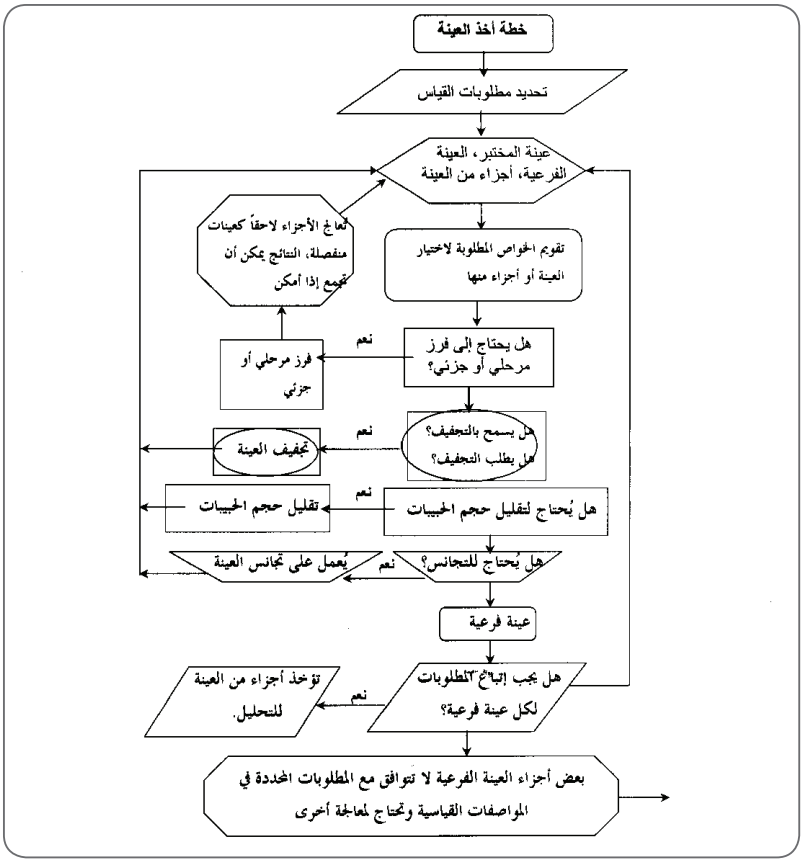
نوع الاختبار	كمية العينة المطلوبة	مطلوبات تجهيز العينة وتحضيرها
تقدير المتبقي الجاف، وإيجاد محتوى الرطوبة.	لا توجد قيمة ثابتة، غير أنه من الأنسب أخذ مقدار أكبر من 0.5 غرام من المادة المتبقية الجافة، ولأسباب عملية يُفضّل أخذ 25 غرام أو أكثر إلى 500 غرام لتكرار التجربة عدة مرات.	لا تحتاج إلى تجفيف أولي. يجب عدم فقد الماء أثناء تحضير العينة للاختبار.
إيجاد العناصر عن طريق الهضم بالأحماض.	أقل من 0.5 غرام، ولأسباب عملية تؤخذ 400 إلى 500 غرام من المادة الجافة.	أقل حجم ممكن للحُبيبات خاصة عينات المواد المقاومة للصهر. يُسمح بالتجفيف عند الضرورة لدرجة حرارة 40 °م كحد أقصى ينبغي تفادي فقدان العناصر المتطايرة

اختبار استجابة غسل التربة.	حوالي 100 غرام من المادة الجافة.	يجب عدم التجفيف. ينبغي عدم فقدان العناصر المتطايرة عند ضرورة التجفيف. يُسمح بالكسر والسحق فقط للحصول على الحجم المطلوب للحُبيبات.

ويظهر الشكل (3-13) بعض العمليات التي تخضع لها العينة للحصول على نتائج تمثل المجموعة، ويسهل تكرار التجربة لها.

الشكل 3-13:

تسلسل عمليات العينة المخبرية



الفصل الرابع

الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة

كانت لنا ريادتنا في هذا المجال، حيث يعتقد أن أول نظام معروف لإدارة النفايات السائلة كان في منطقة الكوم التي تبعد حوالي 120 كم شمال شرق مدينة تدمر القديمة. وهي واحة واقعة في الهلال الخصيب. حيث ظهرت أدلة على إدارة مياه الصرف الصحي، ذلك حوالي 6500 قبل الميلاد. كان موقع الكوم (سورية الحالية) يحتوي على تخطيط حضري واسع يتمحور حول تصريف المياه العادمة المنزلية. وعلى مدار الأربعين عاماً الماضية، اعتبرت إدارة النفايات مهنة علمية وهندسية، وظهرت أساليب ومعايير جديدة للادارة العلمية للنفايات، وتم تطوير طرائق حديثة للفرز واسترجاع الموارد.

4 - 1 - مقدمة

ينطبق مصطلح «الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة البلدية» على جميع الأنشطة المرتبطة بالنفايات الصلبة، ومن ضمنها: الحد من إنتاجها، الفرز من المصدر، التخزين، الجمع والنقل، المعالجة، التدوير وإعادة الاستخدام والتخلص، وفقا لمبادئ الصحة العامة، والاقتصاد، والهندسة، والاستدامة، مع أخذ الرأي العام بعين الاعتبار[51].

عند وضع خطة لإدارة النفايات الصلبة، يجب التنبُّه إلى أنه لايوجد حل وحيد وشامل. إضافة إلى ذلك، فإنّ كلّ منطقة تتميّز عن الأخرى، ولديها واقع خاص بها، فيما يتعلق بإنتاج النفايات وإدارتها.

4 - 2 - التطور التاريخي لإدارة النفايات

4 - 2 - 1 - التطور التاريخي لإدارة النفايات في منطقة الشرق الأوسط

يعتقد أن أول نظام معروف لإدارة النفايات السائلة كان في الكوم El Kowm (سورية الحالية). وهي «واحة» واقعة في الهلال الخصيب، حيث ظهرت أدلة على إدارة مياه الصرف الصحي بدءاً من حوالي 6500 قبل الميلاد[52]. تبعد منطقة الكوم حوالي 120 كم شمال شرق مدينة تدمر القديمة. كان موقع الكوم El Kowm يحتوي على تخطيط حضري واسع يتمحور حول تصريف المياه العادمة المنزلية . يوجد نظام قنوات متطور داخل المساكن، فضلاً عن ربط أنظمة الصرف هذه بأنظمة أكبر داخل المدينة. تم نقل النفايات السائلة من خلال أنظمة قنوات من المساكن إلى الخنادق في شوارع المدينة. بالإضافة إلى ذلك، هناك أنظمة أخرى مخططة في المدن في المناطق المحيطة، مما يشير إلى أنه كان هناك انتشار لتقنيات إدارة النفايات في جميع أنحاء المنطقة[53].

بالإضافة إلى هذه الأنظمة في سورية، هناك أيضاً أدلة من الماضي قبل الميلاد على وجود أنظمة لإدارة النفايات داخل المجتمعات الأخرى. وعلى مستوى المنطقة العربية فقد كان يتم قديماً التخلص من نفايات المدن بعدة أشكال. فمثلاً يتم شراء المواد الخشبية والقمامة القابلة للاحتراق من قبل أصحاب الحمامات لاستخدامها كوقود، كما كان الرماد الناتج المسمى في دمشق وحلب (القصرمل) يباع ليستخدم في البناء، أما الأقمشة البالية (الخرق) والأوراق، وحسب ما جاء في قاموس الصناعات الشامية لمحمد سعيد القاسمي، فقد كان يتم جمعها ومن ثم يصنع منها أكياس تباع للعطارين، ولصنع البسط، وما لم يصلح للخياطة يباع لمشاغل الأحذية، حيث يستفاد منه في حشو الأحذية. ومن كان يقوم بهذا العمل يدعى (الخرقي). أما الزجاج فغالباً ماكان يتم تبديل الأواني المكسورة بأواني سليمة عن طريق أشخاص يمرون على البيوت والمحلات .أما ما يجمعه الكنّاس من القمامة في الأزقة والحارات، فكان يستفاد منه حيث يتم نقله عبر الدواب، ويتم بيعه إلى أصحاب البساتين المجاورة للمدينة، حيث يتم تخميره واستخدامه كسماد للأرض. ويطلق على كل من يقوم بهذا العمل باسم (السوادية). أما روث الطيور وبعض أنواع الحيوانات فكانت تصب في قوالب وتجفف، ثم تستخدم للحرق للتدفئة وتسمى (الجّلة)[54].

4 - 2 - 2 - التطور التاريخي لإدارة النفايات في أوروبا وأمريكا

تُظهر الأدلة من المواقع الأثرية والنصوص القديمة تكوين أول مجموعة عمل أوروبية لإدارة النفايات، تشمل واجباتها جمع النفايات المخزنة من المنازل، وبيع النفايات للمزارعين من أجل الربح، كما طُلب من الأسر التي تستخدم هذه الخدمات الدفع. وكانت أنظمة إدارة النفايات في الإمبراطورية الرومانية القديمة مقارنةً بالأنظمة التي استخدمتها حضارات الهلال الخصيب، مقسمة إلى حد كبير اجتماعياً، وتعتمد بشكل كبير على الوضع الاجتماعي والاقتصادي للمدنيين. ويمكن ملاحظة هذا التقسيم الطبقي داخل أنظمة إدارة النفايات في مصر القديمة.

أما في الفترة القريبة من الثورة الصناعية، وبعد بداية التصنيع والنمو الحضري

للمراكز السكانية الكبيرة في إنجلترا، فقد تسبب تراكم النفايات في المدن في تدهور سريع في مستويات المرافق الصحية والجودة العامة للحياة الحضرية. حيث امتلأت الشوارع بالقذارة بسبب عدم وجود لوائح التخلص من النفايات. فتم طرح الدعوات لإنشاء سلطة بلدية تتمتع بصلاحيات التخلص من النفايات منذ عام 1751 من قبل كوربين موريس في لندن، الذي صرح بأن «... نظراً لأن الحفاظ على صحة الناس له أهمية كبيرة ، فمن المقترح أن يتم تنظيف المدينة تحت إدارة عامة موحدة، وأن يتم نقل كل القذارة بواسطة نهر التايمز إلى مسافة مناسبة في البلاد»[55].

ظهر أول نظام مؤسس لإدارة النفايات الصلبة في لندن في أواخر القرن الثامن عشر. حيث تم إنشاء نظام لجمع النفايات واستعادة الموارد حول «ساحات الغبار». وكان المكون الرئيسي للنفايات البلدية هو رماد الفحم (الغبار) الذي كانت له قيمة سوقية، حيث يستخدم في صناعة الطوب، وكمحسن للتربة. شجعت هذه الربحية مقاولي الغبار على استرداد 100 % من النفايات المتبقية بشكل فعّال بعد إزالة العناصر والمواد القابلة للبيع بسهولة من قبل القطاع غير الرسمي في الشوارع (رجال الخردة). لذلك، عُدّ هذا مثالاً مبكراً لإدارة النفايات الصلبة المنظمة على مستوى البلدية. وقد كان نظام ساحة الغبار يعمل بنجاح حتى منتصف خمسينيات القرن التاسع عشر، عندما انهارت القيمة السوقية لـ (الغبار). كان الأمر دافعاً لتسهيل الانتقال السلس نسبياً من ذلك النظام إلى نظام إدارة النفايات الصلبة المؤسسي الذي تديره البلدية في إنجلترا.

نتيجة لتفشي الكوليرا في منتصف القرن التاسع عشر في لندن، وظهور جدل حول الصحة العامة ظهر أول تشريع موحد بشأن القضية الصحية. فقد كان تقرير (الحالة الصحية للسكان العاملين) في عام 1842، للمصلح الاجتماعي، إدوين تشادويك، مؤثراً بشكل كبير في هذا التركيز الجديد، حيث ناقش أهمية مرافق إدارة النفايات وإزالتها بشكل كافٍ لتحسين صحة ورفاهية سكان المدينة.

بدأ قانون إزالة الإزعاج والوقاية من الأمراض لعام 1846، الذي كان من المفترض أن يكون عملية تتطور باطراد لتوفير إدارة النفايات المنظمة في لندن. وأدت

الزيادة الهائلة في كميات النفايات المطلوب التخلص منها إلى إنشاء محطات الترميد الأولى. ففي عام 1874 تم بناء أول مرمدة نفايات في نوتنغهام من قبل شركة مانلوف أليوت وشركاه المحدودة. ومع ذلك، فقد قوبلت الخطوة بالمعارضة بسبب الكميات الكبيرة من الرماد المتطاير التي تنتجها، والتي انتشرت فوق المناطق المجاورة. ثم ظهرت أنظمة بلدية مماثلة للتخلص من النفايات في مطلع القرن العشرين في مدن كبيرة أخرى في أوروبا وأمريكا الشمالية. ففي عام 1895، أصبحت نيويورك أول مدينة أمريكية يدير فيها القطاع العام نفايات المدينة.

كانت شاحنات إزالة القمامة المبكرة عبارة عن عربات قلابة مفتوحة تسحبها الخيول، ثم أصبحت مزودة بمحركات في الجزء الأول من القرن العشرين. وتم تقديم أول شاحنات بجسم مغلق للتخلص من الروائح باستخدام آلية رافعة في عشرينيات القرن العشرين في بريطانيا. وسرعان ما تم تجهيزها بـ(آليات القادوس) حيث تم تحميل المغرفة على مستوى الأرض، ثم رفعها ميكانيكياً لإيداع النفايات في الشاحنة. وكانت Garwood Load Packer أول شاحنة تتضمن ضاغطًا هيدروليكياً في عام 1938.

تميل معايير التخلص من النفايات إلى التخلي عن جمع النفايات بناءً على مبدأ (بعيداً عن الأنظار ، بعيدًا عن الأذهان). فمنذ الخمسينيات والستينيات من القرن العشرين بدأ استبدال المكبات المفتوحة تدريجياً بمطامر نفايات حديثة - كانت تُعرف في الأصل باسم (المطامر الخاضعة للرقابة) في المملكة المتحدة، و(مطمر نفايات صحي) في الولايات المتحدة.

وتم استبدال محارق الدفقات، مع التحكم الضئيل أو المعدوم بتلوث الهواء، بجيل جديد من المحارق المباشرة مع التحكم في الغبار في العديد من البلدان الأوروبية، مع استرجاع الحرارة.

على مدار الأربعين عاما الماضية، اعتبرت إدارة النفايات كمهنة علمية وهندسية. وظهرت أساليب جديدة ومعايير حرق النفايات و تحسن مطامر النفايات بشكل تدريجي وتم تطوير طرائق لفرز النفايات واسترجاع الموارد. فعلى سبيل

المثال، تم التوجه إلى طمر النفايات، مع التركيز على إنتاج العصارة، وإمكانية تلويثها للمياه.

أصبحت النفايات الصناعية والخطرة مصدر قلق كبير، ليتم تطوير التشريعات وأنظمة التحكم وشبكات مرافق المعالجة. وأصبحت إدارة النفايات أولوية من الأولويات السياسية. ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى القلق العام بشأن الحوادث التي حظيت بتغطية إعلامية جيدة، مثل Love Canal في الولايات المتحدة و Lekkerk في هولندا، حيث أدى التخلص غير المنضبط من النفايات الخطرة في الماضي إلى ظهور تلوث بيئي خطير[56].

4 - 3 - معاني وأصول الإدارة المتكاملة للنفايات

يقصد بإدارة النفايات الصلبة (SWM)، التعامل فنياً وإدارياً مع النفايات خلال دورة الحياة الكاملة للنفايات بدءاً من مرحلة إنتاج النفايات ثم التخزين والجمع من المصدر والنقل إلى مواقع مناسبة للتخزين المرحلي أو المعالجة ومن ثم إمكانية إعادة استخدام أو تدوير المواد القابلة لإعادة الاستخدام أو التدوير، ثم تحويل الجزء العضوي القابل للتحلل الحيوي إلى كمبوست أو إلى طاقة. وأخيراً التخلص النهائي من المتبقي بطرائق آمنة بيئياً. وفي الإدارة المتكاملة المستدامة يتم مراعاة الاعتبارات الاقتصادية والاجتماعية والبيئية والتخطيطية والتشريعية والمؤسساتية ، إلى جانب الاعتبارات الفنية.

تعد الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة (ISWM) طريقة لاستخدام مزيج من تقنيات إدارة النفايات لمعالجة الأنواع المختلفة من النفايات بطرق مستدامة بيئياً ومالياً واجتماعياً. إذ تعتمد هذه الإدارة على التعاون بين جميع المؤسسات والمنظمات والأفراد أصحاب العلاقة بموضوع النفايات.

لقد ارتبط مصطلح المتكاملة مع إدارة النفايات من قبل مجتمع الأبحاث في سبعينات القرن العشرين، وانعكس في أسماء مراكز البحث الأكاديمي المتعلقة

بالنفايات مثل أبحاث بقايا الموارد (Resources Research Residual)، وهي مدرسة أبحاث دكتوراه في الإدارة المتكاملة للموارد و النفايات في جامعة DTU في الدنمارك، ومركز الإدارة المتكاملة للنفايات بجامعة كرانفيلد في المملكة المتحدة، وأنظمة النفايات المتكاملة بالجامعة المفتوحة في المملكة المتحدة، ومركز CSIR للإدارة المتكاملة للنفايات في جنوب إفريقيا، ومركز الإدارة المتكاملة للنفايات بجامعة بافالو في الولايات المتحدة الأمريكية.

وارتبط مصطلح (متكامل) لأول مرة بإدارة النفايات الصلبة خلال سبعينيات القرن الماضي. فقد كان جدول أعمال القرن 21 المتفق عليه في مؤتمر الأمم المتحدة المعني بالبيئة والتنمية في ريو دي جانيرو في عام 1992 مؤثراً في إدارة النفايات الصلبة. حيث الدفاع المستميت عن النهج الشامل، وأنظمة (الإدارة المتكاملة والمستدامة للنفايات الصلبة)، فقد تم تناول الجوانب الثلاثة للاستدامة (البيئية والاجتماعية والاقتصادية)، مع التركيز بشكل خاص على الجمع المكاني لإدارة النفايات الصلبة وإنتاج الطاقة ومرافق إنتاج الأغذية.

لقد أصيب العديد من الوكالات الدولية والمنظمات غير الحكومية النشطة في البلدان النامية بخيبة أمل في أوائل التسعينيات من القرن الماضي، بسبب فشل النهج التقليدي والتقني بشكل حصري (غالباً ما يطلق عليه (الإصلاح التقني) وفقاً لـ(ويلسون، 2007)[57]. تم وضع برنامج تعاوني لإدارة النفايات الصلبة البلدية في البلدان منخفضة الدخل من قبل برنامج الأمم المتحدة الإنمائي وموئل الأمم المتحدة والبنك الدولي، بتمويل من الوكالة السويسرية للتنمية والتعاون. أسفرت ورشة عمل عقدت في إيتنغن ، سويسرا، في عام 1995 عن إطار مفاهيمي للإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة في البلدان المنخفضة الدخل (الشكل 4-1)[58].

هذا النهج الجديد مبني بشكل أساسي على المفهوم الشامل للاستدامة على مستويات متعددة. إنه يميز بين ثلاثة أبعاد رئيسية، كل منها يُشار إليه بسؤال، كما هو موضح في الشكل (4-1) كجانب واحد من المكعب.

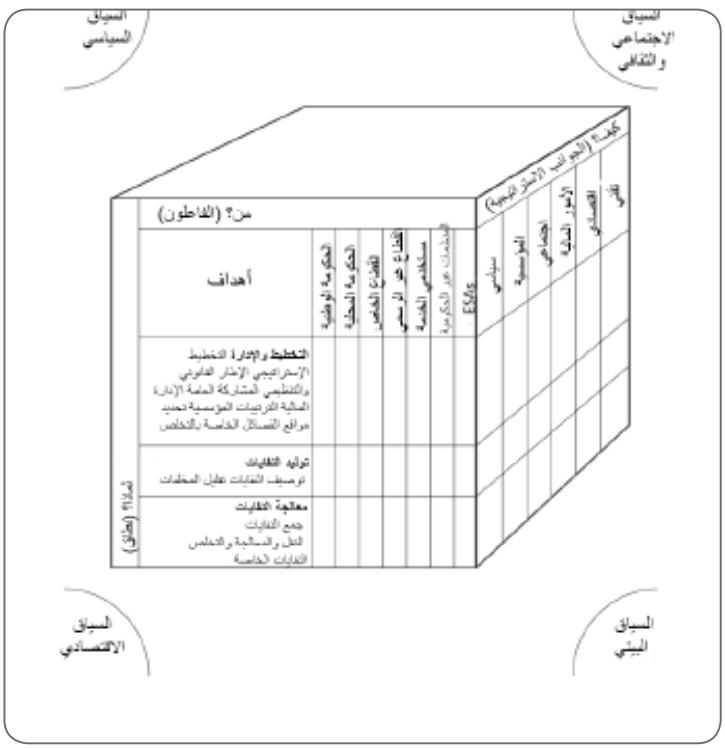
ماهو؟ - النطاق، الذي يشمل المكونات المادية لنظام النفايات، ولكنه يذهب إلى أبعد من ذلك بكثير من خلال تحديد عدد من قضايا التخطيط والإدارة الأخرى التي تحتاج إلى معالجة، مثل التخطيط الاستراتيجي، مشاركة العامة والإدارة المالية وما إلى ذلك.

من؟ - يركز على أصحاب المصلحة أو الجهات الفاعلة.

كيف؟ - كيفية معالجة الأهداف والقضايا الاستراتيجية.

الشكل 4-1:

الإطار المفاهيمي للإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة البلدية



يظهر كل جانب من جوانب المكعب أحد الأبعاد الأساسية الثلاثة لـ ISWM، يُشار إليها بسؤال. وتم تحديد بعض هذه العناصر أيضاً على أنها تشكل السياق المحلي الأوسع - السياسي والاقتصادي والاجتماعي والثقافي والبيئي - الذي يجب أخذه في الاعتبار، موضح في زوايا الشكل (4-1).

يمكن أن يُعزى بعض التفكير المبكر الذي يقوم عليه الإطار المفاهيمي إلى الباحث Arnold van de Klundert من منظمة WASTE غير الحكومية الهولندية[59]. حيث قامت هيئة المساعدة الإنمائية الهولندية التابعة لوزارة الشؤون الخارجية بتمويل منظمة WASTE لتنفيذ برنامج خبرة النفايات البلدية (UWEP) لمدة ست سنوات من عام 1995 ، وتضمن هذا البرنامج UWEP مشاريع بحثية وتجريبية لمدة ست سنوات حول النفايات البلدية في البلدان النامية. وتم تنسيق البرنامج من قبل منظمة WASTE، وشمل البرنامج إنشاء (هيئات محلية لإدارة النفايات)، وتطوير نظم إدارة النفايات المجتمعية في إطار شراكات مجتمعية – خاصة، وتعزيز قطاعات استعادة الموارد وإعادة التدوير في البلديات، وتحسين تكامل إدارة النفايات.

4 - 4 - المبادئ الأساسية للإدارة المتكاملة للنفايات

إن مفهوم الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة (ISWM) مبني على أربعة مبادئ أساسية:

أ. **الإنصاف:** تخصيص الموارد والخدمات والفرص لجميع شرائح السكان حسب احتياجاتهم. ويعني هذا أن لكل فرد الحق في أن يتم تفعيله من خلال نظام إدارة النفايات، الذي يحمي صحته والبيئة التي يعيش فيها. فالتلوث ينتقل ولا يعرف الحدود، لذلك إذا تم إهمال منطقة واحدة، يمكن أن تعاني مساحة أكبر منها بكثير.

ب- **الفعالية:** يجب أن تلبي أساليب إدارة النفايات المستخدمة الأهداف العامة. أي خطة النفايات وتلبية احتياجات الناس على الأقل. فالفعالية تعني أن جميع النفايات يتم جمعها ومعالجتها والتخلص منها بطريقة آمنة. ويتم وفق ذلك تحقيق أهداف عالية المستوى مثل تعظيم إعادة تدوير النفايات.

ج- **الكفاءة:** أي تعظيم الفوائد وتقليل التكاليف وتحسين استخدام الموارد المتاحة من الموظفين والجهد واستخدام المعدات وغيرها.

د- **الاستدامة:** أي يكون فعالاً لفترة طويلة من منظور تقني وبيئي واجتماعي واقتصادي ومالي ومؤسسي وسياسي. وتتحقق الاستدامة البيئية بتقليل استخدام الموارد الطبيعية غير المتجددة (مثل النفط)، الأمر الذي لا يؤدي إلى مشاكل بيئية طويلة الأجل يتم تركها للأجيال اللاحقة لمعالجتها.

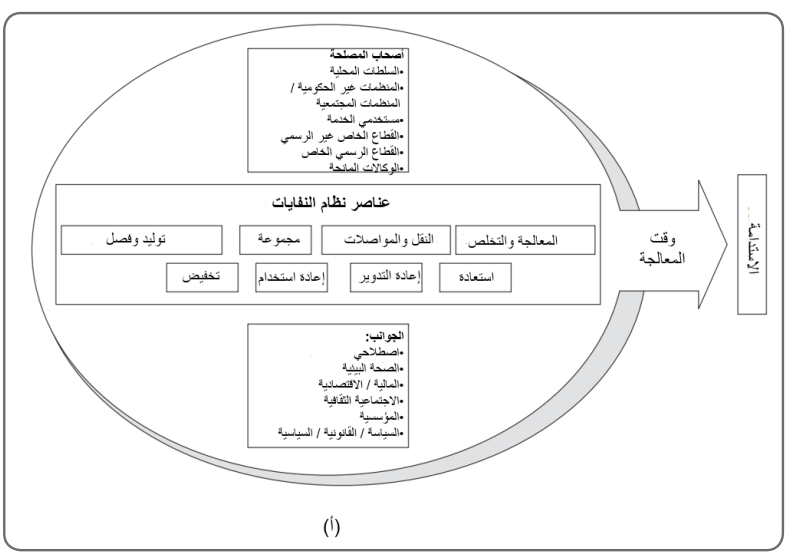
يمكن تحقيق استدامة نظام إدارة النفايات إذا كان مناسبًا للظروف المحلية باستخدام الموارد البشرية والمالية والمادية المتاحة في المنطقة.

4 - 5 - مكونات الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة ISWM

نظام الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة ISWM هو أكثر من مجرد R3. يتكون النظام من ثلاثة مكونات: العناصر الوظيفية لنظام النفايات، أصحاب المصلحة، والعوامل المؤثرة(الجوانب)كما يظهر في الشكل (4-2) [60]. وقد اعتمد مفهوم الإدارة المتكاملة للنفايات (ISWM) كأداة تحليلية وإطار عمل للتنمية المستدامة.

الشكل 4 - 2:

مكونات الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة



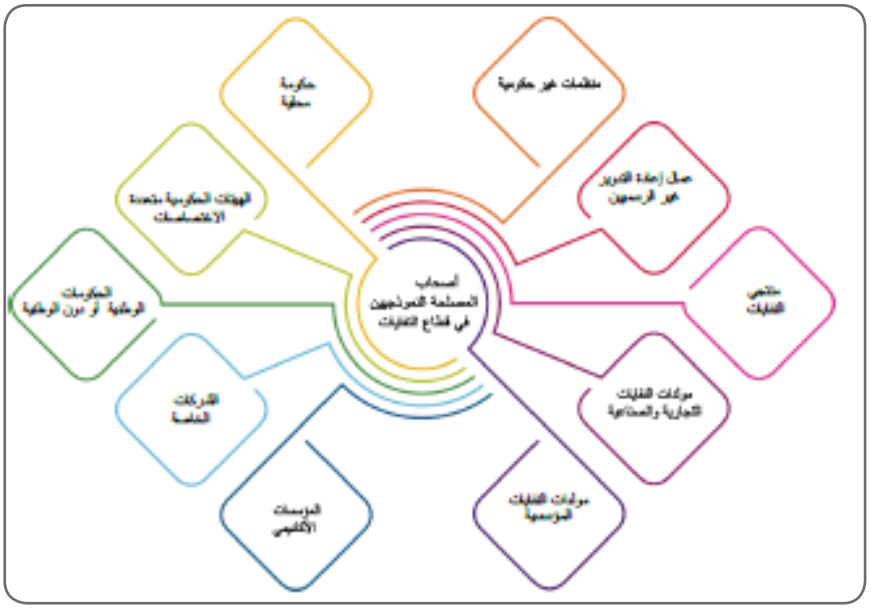
(أ)

4 - 5 - 1 - أصحاب المصلحة

يشير مصطلح أصحاب المصلحة إلى أي فرد أو مؤسسة لديها مصلحة في برنامج نفايات أو نشاط أو تتأثر بالنشاط. صاحب المصلحة هو شخص أو منظمة لها مصلحة، في هذه الحالة، مثل الوحدات الإدارية والبلديات المقدمة للخدمات المتعلقة بإدارة النفايات الصلبة من جمع ونقل ومعالجة أو التخلص النهائي منها. والمواطنين أو الأسر التي تستخدم نظام إدارة النفايات ، هي دائماً صاحبة مصلحة في إدارة النفايات. لكن أصحاب المصلحة الآخرين يختلفون في كل مدينة، لذلك يجب تحديدهم في السياق المحلي وغالبًا ما يتم تجميعهم أيضًا وفقًا لمصالحهم. ولتأثيرهم على إقناع الآخرين أو إجبارهم على اتخاذ قرارات معينة. أصحاب المصلحة بحكم التعريف لهم أدوار ومصالح مختلفة فيما يتعلق بإدارة النفايات كما يظهر في الشكل (4-3) [61].

الشكل 4 - 3:

أصحاب المصلحة في إدارة النفايات الصلبة



إذا كانت إحدى مؤسسات القطاع الخاص مساهمة في تقديم الخدمة، فهي أيضًا أحد أصحاب المصلحة.

المنظمات التي تقدم أي تمويل لـ (ISWM) (الحكومة المحلية والوطنية، المنظمات غير الحكومية، وكالات المعونة) هي أيضًا من أصحاب المصلحة. تتطلب إدارة النفايات جهودًا متضافرة طوال عملية إدارتها وتختلف درجة مشاركة أصحاب المصلحة من مكان إلى آخر. لذلك من الضروري تحديد أصحاب المصلحة ومجالات اهتمامهم ودرجات مشاركتهم في إدارة النفايات (مثل التمويل والتدريب وجمع النفايات وإعادة التدوير وما إلى ذلك).

باختصار يمكن تصنيف أصحاب المصلحة في ثلاثة أطراف رئيسية:

- جهة مولدة للنفايات بكافة أشكالها.
- جهة مقدمة لخدمة جمع ونقل ومعالجة النفايات والتخلص منها وعلى الأغلب هي جهة حكومية أو قطاع خاص.
- جهة مهتمة ضاغطة اجتماعياً وفكرياً وبيئياً.

ولكل من أصحاب المصلحة هؤلاء دوره ومسؤوليته في إدارة النفايات الصلبة.

التحدي الأهم في عملية الإدارة المتكاملة المستدامة للنفايات (ISWM) هو حمل أصحاب المصلحة على الموافقة على التعاون لغرض مشترك، وهو تحسين نظام إدارة النفايات. بالإضافة إلى ذلك، فإن أصحاب المصلحة في مدينة أو منطقة معينة يتشاركون في سياق اجتماعي وجغرافي مشترك ويمكن أن يكونوا مرتبطين بأنظمة أخرى بالإضافة إلى النفايات الصلبة.

4 - 5 - 2 - العوامل المؤثرة في الإدارة المتكاملة

ستؤثر عدة عوامل (تقنية، مالية، بيئية، سياسة وقانونية واجتماعية..) على اختيار وتشغيل وفعالية أي مخطط لإدارة النفايات ويجب أخذها في الاعتبار عند التخطيط لبرنامج ناجح لإدارة النفايات الصلبة.

4-5-3-عناصر نظام إدارة النفايات

يجب النظر إلى جميع عناصر نظام إدارة النفايات على أنها مراحل في حركة أو تدفق المواد من مرحلة التعدين، عبر مرحلة المعالجة والإنتاج والاستهلاك نحو المعالجة النهائية والتخلص من النفايات. نظام إدارة النفايات هو مزيج من عدة مراحل في إدارة تيار المواد داخل المدينة والمنطقة. تعد خطة إدارة النفايات جزءًا من استراتيجية الإدارة المتكاملة للمواد، حيث تتخذ المدينة قرارات مدروسة ومعيارية حول كيفية تدفق المواد.

تصبح عناصر إدارة النفايات بعد ذلك أساليب محددة للتعامل مع مواد معينة بعد استهلاكها. تدرك الإدارة المتكاملة المستدامة للنفايات ISWM العناصر البارزة من نقطة إنتاج النفايات إلى التخلص النهائي المتمثلة في ست عناصر رئيسية[62]:

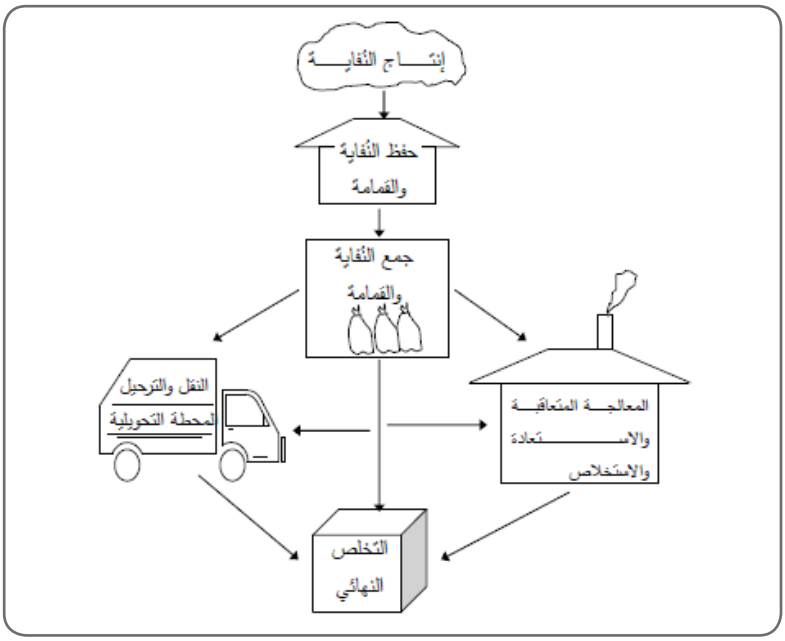
- تحديد مواصفات النفايات.
- المناولة والفصل والتخزين في المصدر.
- الجمع.
- النقل والترحيل.
- المعالجة.
- التخلص.

ومع ذلك، يتم تحقيق الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة من خلال تطوير وتنفيذ مجموعة متنوعة من الأدوات مثل التشريعات وإجراءات الإنفاذ والقدرة على إعادة استخدام النفايات وإعادة التدوير، وكذلك وجود بنى تحتية ومرافق للتعامل الآمن مع هذه النفايات ومعالجتها والتخلص منها. إنها تعطي وزناً متساوياً للعناصر الأقل فهماً مثل «تقليل النفايات» و «إعادة الاستخدام» و «إعادة التدوير والتحويل إلى كمبوست». تسعى عملية الإدارة المتكاملة المستدامة للنفايات ISWM إلى استكمال النظام الحالي بحيث يتم تمثيل جميع العناصر، كما في الشكل (4-4) [63]. عادةً ما

يعني هذا إضافة منع النفايات أو تقليل إنتاجها وإعادة استخدامها وإعادة تدويرها إلى المزيج الحالي.

الشكل 4-4:

عناصر نظام إدارة النفايات الصلبة.



إن الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة البلدية ليست واحدة في جميع المدن. حيث الوضع الجغرافي للمدينة مهم في تصميم نظام إدارة النفايات في المدينة. العديد من المدن في الدول النامية تتصف بمناخ حار، وبعضها مع موسم هطول امطار مرتفع، معدل نمو سكاني مرتفع بسبب استمرار الهجرة من الريف إلى المدينة، ظروف معيشية ضيقة مع القليل أو لا توجد مساحة لأوعية لتخزين النفايات، ووجود مساكن عشوائية وأكواخ، يمكن الوصول إليها فقط من خلال ممرات ضيقة أو ممرات غير معبدة. حركة مرور بطيئة بسبب العدد الكبير من الدراجات والعربات التي تجرها الحيوانات أو سيارات في شبكة الطرق المتاحة، توافر محدود لمواقع مناسبة للتخلص من النفايات في غضون فترة رحلة معقولة، وأرض منخفضة ذات منسوب مياه مرتفع. حيث تلوث المياه الجوفية هو العائق الرئيسي للتخلص من النفايات.

إن تواتر جمع النفايات في مدن الدول النامية ذات المناطق المكتظة بالسكان والمناخ الحار، ومساحة تخزين محدودة في أماكن المعيشة والمحتوى العالي للمواد القابلة للتحلل الحيوي في النفايات يفضل أن يكون كل يوم في البلاد الدافئة، أو مرة كل يومين في البلاد الباردة.

4-6- التخطيط في الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة

التخطيط يأخذ بعداً أكبر لقضية إدارة النفايات أكثر منه التركيز اليومي على التخلص الوقتي من المشكلة المؤرقة لمسؤولي البلدية وعمال النظافة وجهات الاختصاص. ومن ثم فإن الفعالية والكفاءة تأخذ اهتمام أعمق لوضع الأهداف للخدمات عبر خطة وطنية مدعومة بقانون وتشريع ملزم. يتبع ذلك وضع التصميم للتشغيل، وتمويل المؤسسة والنظام ولاطار العمل لقطاع إدارة النفايات، الشيء الذي يؤدي إلى توازن ديناميكي بين الطلب على الخدمات وإمدادها مما يسهل التمدد المنظم للخدمات لتأخذ التغيرات في الطلبات. وعليه لابد من تحديد الطلبات وتوفير أطر المعلومات للجمهور والبرامج التعليمية.

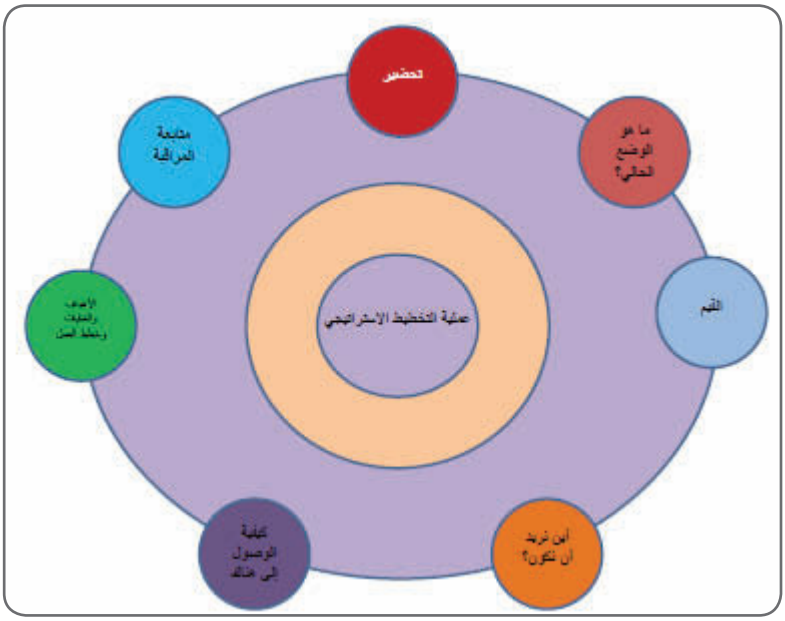
بما أن إدارة النفايات الصلبة مسؤولية مشتركة بين مستويات مختلفة (من الحكومة والوزارة المعنية بالنفايات الصلبة والمحافظات والبلديات والقرى)، لذا فإن القرارات الاستراتيجية يجب أن تتخذ ضمن الوزارة المعنية مباشرة بإدارة النفايات الصلبة بالإضافة إلى الوزارات التي لها دور في مسألة إدارة النفايات كوزارة المالية وغيرها .

4-6-1-خطوات التخطيط للإدارة المتكاملة للنفايات

تأخذ عملية التخطيط وصفها في عدة خطوات منتظمة للوصول إلى نظام مستدام لإدارة النفايات تبدأ بتحضير وتنظيم الخطة وبيان الوضع الحالي، انظر الشكل (4-5) [64]:

الشكل 4-5:

عملية التخطيط الاستراتيجي.



أ- تحضير وتنظيم دراسة الخطة في إطار المشاركة مع أصحاب العلاقة بموضوع إدارة النفايات، وتتضمن هذه الخطوة خطوات فرعية كتحديد أسباب الخطة واستقطاب الدعم السياسي، واستشارة كافة أصحاب العلاقة بمسألة النفايات، وتشكيل لجنة تسيير لملاحظة العملية وتنظيم العمل، وتشكيل مجموعة العمل التي تقوم بالتنفيذ، وتحدّد الوصف الوظيفي، وتأتي بالموارد والتمويل.

ب- تحديد المشكلة التي تعيق الوصول إلى إدارة ناجحة للنفايات الصلبة بتحديد الوضع الراهن، والتكهُّن بالمتطلبات المستقبلية، وتحديد كميات النفايات وتكوينها المورفولوجي المتوسط، والنظر في الإمكانيات الراهنة لإدارة النفايات، وتقدير الإمكانيات المستقبلية المطلوبة ونشر نتائج تحليل المشكلة.

ج- تحديد إطار الخطة ومداها باختيار مساحة الخطة وفترتها الزمنية،

واختيار أنواع النفايات الواجب النظر فيها عبر الخطة، وتعريف مستوى الخدمات التي يهدف اليها النظام، ووضع الأهداف وموجهات الخطة.

د- تشكيل وتقويم البدائل (الحلول) كما يظهر في الشكل (4-6)، فحسب مخرجات المراحل السابقة يمكن تحديد البدائل لكل محور بالإضافة إلى عناصر تشغيل النظام ، ومقارنة البدائل مع عدد من الموجهات التي تغطي كافة محاور إدارة النفايات.

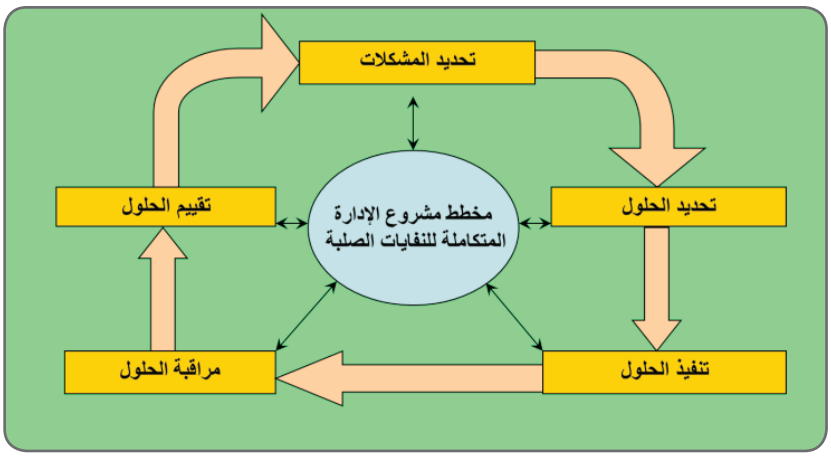
هـ- تكوين الخطة بمكاملة النتائج السابقة في استراتيجية متماسكة ومنظمة وملائمة لتنمية نظام إدارة النفايات لفترة عشر سنوات أو خمسة عشر سنة قادمة.

و- وضع خطة العمل الأولى مع ميزانيتها ونظم تحصيل التكلفة، وتحديد أولويات المشاريع الاستثمارية (دراسة الجدوى الاقتصادية).

ز- تنفيذ الخطة ومتابعة النتائج بعد الحصول على الموافقات المطلوبة للخطة، والبدء في تنفيذ الخطة والاتصال بالجماهير لرفع الوعي، والتعليم المطلوب لنجاح عملية التنفيذ، ووضع نظام لمتابعة الأداء وإدارة المعلومات والمراجعة الدورية لتحديد المشاكل التي واجهت تنفيذ الحل للعودة مرة أخرى وهكذا حتى الوصول للحل المطلوب.

الشكل 4-6:

تركيز الخطة على تحديد الحلول لمشكلات إدارة النفايات الصلبة



4-6-2- دور القرارات والسلوك في خطة إدارة النفايات الصلبة

إن صناعة القرار فيما يتعلق بإدارة النفايات الصلبة هي بالأساس ذات طبيعة اجتماعية/اقتصادية فإنتاج النفايات تابع لقرارات اقتصادية واجتماعية ومجموعة من السلوكيات وحلول إدارة النفايات الصلبة يجب أن تبدأ بتغيير القرارات التي تربط الكلفة المالية لمعالجة النفايات بالمتسببين في إنتاجها أو المستفيدين من خدمات معالجتها. وهي خدمات مجدية ومفيدة للبلد أو المدينة. ولكن لابد أن يتم طرح هذه المسؤولية المالية ضمن سياق القدرة على الدفع.

تلعب التكنولوجيا دوراً هاماً في معالجة النفايات إلا أن تطبيقها الفعّال يعتمد على القدرة الاقتصادية والرغبة من قِبَل أصحاب القرار في السلطة التنفيذية في الدفع نحو تطبيقها بشكل بيئي سليم وإمكانية دمجها ضمن المجتمع وسلوكياته.

4-7- أهمية ومزايا الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة (ISWM)

تتعلّق منظومة الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة البلدية (ISWM) بالتحكم في إنتاج النفايات، وتخزينها وجمعها ونقلها ومعالجتها والتخلص النهائي منها، في

إطار أفضل مبادئ الصحة العامة والاقتصاد والهندسة والأخلاق والأطر البيئية المقبولة. كما لإدارة النفايات علاقة عالمية مع قضايا أساسية مثل التحضُّر، تسهيل الحصول على مياه شرب آمنة، واستباب التنمية المستدامة، وصحة المجتمع، واستقطاب الموارد، مما يزيد من رفاه الفرد، وتحسين أخلاقيات المهنة.

ويعني إدخال الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة تبنّي كل الممارسات المفيدة والتأكد من أنها تعمل معاً بشكل فعال. ولديها عدد من المزايا لقطاعات المجتمع المختلفة.

1- التقليل وإعادة الاستخدام عند المصدر – تقليل النفايات عند المصدر وإعادة استخدام النفايات يعني أنه يجب جمع نفايات أقل. هذا يقلل من التكاليف على المواطنين، وعلى الشركات والسلطة المحلية. إذ يعني تقليل النفايات وإعادة استخدامها أن هناك تلوث أقل من التصنيع، وانخفاض الحاجة إلى استيراد السلع.

2- فصل النفايات عند المصدر – تتطلب العديد من مخططات الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة من شاغلي المنازل والشركات فصل المواد القابلة لإعادة الاستخدام، وتلك القابلة لإعادة التدوير عن بقية النفايات وفرزها حسب النوع. وهذا يساعد على جعل المواطنين أكثر وعياً بما يتم التخلص منه، وتعني أن المادة المفصولة من أجل إعادة التدوير أعلى جودة وبسعر بيع أعلى.

3- إعادة التدوير – مثلها مثل التقليل وإعادة الاستخدام لها فوائدها، فهي تقلل الحاجة إلى استخراج المواد الخام من الأرض أو لاستيرادها. إذ تقض بإنتاج المعادن والزجاج والورق من النفايات بدلاً من المواد الخام التي تستهلك طاقة أقل بكثير [65]. وكالتخفيض وإعادة الاستخدام، تعني إعادة التدوير إرسال كمية أقل من النفايات إلى مكب النفايات، مما يؤدي إلى مزيد من تخفيضات التلوث.

4- استعادة النفايات العضوية – تحويل النفايات العضوية إلى سماد هو

شكل من أشكال إعادة التدوير ولها فوائد مماثلة لعمليات إعادة التدوير الأخرى. حيث يتم تقليل كمية النفايات المرسلة إلى المكب، كما يمكن استخدام السماد محلياً لتحسين التربة والمحاصيل المزروعة عليها. كما يمكن استخدام النفايات العضوية في أجهزة هضم لاهوائية لإنتاج الغاز الحيوي للطبخ والإضاءة.

4-8- التحديات الشائعة في إدارة النفايات الصلبة في الدول النامية

أحد التحديات الرئيسية للإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة هو التنسيق بين أصحاب المصلحة، وجعلهم يعملون معاً من أجل هدف مشترك. لذلك يجب على أولئك الذين يعملون في إدارة النفايات أن يكونوا قادرين على العمل مع مختلف أصحاب المصلحة ومساعدتهم على الاتفاق على الطريق إلى الأمام. وتعتبر مشاركة أفراد المجتمع في التخطيط واتخاذ القرار مهمة بشكل خاص، لأن تعاونهم وموقفهم الإيجابي تجاه إعادة التدوير وإعادة الاستخدام سيكون ضرورياً.

تعرف المدن في الدول النامية العديد من المخاوف البيئية والصحية المرتبطة بإدارة غير كافية للنفايات، وتواجه هذه المدن العديد من التحديات للإدارة المناسبة لهذه النفايات، ومن أهم التحديات الشائعة:

أ- موارد وقدرات مالية محدودة :

تمتلك العديد من المدن مقدرات محدودة للتمويل المستدام للبنية التحتية أو العمليات. وغالباً ماتكون المدن مسؤولة عند التنفيذ لكنها لا تمتلك الأموال أو الخبرة المالية، وتكافح مع تكاليف الاستثمار، وصيانة المرافق، ووضع ميزانيات كافية لمشاريع إدارة النفايات الصلبة، أو ارتفاع التكاليف وعدم كفاية الإيرادات، مع استمرار زيادة حجم النفايات والبحث في استراتيجيات خفض التكاليف، ودمج برامج ضرائب الدفع أولاً بأول، وهذه كلها خيارات لتحويل برنامج إدارة النفايات الصلبة إلى برنامج قابل للتطبيق.

على الرغم من أن بعض البرامج والضرائب أو المصاريف ستواجه مقاومة عند تقديمها، فإن العثور على مصدر مستدام للتمويل لإدارة النفايات الصلبة هو جزء لا يتجزأ من البرنامج الناجح للإدارة.

ب- المعرفة التقنية غير الكافية للمعدات

غالبا مايلزم الامر إستيراد معدات للتعامل مع النفايات الصلبة وقد لا يمتلك المشغلون المعرفة التقنية والموارد اللازمة للصيانة المناسبة والمتناسقة، إذا لم تكن التجهيزات مصممة حسب الظروف المحلية، يمكن أن يضيف عدم التوافق تحديات أكثر لأنه قد يكون هنالك حاجة لإصلاحات متكررة، وقد يكون من الصعب العثور على قطع غيار. على سبيل المثال في المناطق الاستوائية، يمكن أن تؤثر الظروف المحلية مثل الرطوبة والحرارة العالية بشكل سلبي على التجيهزات، مؤدية إلى إصلاحات متكررة في العديد من الحالات هناك خيارات معدات متعددة، البعض منها ربما تكون أفضل ملاءمة للظروف المحلية .

ج- محدودية الخبرة الفنية والوعي بأفضل الممارسات

تفتقر غالباً الحكومة المحلية للخبرة المطلوبة لتقييم التقنيات أو الحلول من أجل تحديد أنسبها لموقفهم. ويمكن أن ترفع الحالات الصعبة عندما توقع الشركات الخاصة عقوداً مع المدن لتزويدها بالتقنية أو تنفيذ المشروع، لكن تتضمن العديد من عقود المشاريع لمعالجة النفايات متطلبات تكفلها المدينة بوجود مادة أولية نظيفة أو متناسقة، يمكن أن تتجاهل الشركات الخاصة العمل إذا فشلت المدينة في تلبية هذه المتطلبات، ويمكن أن تفشل المشاريع كنتيجة لذلك. وغالباً مايكون الكادر وصانعو القرار غير مدركين لأفضل الممارسات في حالات مشابهة منفذة بشكل ناجح لمدن أخرى.

إن المعرفة التقنية وزيادة الوعي بأفضل الممارسات يمكن أن يتحسن بالمشاركة في تبادل المعلومات الأقليمية والدولية.

د- قدرة الكوادر المحدودة:

تفتقر العديد من المدن لكوادر أكفاء يكرسون أنفسهم لمعالجة قضايا إدارة النفايات الصلبة. وغالباً ما يركز هؤلاء الموظفون على معالجة حالات الطوارئ الفورية، ولديهم وقت أو قدرة محدودة للمشاركة في التخطيط طويل المدى وتطوير الاستراتيجيات.

هـ- التغييرات الإدارية و السياسية :

يمكن أن ينتج عن التغييرات الإدارية في المشاريع تحديات جمة، خاصة في حال التغييرات الجذرية من قبل المسؤولين الجدد وإعادة تكليف موظفين رئيسيين في المشاريع الكبيرة لإدارة النفايات الصلبة. ونتيجة لذلك فإن العديد من رواد المشاريع الذين يمتلكون خبرة فنية كبيرة يكونون غير متاحين لمتابعة المشاريع حتى اكتمالها. ويمكن أن تساعد تشريعات إدارة النفايات الصلبة، سواء الوطنية أو دون الوطنية التي تنشئ أنظمة مستدامة طويلة الأجل تستمر عبر الإدارات في التغلب على هذا الحاجز. و يمكن أن يساعد الحفاظ على استمرارية الموظفين في مشاريع وعمليات إدارة النفايات الصلبة أيضاً في تقليل هذه الاضطرابات.

و- الافتقار للتخطيط والتقييم:

أثر سلبي آخر ينجم عن الافتقار للتخطيط والتقييم على المستويين الوطني وفي البلديات يوثر على نجاح نظام إدارة النفايات الصلبة. وتظل الأطر أو اللوائح الوطنية مهمة لتسهيل التخطيط طويل الأجل، ووضع معايير وطنية وتقديم حوافز للبرامج لتقليل النفايات أو إعادة تدويرها أو تحويلها إلى كمبوست.

وغالباً مايتم التنفيذ مع تجاهل التخطيط على مستوى البلديات، الأمر الذي يمكن أن يخلق تحديات لاحقاً. وهذا هو السائد بشكل خاص عندما يكون هناك اضطرابات غير مخططة مثل الكوارث الطبيعية. وسيساعد إنشاء خطة وطنية ومحلية تتضمن نظاماً للرصد والتحقق في إنشاء نظام مستقر لإدارة النفايات الصلبة.

ز- محدودية أو نقص التنسيق الحكومي الرأسي والأفقي

تقع إدارة النفايات الصلبة عادة ضمن اختصاص الوزارات أو الوكالات البلدية على مستويات حكومية مختلفة. على سبيل المثال، قد تشارك جميع الوكالات الحكومية المسؤولة عن البيئة، والتنمية الحضرية والإسكان، أو الزراعة في أجزاء مختلفة من نظام إدارة النفايات الصلبة، ولكن قد لايكون لديها أطر رسمية للتعاون، بالإضافة إلى ذلك فإن الحكومات المحلية مسؤولة عن تنفيذ اللوائح الوطنية.

ويمكن للحكومات الوطنية أن تلعب دوراً مهماً في خلق بيئات تمكينية للمشاريع المحلية الناجحة. كما يمكن للآلية التي تمكن من التنسيق بين طبقات الحكومة أن تساعد في إنشاء نظام شامل.

ح- ظروف العمل الصعبة

قد يتقاضى العاملون في إدارة النفايات الصلبة في البلدان النامية أجوراً أقل من اللازم، ولا يتلقون تدريباً كافياً. فبدون التدريب المناسب ومعدات الحماية الشخصية، فإن هؤلاء العمال يتعرضون لخطر الإصابة أو المرض. وتشير الدراسات إلى أن نسبة عالية من العمال الذين يتعاملون مع النفايات، والأفراد الذين يعيشون بالقرب من مواقع التخلص من النفايات معرضون لخطر الإصابة بالامراض التي تسببها الديدان أو الطفيليات. وتؤدي ظروف العمل الصعبة كذلك إلى نقص الحافز للعمال، وانخفاض معدلات الاحتفاظ بالموظفين.

ط- محدودية ونقص التواصل مع أصحاب المصلحة

إن محدودية ونقص التواصل مع المعنيين بما في ذلك السكان يمكن أن يؤدي إلى إلقاء غير قانوني للحاويات وإساءة استخدامها وتلفها، ومقاومة رسوم الخدمة والفصل غير المناسب للنفايات، من بين أمور أخرى.

القطاع غير الرسمي هو مجموعة مهمة من أصحاب المصلحة يجب مراعاتها وتضمينها عبر خطوات محددة أثناء التخطيط لبرنامج إدارة النفايات الصلبة. وبشكل عام يتألف القطاع غير الرسمي من الأفراد والمجموعات والشركات الصغيرة التي تؤدي الخدمات غير الرسمية للنفايات، والتي تشمل جمع المواد القابلة لإعادة التدوير وبيعها، عادة من خلال وسطاء [66].

ي- محدودية الأراضي المتاحة

مع استمرار نمو المناطق الحضرية وزيادة عدد السكان، تتناقص المساحة المتاحة لمرافق إدارة النفايات الصلبة، ومواقع التجميع المحلية ومحطات النقل. وقد لاتكون هناك مساحة، أو قد تكون المساحة المتاحة باهظة الثمن، أو قد يمنع السكان المحليين من تطوير المرافق بسبب مخاوف من انخفاض قيمة الأرض.

حيث لا تتوافر الأرض قليلة التكلفة تظهر مجموعة جديدة من التحديات، لأن نقل النفايات لمسافات طويلة يمكن أن يكون مستهلكاً للوقت ومكلفاً، ويمكن لمديري مرافق إدارة النفايات الصلبة العمل مع القادة المحليين والإقليميين لإنشاء خطة إدارة النفايات الصلبة التي تؤكد على أهمية تخطيط الطريق والمدينة. وستلعب برامج التحويل أو الفصل كذلك دوراً كبيراً في تقليل كمية النفايات التي يجب جمعها في وقت واحد.

ك- الظروف المناخية والجغرافية والطبوغرفية

تؤثر جميعها على توافر المعدات وتكلفتها، وجدوى التقنيات، وتكاليف التشغيل والجوانب الأخرى لإدارة النفايات الصلبة، على سبيل المثال قد تقوم المدن في المناطق الاستوائية بتكييف استرتيجيات إدارة النفايات الصلبة مع درجات الحرارة المرتفعة، ومعدلات تحلُّل النفايات العضوية الأسرع في المدن مقارنة مع المناخات الباردة. ويمكن أن تشكل الخصائص الجغرافية والطبوغرافية تحديات لإدارة النفايات الصلبة. كما تواجه الجزر على وجه الخصوص تحديات كبيرة

بسبب المساحة المحدودة للتخلص من النفايات، فضلاً عن محدودية الوصول إلى تقنيات إعادة التدوير. وقد تحتاج المدن الواقعة في مناطق التلال إلى تصميم مواقع التخلص من النفايات التي تتسم بالمرونة تجاه فشل المنحدرات.

ل - الاتجاهات الثقافية

يمكن للتفضيلات والاتجاهات الثقافية أن تعقد جهود إدارة النفايات الصلبة، على سبيل المثال أدت زيادة الدخل وانخفاض أسعار السلع إلى نمو هائل في استهلاك المواد وإنتاج النفايات في جميع أنحاء العالم . وهذا يتطلب من مديري مرافق إدارة النفايات الصلبة مواجهة الآثار المترتبة على هذه الاتجاهات. ويلزم الأخذ في الاعتبار المعايير الثقافية أثناء التخطيط لإدارة النفايات الصلبة، واتباع نهج منسق لإشراك أصحاب المصلحة.

4-9- تقسيم خدمات إدارة النفايات واستخدام نظم المعلومات الجغرافية :

يتم تقسيم خدمات إدارة النفايات الصلبة من خلال استعمال مجموعات من الخرائط المختلفة، وذلك لبناء و/ أو تحليل مختلف المتغيرات، وباستخدام تقنيات نظام المعلومات الجغرافية ومعلومات الإدارة فإنه من الممكن محاكاة أعمال الجمع والنقل والتخلص من النفايات الصلبة، كما في الشكل (4-7) وتحديد تموضعها واستخدامها في كل مجال، وفي كل منطقة .

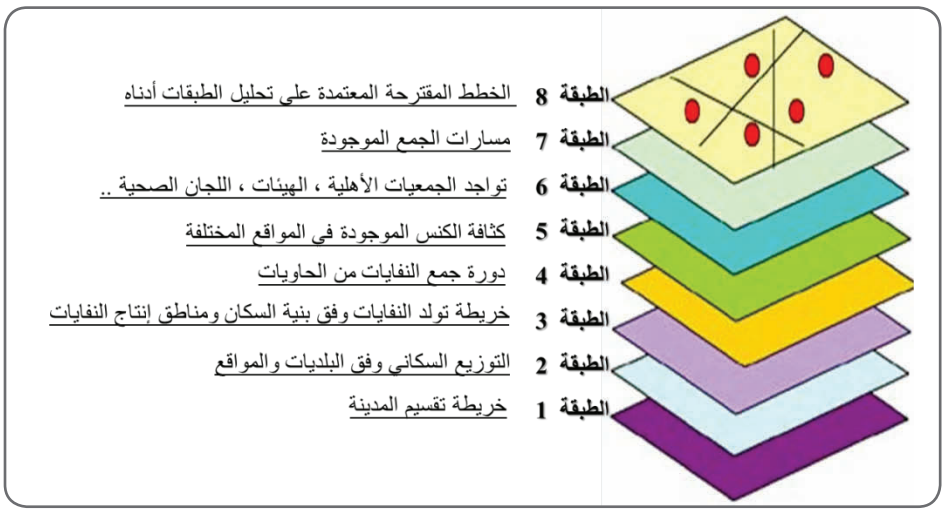
وتوفر نظم المعلومات الجغرافية المتكاملة إطار نمذجة لصانعي القرار، لتحليل ومحاكاة مختلف المشاكل المتعلقة بإدارة النفايات الصلبة البلدية، وقد استخدمت هذه الأداة لنمذجة مختلف التطبيقات في إدارة النفايات مثل تحديد مواقع محطات التحويل، ومطامر النفايات، وتحسين عملية الجمع والنقل، التنبؤ المحلي للنفايات [67].

وتتميز نظم المعلومات الجغرافية بإمكانية ربط المعلومات المكانية والوصفية

والجغرافية. كما تتميز بربط المعلومات الخاصة بإحصائيات السكان في منطقة ما مع البيانات الجدولية الخاصة بالخدمات والتنظيم وطبيعة المنطقة، ما يمكن من إجراء التحاليل وتنسيق الخدمات للوصول للخدمة الأفضل، مع إمكانية تغيير أي عنصر من عناصر الشبكة في أي وقت، واستمرار ارتباطه بالمنظومة الكلية للخدمة. ونجد أدناه نموذج لتقسيم الخدمات على طبقات متعددة لنظافة مدينة .

الشكل 4-7:

نموذج لتقسيم خدمات النفايات على طبقات متعددة



يوفر استخدام أدوات النمذجة المكانية ونظم المعلومات الجغرافية في الجمع والنقل الأمثل المكاسب الاقتصادية، والبيئية من خلال تقليل وقت السفر والمسافة، واستهلاك الوقود وانبعاثات الملوثات.

4-10- تمويل إدارة النفايات الصلبة

يماثل تمويل إدارة النفايات الصلبة تمويل غيرها من الخدمات مثل مياه الصرف وغيرها، وتضم الموازنة مكونات التكاليف والعوائد التي تتغير حسب نظم النفايات، والملكية، وضوابط العقود واللوائح المالية السارية.

يأتي تشغيل نظم النفايات بعائدات عديدة مثل:

- العائد من مبيعات الخدمات والسلع.
- فاتورة النفايات من المنازل والمكاتب والمؤسسات وغيرها.
- رسوم الطمر في المطامر الصحية.
- عائد بيع المواد القابلة لإعادة الاستخدام والتدوير.
- عائد بيع الغاز الناتج عن المطامر الصحية.

تشمل تكلفة الإنشاء والتشغيل لمنشأة النفايات التالي:

1. رأس المال: وهو إستثمار يدفع لمرة واحدة من المالك، أو بالاستفادة من القروض والهبات وغيرها من أوجه استقطاب الدعم والتمويل لتشييد المنشأة، والبدء في المشروع، وتقديم الخدمات.
2. تكلفة الصيانة والتشغيل والتي تضم الأجور والرواتب، وقطع الغيار، والخدمات، والمحروقات وغيرها من المتطلبات التشغيلية. ولدواعي الصيانة والترميم على أساس يومي/شهري/سنوي.
3. تكلفة التسهيلات الخارجية لإدارة العملية.
4. رسوم المتخصصين والمستشارين.
5. رسوم التدريب وبناء القدرا ت والتنمية البشرية.
6. تكاليف البحث العلمي في مشاريع إدارة النفاية والقمامة.
7. تكاليف الاهتمام بالوحدات، ومناطق التخلص النهائي، والصحة المهنية والعامة، وفوائد ما بعد الخدمة وغيرها.
8. التكاليف البيئية والاجتماعية.

يدفع المواطنون والمنظمات ومنتجي النفاية والقمامة لكل من:

- الجهة التي تجمعها من المساكن والمتاجر والمصانع حيث أُنتجت تلك النفايات.
- الجهة التي توفر نقاط تراكمها وعزلها.
- الجهة أو الشخص الذي يقوم بنظافة المنطقة والشوارع والحارات والأزقة.
- كما ينبغي أن يدفع المواطنون للدولة من أجل جمع النفايات والتخلص منها، فعدم إزالة النفايات يؤثر سلباً على المجموعة السكنية بطريقة مباشرة أو غير مباشرة.

إن وجود جامعي القمامة (النباشين) حول أماكن التخلص من النفاية لاستخلاص المواد التي يمكن تدويرها وإعادة استخدامها، وإيجاد ثمن لها يعود عليهم بالفائدة، كما أنه يقلل من الكمية الواجب التعامل معها والتخلص منها. وفي هذا محافظة على قيمة مضافة على أي منتج، بمعنى أنه عند التخلص من شيء ما ورميه في سلة المهملات فإنه يفقد فقط قيمته الحاضرة، غير أن فائدته لأمر آخر يُستخدم فيه فما تزال في الانتظار لحين التقاطه. مثلاً تفقد القارورة الزجاجية قيمتها للتعبئة، غير أن قيمتها كقارورة حافظة لسوائل أخرى ما تزال قائمة. وإن تهشمت تفقد القيمة المضافة كحافظة، غير أن الشظايا مازالت زجاجاً وإن كان مهشماً، فقد تم الحصول عليه عبر عمليات معقدة جداً من مزج الرمل ورماد الصودا والجير وتنقية هذه المكونات مجتمعة، وتستمر لهذه القطع المهشمة من الزجاج قيمة يمكن أن تُسترد عند جمعها، وإزالة ما عليها من ملوثات، ومن ثم إدخالها في عملية تدوير الزجاج [68].

ليس لقيمة إعادة استخدام المادة لصناعة منتجات أخرى علاقة بالاستخدام الأصلي مثل استخدام العلب المعدنية الحافظة للزيت في صناعة الأفران المنزلية. وتعتمد قيمة المادة على طبيعتها، فمثلاً النفايات العضوية القابلة للتحلل لها قيمة كخليط كربون ونتروجين، إذ يمكن تحويله إلى كمبوست، وهكذا.

4 -11- مشاركة القطاع غير الرسمي و الخاص في إدارة النفايات الصلبة :

تكون السلطات الحكومية المحلية، عادة على مستوى البلديات أو المحافظات، مسؤولة رسميًا عن إدارة جمع النفايات الصلبة البلدية والتخلص منها [69]. ومع ذلك، هذه ليست ذات الحال في جميع البلدان، إذ تتحمل الوكالات المتخصصة في بلدان عدة مسؤولية الإشراف على إدارة النفايات الصلبة وحدها، أو بالتعاون مع السلطات البلدية. وفي العديد من الحالات يتعاقد الفاعلون الرسميون لجمع النفايات والتخلص منها مع مشغلين من القطاع الخاص. ويعمل القطاع الرسمي لإدارة النفايات الصلبة البلدية، في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا في إطار مختلف من الأطر المؤسسية والقانونية والسياساتية.

هناك العديد من الدوافع وراء الأنشطة غير الرسمية في قطاع النفايات الصلبة، بما في ذلك عوامل اقتصادية واجتماعية وبيئية. وتشكل العمالة في هذا القطاع محركاً رئيسياً، بما أنها توفر مصدراً لكسب العيش للعديد من الأفراد في أكثر أنحاء منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا. ويعد القطاع غير الرسمي لإدارة النفايات الصلبة في المنطقة من بين أكبر قطاعات النفايات غير الرسمية في العالم، إذ يقدر عدد العاملين بنحو 120000 شخص في القاهرة وحدها [70]. ويوفر القطاع غير الرسمي فرص عمل أكثر من القطاع الرسمي. إذ يوفر في حالة القاهرة ما يصل إلى أربعة أضعاف الوظائف التي يؤمنها القطاع الرسمي. وفي المناطق التي تكون فيها معدلات جمع النفايات البلدية الرسمية منخفضة، يزدهر الطلب على خدمات جمع النفايات غير الرسمية.

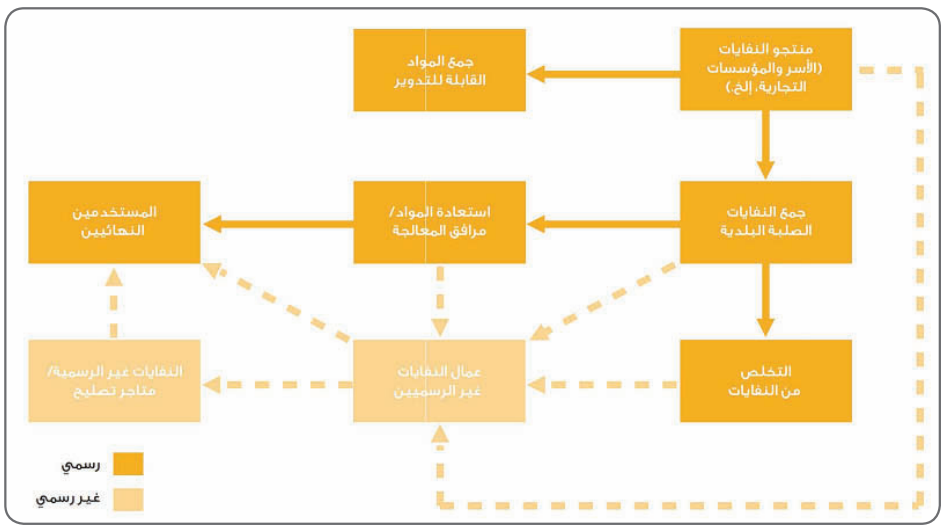
وتشمل الإدارة غير الرسمية للنفايات الصلبة أنشطة الأفراد والأسر والمشاريع الصغيرة التي تعمل إما في خدمات إدارة النفايات أو تثمينها أو كليهما. وتكون عادةً الأنشطة في هذا القطاع صغيرة ومتوسطة، والعمالة كثيفة ومنخفضة الأجر، والإجراءات غير منظمة وغير مسجلة وغير مُرخَّص لها، وغير معقدة على صعيد التكنولوجيا من أجل استرداد المواد القيمة من مجرى النفايات الصلبة للأفراد أو المجموعات الصغيرة. وفي العديد من الحالات، يكمّل قطاعا النفايات الصلبة (الرسمي وغير الرسمي) بعضهما البعض، لكن يمكن أن يتنافسا أيضاً بشكل مباشر

في مجال إعادة التدوير والتثمين. ويعرض الشكل (4 – 8) نظرة عامة على التفاعلات الرئيسية بين أنشطة إدارة النفايات الصلبة الرسمية وغير الرسمية [71].

الشكل 4-8:

التفاعلات الرئيسية بين

أنشطة إدارة النفايات الصلبة الرسمية وغير الرسمية



يتألف قطاع النفايات الصلبة غير الرسمي من قطاعين رئيسيَّينْ: قطاع الخدمات غير الرسمية وقطاع التثمين غير الرسمي. كما يتألف قطاع الخدمات عادةً من الأفراد أو المؤسسات الصغيرة التي تتقاضى رسوم إزالة النفايات، وهي ممارسة تحدث غالباً في المناطق التي تكون فيها معدلات جمع النفايات البلدية الرسمية منخفضة. ويتألف قطاع التثمين غير الرسمي من الأفراد والأسر والمشاريع الصغيرة المتخصصة في تحديد وإزالة المواد القيمة من مجرى النفايات. ويتم بيع الأشياء القيمة المستخرجة بدورها لأغراض إعادة الاستخدام الشخصي أو التجاري، أو إعادة استخدامها بعد إصلاحها أو إعادة تدويرها، أو لتثمينها العضوي كعلف للحيوانات أو لإنتاج الكمبوست. وهناك العديد من المهن المحددة لعمال النفايات غير الرسميين في عدد من البلدان. يعرض الجدول (4-1) بعض المهن الرئيسية التي توجد في قطاعات النفايات غير الرسمية [71].

الجدول 4-1:
بعض المهن الرئيسية التي توجد في قطاعات النفايات غير الرسمية

الوظائف غير الرسمية	الوصف	نطاق العمل	مصدر الأرباح
جامعو النفايات المتجولون	يجمعون المواد القابلة للتدوير	الأسر والشركات والخدمات من الباب إلى الباب	بيع المواد القابلة لإعادة التدوير للتجار أو المستخدمين النهائيين
منخلو الشوارع/ نباشو القمامة	يجمعون المواد القابلة لإعادة التدوير ومواد النفايات الضخمة لأغراض الجمع الرسمي	الشوارع وحاويات القمامة الخاصة والعامة	بيع المواد القابلة لإعادة التدوير للتجار أو المستخدمين النهائيين
نباشو الشاحنات	عمال النفايات الرسميون يفرزون المواد القيمة أثناء جمعها	الشاحنات ومعدات جمع النفايات الأخرى	بيع المواد القابلة لإعادة التدوير للتجار أو المستخدمين النهائيين لتعويض الأجور
نباشو المواد المعاد تدويرها	العمال الرسميون الذين "يسرقون" من مراكز إعادة التدوير البلدية	مراكز إعادة التدوير وحاويات القمامة الخاصة والعامة	بيع المواد القابلة لإعادة التدوير للتجار وتجار السلع المستعملة
نباشو المطامر والمكبات	يعملون ويعيشون في المكب، ويفرزون النفايات التي تنقلها الشاحنات	مكبات النفايات	إعادة البيع لتجار السلع المستعملة
أصحاب متاجر الخردة	يشترون المواد من مشتري النفايات المتجولين بالكيلوغرام أو يوظفون نباشو قمامة	متاجر الخردة الصغيرة والمتوسطة الحجم	البيع في أعلى سلسلة القيمة
الجامعون المتجولون "للأغراض القابلة لإعادة الاستخدام"	يجمعون ويعيدون بيع الأجهزة الإلكترونية والمفروشات، إلخ.	الشوارع والحاويات العامة والخاصة	إعادة البيع لتجار السلع المستعملة

نلاحظ في السنوات الأخيرة وجود شراكة بين القطاعين العام والخاص في قطاع النفايات الصلبة البلدية نتيجة لعدم كفاية الاستثمارات، والضغوط المتزايدة على الميزانيات الحكومية، بالإضافة إلى القلق العام تجاه عدم كفاءة الخدمات التي تقدمها المؤسسات، والوكالات الحكومية، حيث طبقت الشراكة بشكل رئيسي في مجالات البنى الأساسية في المدن.

هذه الخدمات كان يتم تقديمها بشكل أساسي من قبل القطاع العام، ما يستلزم ضخ استثمارات كبيرة، مثلما يحتاج الامر إلى وقت طويل قبل أن تبدأ في إعطاء عائد بلغة اقتصادية، وعادة ما تكون الحكومات راغبة في أن تستمر قدرتها في السيطرة على تقديم تلك الخدمات نظراً لضرورتها للمجتمعات الحديثة. وتميل عملية تسعير هذه الخدمات نتيجة لاعتبارات اجتماعية إلى عدم المرونة. إلا أن خدمات البنية الأساسية المقدمة من قبل القطاع العام اتسمت في الكثير من الحالات بانخفاض درجة كفاءتها، وقلة انتشارها، وإهمال صيانتها.

في بعض الحالات قد يحدث أن تتخلى الدولة عن أصولها كاملة لصالح القطاع الخاص ضمن عملية الخصخصة. وقد يتم اللجوء إلى إفساح المجال أمام القطاع

الخاص من خلال شراكة حقيقية ومتكاملة مع القطاع العام، من أجل معالجة عجز الدولة عن القيام بالاستثمار في المشاريع الرأسمالية، ذلك نتيجة تفاقم العجز في موازناتها العامة. فيقوم القطاع الخاص بالمشاركة في تمويل المشاريع العامة لتطوير البنى الأساسية، بالإضافة إلى تقديم خبراته الإدارية والفنية في هذا المجال.

تختلف عملية الشراكة بين القطاعين العام والخاص عن الخصخصة، في أن الحكومة من خلال الخصخصة تقوم بالتخلي كلياً أو جزئياً عن أصولها لصالح القطاع الخاص بشكل نهائي من خلال البيع، بحيث تؤول الملكية للقطاع الخاص بالنهاية مقابل عائد مالي، في حين يقوم القطاع الخاص في عملية الشراكة بمسئولياته في عملية البناء والإدارة والتشغيل وتقديم الخدمة والصيانة وغيرها من الأمور التي يتم الاتفاق عليها مع الحكومة، بالإضافة إلى تحمله المخاطر التجارية فيما تحتفظ الدولة بملكية الأصول.

وقد حُظي موضوع الشراكة بين القطاعين العام والخاص باهتمام كبير من قبل الحكومات والمجتمعات والمراكز البحثية في مختلف إنحاء العالم، ذلك بعد أن اتضح بأن عملية التنمية الاقتصادية والاجتماعية تعتمد على حشد وجمع كافة إمكانات المجتمع، بما فيها من طاقات وموارد وخبرات كل من القطاع العام والخاص، لتشارك في تنظيمات مؤسسية تتولى إنشاء وتشغيل المشاريع بمختلف أنواعها، بعد أن واجهت التنظيمات المؤسسية المنفصلة والمستقلة قطاعياً تحديات وصعوبات في تحقيق الأهداف التنموية بالمستويات الطموحة المستهدفة، لذلك تسعى الدول المتقدمة والنامية على حد سواء إلى خلق التنظيمات المؤسسية والتشريعات والنظم لتبني التنظيمات التشاركية التي تساهم فيها كافة قطاعات المجتمع في توجيه وإدارة وتشغيل المشاريع والأعمال وتطويرها وتنميتها من أجل خدمة أغراضها.

إن اقتران الإنفاق في مجال البنى الأساسية بتحفيز التنويع الاقتصادي، وبالتالي الرفع من النمو الاقتصادي وتحقيق التنمية الاقتصادية المنشودة، مثل بعض الاستثمارات في البنية التحتية تولّد عائداً اجتماعياً مرتفعاً إلى حد ما، غير أنه من غير المؤكد بأي حال ما إذا كانت زيادة الإنفاق على البنى الأساسية في حد ذاتها يمكن أن تحفز التنويع الاقتصادي.

4-11- 1 -أسباب مشاركة القطاع الخاص

على الحكومة المحلية أن تحدد مدى حاجتها لمشاركة القطاع الخاص في مجال إدارة النفايات الصلبة، وقبل أن تصدر قرارها بالمشاركة أو عدمها يجب على المسؤولين فيها الإجابة على الأسئلة التالية:

أ- هل هناك أجزاء من المدينة أو البلدة لا تجمع فيها النفايات الصلبة نظامياً، ويتم التخلص منها من قبل السكان عشوائياً برميها في الشوارع والأراضي غير المأهولة؟

ب- هل هناك صعوبة في تحصيل وجباية ضرائب ورسوم جمع النفايات الصلبة والتخلص منها، وبالتالي وجود عدد من المستفيدين لا يدفعون هذه الرسوم أو يتأخرون في دفعها؟

ج- هل توجد مطالبة من سكان المدينة أو البلدة بإيجاد وسائل جمع محسنة ومتطورة للنفايات الصلبة وجعلها أكثر نظامية ومرونة وملائمة؟

د- هل إنتاجية وفعالية عمال جمع النفايات الصلبة ضعيفة وغير ملائمة؟

هـ- هل هناك توجه سياسي وحكومي لمشاركة القطاع الخاص في هذا المجال؟

إذا كان الجواب على الأسئلة المذكورة أعلاه إيجابياً، فلابد للحكومة من إشراك القطاع الخاص في إدارة النفايات الصلبة لمعالجة هذه القضايا، وإيجاد الحلول المناسبة لها، ولا بد أن يصاحب اتخاذ هذا القرار تقديم التسهيلات الضرورية لتنفيذه بما في ذلك تعديل الأنظمة المحلية التي يمكن أن تعيق تحقيقه على أكمل وجه.

لتحقيق النجاح في دولة نامية، يجب أن تكون الشراكة بين القطاعين العام والخاص مرنة، ولابد من توفر منتجات آمنة ومثبتة، تضمن القيمة مقابل المال، وتفي بمتطلبات الأداء البيئي [72]. وعادة ما يتم تمويل الشراكات بين القطاعين

العام والخاص في قطاع النفايات الصلبة من خلال رسوم الجمع أو رسوم المستخدم وغيرها. وعلى هذا النحو، من الأهمية بمكان ضمان موافقة أصحاب المصلحة قبل الدخول في هذا النوع من الشراكة الملزمة قانوناً.

4-11-2-أسباب فعالية القطاع الخاص:

لقد أظهرت الشركات والمؤسسات بمختلف أنواعها مرونة كبيرة في إدارة النفايات مع استقرار ملحوظ في وجه التقلبات المحتملة. هذه المرونة نجمت عن فعالية القطاع الخاص من خلال الإدارة المرنة، حيث يعاني القطاع العام من اضطراره الدائم للتقيد بالأنظمة والقوانين الحكومية من ناحية التزام الإدارة بتشغيل العناصر المتوفرة لديها برواتب وأجور محدودة، وساعات عمل ثابتة.

ويقوم القطاع الخاص بتنفيذ تعليمات الإدارة بشكل واضح ومحدد من خلال عقد واضح، وتقوم الإدارة بمتابعة تنفيذ هذا العقد. وهذا ما يساعد على التأكد من تنفيذ العمل بشكل كامل. ويمكن أن تكون المنافسة بين القطاع العام والقطاع الخاص في حال تواجد الفريقين في خدمة المدينة أو البلدية أو بين شركات القطاع الخاص فيما بينها عنصر تشجيع للقطاع العام ليثبت جدارته بتنفيذ الأعمال المطلوبة منه وتخفيض الكلفة. وتعتبر عملية تطوير العمل في إدارة النفايات الصلبة والبحث عن طرق حديثة لعملية جمع وترحيل النفايات والتخلص الآمن منها من أهم العوامل التي تتميز فيها شركات القطاع الخاص الجيدة والفعالة، وخاصة أن الجهات الحكومية لا تولي هذا الجانب أهمية كبيرة لأسباب متعددة منها عدم توفر الكفاءات، وعدم توفر التجهيزات المناسبة والإمكانيات اللازمة.

4-11-3-أنواع مشاركة القطاع الخاص:

يمكن تصنيف أنواع الشراكة ين القطاعين العام والخاص إلى الفئات التالية:

- **أولاً: شراكات تعاونية..** وتدور حول إدارة وتنظيم الشراكة على أساس تشاركي بين القطاعين العام والخاص، حيث تتصف الشراكة بعلاقات

أفقية بين أطراف الشراكة ويتم اتخاذ القرار بالإجماع ويشترك جميع الشركاء بأداء المهام والواجبات ولا يوجد إشراف منفرد لأي طرف بموجب القواعد التي يفرضها.

- **ثانياً: شراكات تعاقدية..** وتعنى بترتيبات توصيل الخدمات بموجب عقد بين طرفين وتكون العلاقات بين أطراف الشراكة عمودية مع وجود جهة مرجعية واحدة تمارس الرقابة والسيطرة على النشاط. وعلى الاطراف الأخرى المساهمة في الشراكة، وهذه الجهة لا تمارس أداء المهام بل تعتمد على الأطراف الأخرى في ذلك وتكون قادرة على إنهاء الشراكة أحياناً أحادياً استناداً إلى معيار العقد الذي يحكم العلاقة بين القطاعين العام والخاص. ويعتمد اختيار الطريقة المناسبة لمشاركة القطاع الخاص على العوامل الاقتصادية، وقدرة القطاع الخاص على تحقيق هذه المشاركة والأنظمة والقوانين النافذة والتجارب السابقة واحتياجات المدينة أو البلدة والتقنية المتوفرة.

ويبيّن والجدول (4-2) [73] مقارنة بين أهم أساليب مشاركة القطاع الخاص وخصائصه من ناحية قرار الخدمة والتمويل والتصميم والبناء والتملك والتشغيل.

الجدول 4-2:

مقارنة بين أساليب مشاركة القطاع الخاص وخصائصه.

أسلوب المشاركة	تعاقد	امتياز	التزام	استثمار	.مشاركة عام/خاص
قرار الخدمة	حكومي	حكومي	حكومي	خاص	حكومي .
التمويل	حكومي	خاص	خاص	خاص	حكومي/خاص
التصميم	حكومي	خاص	خاص	خاص	حكومي/خاص
البناء	حكومي	خاص	خاص	خاص	حكومي/خاص
التملك	حكومي	خاص	حكومي	خاص	حكومي/خاص
التشغيل	خاص	خاص	خاص	خاص	حكومي/خاص

4-11-4 - الإجراءات لضمان فعالية القطاع الخاص:

1 - يجب أن تتخذ الخطوات الفعّالة لبناء قنوات اتصال دائمة بين القطاع الخاص، والجهات الحكومية والمستفيدين.

2 - إيجاد تنسيق بين الأنظمة الحكومية وأنظمة القطاع الخاص.

3- يجب على الحكومة المحلية تأمين الإرشاد لشركات القطاع الخاص حول الجوانب الفنية والعملية أما تنمية مهارات العمل فتأتي من مصادر أخرى

4 - المشاركة العامة أساسية في إدارة النفايات الصلبة ويمكن أن تكون حملات التوعية لرفع الوعي العام مساعدة إذا نفذت جيداً.

5 - التعاون المشترك بين الحكومة المحلية والقطاع الخاص يمكن أن يساعد في التعريف بالمشاكل قبل أن تكبر وتتضخم ويصعب معالجتها، ومن ثم إيجاد الطرق لحلها ويفيد هذا التعاون في تطوير جو الثقة المتبادلة .

6- عدم التأخير في دفع استحقاقات الشركات الخاصة من الجهات الحكومية لما يسببه من إزعاجات قد تنعكس على وضع العمل.

7- ضبط عمليات الاستثمار غير المرخصة لأنه يؤدي إلى منافسة غير عادلة مع الشركات المرخصة التي سددت رسوم الترخيص وتقع تحت مراقبة الحكومة المحلية في تطبيق جميع الشروط المطلوبة.

4-11-5 - الرقابة على أعمال القطاع الخاص:

- التحقق من أن كل شيء يسير وفق الخطط المرسومة، والتعليمات الصادرة والقواعد المقررة، وبيان نواحي الضعف والخطأ، من أجل التقويم ومنع التكرار.
- عملية قياس النتائج الفعلية ومقارنتها بالمعايير أو الخطط الموضوعة، ومعرفة أسباب الانحرافات بين النتائج المحققة والنتائج المطلوبة، واتخاذ الأفعال التصحيحية.

خطوات إجراء الرقابة:

- **وضع المعايير:** بحيث تكون دقيقة، مناسبة، قابلة للقياس.
- **تقييم الأداء الفعلي** وفق المعايير.
- **تصحيح الانحراف:** ليس الهدف تصيد الأخطاء والمحاسبة، بل المعالجة والمكافأة.
- **اتخاذ القرارات:** اختيار الإجراءات بالاعتماد على الحكم والقياس، لا على التخمين وتحمل مسؤولية القرار.

4-11-6- تنظيم العمـل في حالة عقود النظافة

يشمل التنظيم الإجراءات التي يجب اتّخاذها لتَرْتِيب وَتَدْبِير العمل ليأخذ نسَقاً مُعيّناً وفقًا لقواعد تنظيميّة مقبولة من جانب العاملين تحدد علاقاتهم وأسلوبهم ووسائلهم في العمل.

وللتنظيم أهمية بالغة في نجاح الجهة المنفذة، وتحقيق خططها وأهدافها وأدائها للعمل بقدرة عالية، فهو الهيكل والأداء اللذان بواسطتهما يقام جهد منظم بناءً على خطة مرسومة، وتوجيه المراحل المختلفة للجهود المرسومة والإشراف عليها من اجل تحقيق الهدف المنشود وهذا يتطلب توفر وحدة هدف معين متفق عليه، ووجود مجموعة من الافراد بينهم علاقة محسوسة، واشتراك الافراد في تحقيق الهدف، وأهم الإجراءات المطلوبة لتنظيم العمل في مشروع جمع وترحيل النفايات وعقود النظافة العامة معروضة في الجدول أدناه: [73].

الجدول 4-3:

أهم الإجراءات المطلوبة لتنظيم العمل

في مشروع جمع وترحيل النفايات وعقود النظافة العامة

تحديد مواقع العمل	• مواقع التشغيل ، المعسكرات
توزيع المسؤوليات	• تعيين الإدارات (العليا ، المتوسطة ، الدنيا) ، هيكلية العمل
وضع الخطط اللازمة لتنفيذ الأعمال	• المسارات ، ورديات العمل، خطط التشغيل لكل خدمة ..
وضع الخطط اللازمة للإحلال	• الاستلام والتسليم مع الشركة السابقة
تخصيص الموارد اللازمة للخدمة	• عمالة ، آليات ، تجهيزات ، مستهلكات ، برامج التوريد خلال العقد
الاستفادة القصوى من الوقت والجهد	• أعمال خاصة ، تنظيم العمل ، أوقات العمل
القيادة والسيطرة	• اختيار العناصر القيادية ، إعداد القيادات ، إعطاء الصلاحيات
التدريب والتأهيل	• برامج التدريب على مختلف المستويات ، تدريب نظري وميداني

4-11-7- خطة التشغيل في حالة عقد النظافة:

هي مجموعة الأنشطة والمراحل المتتالية والمتناسقة والمترابطة، وفق تسلسل منطقي وزمني، والتي تخضع لإدارة واحدة، لتحقيق الغرض من العقد الذي بنيت عليه الخطة في منطقة العقد خلال مدة معينة، وضمان الأداء الأمثل، عن طريق توفير الوسائل والموارد البشرية والمادية الضرورية – الواقعية والمتاحة – لذلك.

وتشمل مراحل وضع خطة التشغيل: التحضير والإعداد، ثم تحديد الأهداف، يليه وضع إطار الخطة، ثم إقرار إطار الخطة متبوع بوضع الخطة ومراجعة الخطة واعتمادها، وأخيراً تقويم الخطة.

4-11--8 التحديات التي تواجها الشراكات بين القطاعين العام والخاص وحلولها:

في حين تُعتبر الشّراكات بين القطاعين العام والخاص فعالّة للغاية في التخطيط الحضري والتنمية الحضرية، إلا أنّها قد تواجه العديد من التحديات أثناء تنفيذهما:

1 -**القيود المؤسسية تحتاج إلى هياكل حوكمة مناسبة:** تُعتبر المؤسسات عنصراً أساسياً في الشراكات. ويمكن أن تواجه الشراكات بين القطاعين العام والخاص عائقاً كبيراً على هذا المستوى، إذ تركز بعض المؤسسات على تقديم الخدمات وعلى أنشطة المشروع قبل أنشطة الشّراكة. ويؤدّي ذلك إلى ندرة الموارد وإلى غياب الرغبة في تخصيص تلك الموارد لبناء شراكة ناجحة، بما في ذلك التمويل والوقت. وتشمل القيود المؤسسية أيضاً سوء التخطيط ونقص المعلومات والقيادة وانعدام الالتزام. وبالتالي، فإنّ توفير هياكل حوكمة عادلة والاهتمام بعمليات الشراكة يمكن أن يساعد في التقليل من هذه المشاكل أو حلها.

2 - **إيجاد مصادر مختلفة للتمويل كحلّ للقيود الماليّة:** إنّ خدمات البنية التحتية وإدارة النفايات الصلبة مدعومة بشكل كبير ومكلفة للغاية. وعلى الرّغم من أنّ الرغبة في الاستفادة من الأموال العامة تعتبر غالبًا دوافع أولية لعقد الشراكات بين القطاعين العام والخاص، قد يتوفّر عدد من العوائق أمام التمويل الناجح لمشاريع الشراكات بين القطاعين العام والخاص. ففي بعض الحالات على سبيل المثال، قد لا يكون القطاع الخاص قادراً على منافسة التمويل الذي يقدّمه القطاع العام. ولهذا السبب، يمكن اعتبار التمويل العام أو الاقتراض خياراً أفضل للقطاع الخاص. ومن ناحية أخرى، قد لا يتوفر الدعم من الحكومة، مثل الدعم المالي والإمدادات والمعدات، ممّا قد يحوّل المشروع إلى عبء مالي على القطاع الخاصّ. وهنا تدخل مصادر التمويل المختلفة، إذ يتم تمويل بعض المشاريع من خلال المساهمات في رأس المال والمساهمات في الديون، حيث تقوم الجهات الراعية للمشروع بتمويل المشروع من خلال رأس المال واعتمادات الجهات المعنيّة.

3 - **إجراء تحليلات التكاليف والفوائد لتحسين أداء الشراكات بين القطاعين العام والخاص:** تُعتبر التكاليف أحد العناصر الأساسيّة لدوافع عقد الشراكات بين القطاعين العام والخاص. وتحاول الحكومة

دائمًا تقديم خدمات بأعلى جودة وبكلفة أقلّ، مما يعني أنه من الضروري إجراء تحليل التكلفة والفائدة للسماح بتقييم نهج تقديم الخدمات البديلة بشكل أفضل. ويمكن أن يؤدّي الافتقار إلى تحليلات التكاليف والفوائد إلى غياب الوضوح في العديد من المواقف، إذ لن تتاح الفرصة للقطاعين العام والخاص ليفهما على ماذا ينفقان أموالهما. ويمكن أن يساعد إجراء تحليل التكلفة والفائدة على تعزيز مكانة المدينة وخلق بيئة أكثر ملاءمة لتحقيق أداء أفضل من كلّ من القطاعين العام والخاص.

4 - **التدريب والتعرّف يساعدان على حلّ قيود القدرات:** يعتبر عدم التوازن في قدرات القطاعين العام والخاص التحدي الأكثر شيوعًا الذي قد يؤدي إلى فشل ترتيبات الشراكات بين القطاعين العام والخاص. وفي الواقع، يمكن أن تؤثر أوجه القصور في القدرات بشكل سلبي على ترتيبات الشراكات الجارية، مما يؤثر بدوره على أيّ إصلاحات قد تكون ضرورية، وذلك بسبب انعدام الثقة. وعادة، تتطلب الشراكات بين القطاعين العام والخاص مجموعة واسعة من المهارات، ولذلك، فإنّ التدريب على الشراكات بين القطاعين العام والخاص والتعرف على كيفيّة تطوير مثل هذه الشراكات في مجالات أخرى يمكن أن يساعد في تحقيق فهم أوسع لإمكانيات القطاعين العام والخاص. وسيؤدي ذلك في النهاية إلى ترتيبات ناجحة للشراكات بين القطاعين العام والخاص.

أمام هذه المشاكل والصعوبات التي واجهت الحكومات كان لا بد من البحث في الطرق والوسائل الممكنة لمعالجة ما يمكن معالجته لتأمين الخدمات الأفضل وكان أمام هذه الحكومات عدد من الخيارات أهمها:

أ- زيادة حجم القوة العاملة وتأمين آليات جديدة ومتطورة تتناسب مع زيادة السكان التي تطلب الخدمة وهذا الخيار غير ملائم لكثير من الحكومات بسبب مشاكل الميزانية والقيود على التوظيف إضافة لعدم الرضى عن إنتاجية العمل

ب- تحسين ممارسات العمل وإنتاجية القوة العاملة واستثمار الآليات بشكل جيد وهذا خيار صعب المنال في العديد من المدن بسبب الممارسات المألوفة (تكليف العمال بأعمال أخرى ، استراحات مرضية مختلقة ، تعطيل الآليات) بالإضافة لصعوبة المراقبة وصعوبة تحفيز العمال .

ج- استخدام القطاع الخاص في إدارة النفايات الصلبة عن طريق شركات خاصة أو مؤسسات مستقلة وقد أثبتت هذه التجربة فعالية هذه المشاركة حيث أدت إلى تقديم خدمة أفضل وبكلفة أقل. هذه المشاركة لا تعني بحال من الأحوال التخلي عن المسؤوليات من البلديات إلى القطاع الخاص ولكن هي التخلي عن تنفيذ بعض الواجبات مع احتفاظ السلطات البلدية بمسؤولية محددة لتأدية الواجبات الملقاة على عاتق المتعهدين لتأمين الخدمات المرضية مع متابعة عمل هؤلاء المتعهدين ومراقبتهم .

أمام هذا التميز في مشاركة القطاع الخاص في تأمين الخدمات للمدن والبلديات أصبح الدور المتنامي لهذا القطاع مقبولاً ومطلوباً لدى الكثير من الحكومات في المدن والبلديات والعديد منها يبحث الآن بشكل فعال عن مشاركة أكبر للمؤسسات الخاصة بأنواعها الكبرى والوسطى ومتعهدي النفايات في جميع مجالات الخدمة من جمع وترحيل وكنس إلى نقل هذه النفايات ومعالجتها للتخلص النهائي منها .

الفصل الخامس

حفظ النفايات الصلبة وجمعها

في المدن الصناعية المتقدمة والمتطورة التي يتمتع سكانها بدرجة كافية من الوعي البيئي تتم عملية فرز النفايات من نقطة المنشأ من قبل المواطنين في المنازل والمتاجر حسب نوعيتها، حيث تجمع النفايات الورقية، والزجاجية، والمعدنية، والمكونة من مواد لدنة منفصلة بعضها عن بعض، وتقوم بعملية الجمع من المنازل خلال أوقات محددة مؤسسات خاصة، أو حكومية، بهدف إعادة الاستفادة من النفايات أو يقوم السكان بوضع النفايات المنزلية في حاويات خاصة لكل نوع من النفايات موضوعة من قِبل مديرية النظافة في شوارع المدينة، وأماكن مختلفة من المدينة، وتتطلب عملية الجمع المنفصل للنُفايات الصّلبة أن يكون المواطن على درجة كافية من الوعي البيئي.

5-1- مقـدمـــة

جمع النفايات هو خدمة مهمة جداً لدرجة أن القانون يتطلب توفيرها لصالح المجتمع بأكمله، بغض النظر عن مصلحة السوق في توفيرها أو قدرة المستخدمين (أو استعدادهم) لدفع ثمنها. المؤشر الرئيسي هنا هو نسبة التغطية المئوية للسكان الذين يمكنهم الوصول إلى خدمات جمع النفايات – من حيث المبدأ، إذ يجب أن تكون 100 %. اعتبارا من تموز/يوليو 2012 ، كان موقع البنك الدولي لا يزال يذكر أنه «من الشائع أن فقط 30 – 60 % من جميع النفايات الصلبة الحضرية في البلدان النامية لا يتم جمعها، وأن أقل من 50 % من السكان يتلقون الخدمة» (البنك الدولي، 2012) – وهو ما كان عليه الحال في التسعينيات. وتُظهر البيانات التي تم جمعها في عام 2009 في 20 مدينة مرجعية في ست قارات لكتاب موئل الأمم المتحدة.[74] أن هذا لم يعد يعكس الواقع الحالي .

وقد يعتقد صناع القرار والمهندسون أن المكون الوحيد المهم في نظام جمع النفايات هو التكنولوجيا، ويتجاهلون الجوانب الحيوية الأخرى.

إن العنصرين الأساسين في مجال خدمات جمع النفايات هما حفظ النفايات والوسائل اللازمة للتجميع والنقل، وهي عناصر ترتبط مباشرة بنمط التجميع الذي يجب أن يراعى في اختياره ومواقعه الصفات المميزة لطبيعة المباني سواء كانت مباني منفصلة أو متصلة أو غير ذلك، إلى جانب سهولة الوصول إلى المباني وعرض الطريق .

إن نظام حفظ النفايات الصلبة وتيسير الوصول والاقتراب من الحاويات بالنسبة لسيارات النفايات وعمال جمع النفايات، أمور يجب أن تُعطى أهمية خاصة في مرحلة إعداد المخططات الهندسية لأي مبنى، كما يلزم أن يأخذ تخطيط المدن وشروط البناء بالاعتبار هذه الأمور.

أحد الأسباب الرئيسية للصعوبات وخيبات الأمل في مجال جمع النفايات

الصلبة هو عدم مراعاة الفروق المهمة بين المناطق الجغرافية، وبين الدول، وبين المدن وحتى داخل المدينة الواحدة. وغالباً ما يفضل المهندسون الذين درسوا في الخارج، وصناع القرار الذين أعجبوا بأنظمة إدارة النفايات الصلبة في البلدان الأخرى، الأنظمة التي رأوها تعمل بشكل جيد في بلد صناعي، وكذلك المستشارون الدوليون الذين هم على دراية بأنظمتهم، أو التكنولوجيا الموجودة في بلدانهم. ويفترضون أن نفس الأنظمة ستعمل بشكل جيد على قدم المساواة في سياق مختلف تمامًا، لكن هذه الفكرة خاطئة. إذ غالباً ما تكون نتيجة هذه التأثيرات هي إنفاق كبير للعملة الأجنبية، ومركبات متوقفة عن العمل في انتظار قطع الغيار المستوردة. ويمكن أن تكون قائمة الاختلافات بين موقع وآخر كبيرة جداً. وهي تشمل جوانب التنمية الاجتماعية والاقتصادية والمناخية والمكانية والحضرية والعوامل الفنية.

5-2- أسباب المشاكل الشائعة في أنظمة جمع النفايات

من أهم أسباب المشاكل الشائعة في أنظمة النفايات الصلبة في البلدان المنخفضة والمتوسطة الدخل هو عدم فهم وأخذ الاختلافات في التحديات والموارد من مكان إلى آخر بعين الاعتبار. ويلزم التركيز على مفهوم الملاءمة، أي التوافق الجيد بين الظروف المحلية والنظام الذي يتم توفيره، دون أي افتراضات مسبقة حول نوع الحل الذي سيعمل بشكل أكثر فاعلية [75]. لا تعني كلمة «ملائمة» دائمًا أنها بسيطة أو منخفضة التكنولوجيا أو كثيفة العمالة، ولكنها تعني أن جميع العوامل ذات الصلة بحالة معينة تؤخذ في الاعتبار عند اتخاذ القرارات. كما يلزم ملاحظة الاختلافات الدولية عند تصميم واختيار أساليب جمع النفايات.

5-2-1-تأثير الاختلافات الدولية في خصائص النفايات على أساليب ومعدات جمع النفايات

لخصائص النفايات (الكميات والمكونات) تأثير مهم على تصميم واختيار معدات جمع النفايات. ومن الأسباب التي تجعل خصائص النفايات تتباين كثيراً نذكر عادات الطهي والأكل حيث في بعض البلدان تبيع المتاجر في الغالب الأطعمة

التي تم تحضيرها إلى حد كبير، إما مجمدة أو معلبة. في البلدان الأخرى وفي المجتمعات الصغيرة، يتم شراء الدواجن حية ويتم شراء الخضار بمواد إضافية كبيرة بالإضافة إلى الجزء المستهلك (الذرة مثال جيد).و تنتج أنواع مختلفة من الفاكهة والخضروات كميات مختلفة من النفايات فالموز ينتج نفايات قليلة مقارنة مع البطيخ كما أن النعناع والملوخية تنتج كميات كبيرة من النفايات.

وعندما يتم استهلاك كميات كبيرة من الأسماك، تكتسب النفايات بسرعة رائحة قوية جدًا. وللطهي والتدفئة بالوقود الصلب تأثير كبير على النفايات، لأن الرماد الساخن يؤثر على خصائص النفايات، فضلاً عن إتلاف الحاويات البلاستيكية وإشعال الحرائق

5-2-2-تأثير اختلاف درجات الحرارة المحيطة على نظام جمع النفايات

تؤثر درجات الحرارة المحيطة على تواتر جمع النفايات. في درجات حرارة عالية تكون دورة الذباب المنزلي أسرع بكثير، وبالتالي يجب جمع النفايات بشكل متكرر أكثر للتحكم في أعداد هذه الحشرات. وتؤدي درجات الحرارة المرتفعة أيضاً إلى تسريع العمليات الميكروبيولوجية، مما يؤدي إلى تسريع عمليات توليد الروائح الكريهة والإنتاج المبكر للكائنات الدقيقة الفطرية التي يمكن أن تسبب اضطرابات الرئة. نتيجة لذلك، يجب جمع النفايات الصلبة ثلاث مرات على الأقل في الأسبوع أو بشكل يومي في المناخات الحارة، في حين أن التجميع الأسبوعي قد لا يسبب أي مشاكل في درجات الحرارة المنخفضة في دول الشمال الباردة.

5-2-3- تأثير تخطيط المناطق الحضرية وظروف الطرق على تصميم نظام جمع النفايات

ويؤثر تخطيط المناطق الحضرية وظروف الطرق كذلك على كيفية تصميم نظام جمع النفايات. حيث تشكل المناطق الأساسية التقليدية للمدن القديمة[76] والأحياء العشوائية غير المخططة مشكلة خاصة بسبب طرق الوصول الضيقة وعدم وجود مساحة لحاويات النفايات. وكذلك قد تمنع الميول الحادة والطرق غير

المعبدة استخدام أنواع معينة من المركبات. لذلك يجب احترام حدود الوزن للطرق والجسور عند اختيار المعدات، مع الأخذ في الاعتبار أن بعض أنواع شاحنات جمع النفايات غالبًا ما تكون محملة بشكل زائد. حيثما توجد طرق غير معبدة بشكل جيد مع أساسات غير كافية، يمكن أن تكون مركبات النفايات ذات الأحمال المحورية الزائدة عاملاً رئيسياً في تلف أنابيب المياه تحت الطرق، الأمر الذي يؤدي إلى هدر مفرط لمياه الشرب في أنابيب شبكة الامداد العامة.

كذلك يجب مراعاة قدرات وخبرات الإدارات المحلية عند التخطيط لإدخال تحسينات على أنظمة إدارة النفايات. في البلدان الصناعية، تطورت نظم جمع النفايات، لا سيما من حيث الإدارة والكفاءة والموثوقية خلال عقود، لذلك من غير الواقعي توقع إمكانية تحقيق نفس العملية في بلد منخفض الدخل في غضون أشهر أو سنة. تعتبر إدارة النفايات الصلبة في المقام الأول وظيفة هندسية ولكن من الشائع أن نجد أن إدارة النفايات البلدية هي مسؤولية المسؤول الطبي للصحة أو أي مسؤول إداري آخر ليس لديه خلفية في تشغيل السيارة، ولا يُتوقع منه اتخاذ قرارات معقدة فيما يتعلق باختيار المركبات التي لا يملكها. إذ يعد الوصول إلى قطع الغيار مسألة أخرى يجب أخذها في الاعتبار. في حين أن مدير الصيانة في بلد صناعي قد يكون قادراً على الحصول على قطعة غيار في غضون ساعات من إدراك الحاجة إليها، بينما يمكن أن تستغرق عملية الحصول على قطع الغيار أكثر من ستة أشهر في بلد نامي، ذلك بسبب القيود المفروضة على العملات الأجنبية والبيروقراطية والإجراءات الجمركية. ويمكن أن يكون لهذه المشكلة وحدها تأثيراً كبيراً على نوع السيارة التي يجب اختيارها. كما يعد الافتقار إلى ورش الصيانة المجهزة جيداً جانباً آخر يجب مراعاته.

للتشريع وإنفاذ التشريعات تأثير كبير على إدارة النفايات. حيث ترتبط هذه العوامل ارتباطًا وثيقاً بالمواقف والوعي العام، وبالاستعداد للدفع مقابل خدمات جمع النفايات. لكي تكون فعالة، يجب أن يحظى التشريع بالدعم العام من الجمهور، حيث يُنظر إليه على أنه ضروري ومناسب.

إن مبدأ (الملوث يدفع) الذي كثيراً ما يتم الاستشهاد به، والذي ينص على أن المنتجين للنفايات والتلوث يجب أن يدفعوا مقابل إزالة نفاياتهم والتخلص منها وفقاً لكميتها وصعوبة التخلص منها بطريقة مرضية. على الرغم من أن هذا المبدأ عادل ومنطقي، إلا أنه يحتاج إلى تطبيق جيد أو درجة عالية من الوعي البيئي [77].

5-3- أوعية حفظ النفايات الصلبة

إن اختيار نوع أوعية حفظ النفايات الصلبة وحجمها يعتمد على مواصفات المساكن، وتصنف المساكن بشكل أساسي إلى الفئات الرئيسة التالية: المساكن المنفصلة، والمساكن المتصلة، والمباني العالية المتعددة الطوابق.

أ- المساكن المنفصلة

في المسكن المنفصل الخاص المحاط بحديقة أو ساحة لها سور، يمكن وضع وعاء حفظ النفايات خارج المسكن في الهواء الطلق حيث لا تنبعث منه روائح تنفذ إلى داخل المنزل، ولا يعتبر تواتر جمع النفايات أمراً كبير الأهمية سواء كان الجمع يومياً أو نصف أسبوعي، شريطة أن يكون الوعاء مانعاً لتسرب المواد السائلة، وأن يكون له غطاء مُحكم، ويعتبر التجميع مرتين في الأسبوع مناسباً في البلاد الباردة، أما الحارة فيكون يومياً، ويلاحظ أن أحجام المساكن المنفصلة يمكن أن تتراوح ما بين كوخ صغير وفيلا كبيرة.

ب- المساكن المتصلة

تطلق هذه التسمية على المساكن ذات الطابق الواحد أو الطابقين المبنية بطريقة تجعلها تشكل معاً مبنى واحد متصل. ومثل هذه البيوت تكون لها نفس مميزات البيوت المنفصلة إن كانت تضم ساحة خلفية كممر ثانوي يمكن استخدامه في جمع النفايات، إذ يصبح في الإمكان تزويدها بخدمة مكتملة لجمع النفايات. وفي معظم الأحوال نجد إن هذه المباني لا يوجد بها إلا مدخل أمامي فقط، وعليه يصبح من الضروري إلزام أصحاب البيت ببعض خطوات جمع النفايات، أقلها وضع الوعاء

خارج المسكن وفي مكان يسهل على عمال التجميع الوصول إليها. ويستحسن أن تجمع النفايات يومياً من الوحدات السكنية المتصلة في البلدان ذات المناخ الحار، لأن مكان حفظها خارج السكن محدود للغاية.

ج- المباني متعددة الطوابق:

إذا كانت الشقق ذات مدخل واحد فقط، فإنه لجمع النفايات الصلبة يمكن اتباع أسلوب التجميع من باب إلى باب (door-to – door service)، حيث يفرغ العامل أوعية الشقق في كيس كبير يكفي لجمع نفايات عدة شقق مرة واحدة، مما يقلل من عدد المرات التي يتوجه فيها العامل إلى خارج المبنى لتسليم النفايات إلى السيارة، أما البدائل الممكنة فهي وضع مجموعة من الأوعية الصغيرة، أو حاوية واحدة كبيرة للاستخدام المشترك لسكان المبنى ويتم الجمع يومياً.

5-3-1- الأوعية المخصصة للمساكن المنفصلة والمحال التجارية:

توجد أنواع كثيرة من هذه الأوعية تبعاً لكميات النفايات المتشكلة بين تواترين متتالين للجمع، وبحسب عدد أفراد الأسرة في المساكن المنفصلة أو عدد العمال ومساحة المحال التجارية، نذكر منها:

أ- وعاء بلاستيكي مع غطاء سعة 7-10 لترات يكفي لحفظ النفايات الناتجة عن أسرة مكونة من 5 أفراد في منطقة ذات تواتر يومي لعملية الجمع.

ب- وعاء بلاستيكي بسعة 20-40 لتر مزود بغطاء يكفي لحفظ النفايات الناتجة عن أسرة مكونة من 5 أفراد في منطقة ذات تواتر جمع نصف اسبوعي، وقد بدأ ينتشر استخدام الأكياس البلاستيكية بسعات قد تصل إلى 25 لتراً.

ج- وعاء من البلاستيك أو الحديد المغلفن بسعة 50-70 لتر مزود بغطاء، وهو مناسب لحفظ النفايات في المحلات التجارية، والفنادق والمدارس.

يكفي لحفظ النفايات الناتجة عن أسرة مكونة من 5 أفراد في منطقة ذات تواتر جمع نصف اسبوعي.

5-3-2- الأوعية المخصصة لأغراض الحفظ الجماعي:

استخدمت سلطات البلدية في أنحاء العالم عدة طرائق للحفظ الجماعي للنفايات الصلبة عدة نماذج لأوعية الحفظ الجماعي، لم ينتشر منها إلا الحاويات المعدنية الثابتة والمنقولة. وقد تكون مصنوعة من مواد بلاستيكية. والحاويات المنقولة هي الحاويات التي تنقل مع محتوياتها من النفايات إلى محطات الترحيل المرحلية، أو مكان التخلص النهائي، كما في الشكل 5-1، بعكس الحاويات الثابتة التي تفرغ وينقل محتواها من النفايات إلى محطات الترحيل المرحلية أو مكان التخلص النهائي. ومن الضرورة بمكان أن تتوفر المواصفات الصحية في الأوعية والحاويات المستخدمة لتخزين وحفظ النفايات الصّلبة، ومن المواصفات الصّحية للحاويات نذكر ما يلي:

1. أن تكون مصنوعة من مادة صلبة قوية قابلة للتنظيف مثل الحديد والبلاستيك.

الشكل 5-1:

أحد النماذج للحاويات المنقولة

2. أن تخلو من الزوايا الحادة بحيث تمنع تجمع بقايا النفايات في جوانبها. ويُفضل أن تكون أسطوانية الشكل لِيسهل غسلها وتنظيفها.

3. ألاّ تسمح بتسرب السوائل الناتجة عن بقايا الطعام خارجها.

4. أن يكون حجم الوعاء أو الحاوية (سلة المهملات) مناسباً بحيث يسهل نقلها إلى خارج المنزل.

5. أن تكون محكمة الغطاء لمنع وصول الحشرات والحيوانات كي لا تقوم بنقلها إلى البشر، وإلى الغذاء، وفي أغلب الأحوال يُرحّل الذباب المتكاثر مع النفايات المنقولة بالعربات إلى أماكن التخلص النهائي. وتتمثل مكافحة الذباب والحشرات الناقلة للأمراض ومنع تكاثرها في اعتماد التغطية المحكمة للحاويات، ويتم غسيل الحاويات بفضل صهاريج خاصة وبتواتر وسطي كل أسبوع مرة. وتتنوع أشكال وأحجام حاويات الحفظ الجماعي للنفايات، من ذلك:

- حاويات بلاستيكية بغطاء، سعة 0.24 أو 0.12 متر مكعب، توضع أمام المنازل أو المحلات التجارية الصغيرة.

- حاويات معدنية بغطاء متحرك وعجلات سعة حوالي 1.5 متر مكعب، توضع في المناطق السكنية والتجارية أو حاويات معدنية بدون غطاء، كما في الشكل5 – 2.

- حاويات معدنية بدون غطاء سعة 4 متر مكعب، توضع في الأماكن ذات الكثافة السكانية المرتفعة والمناطق المزدحمة.

الشكل 5-2:

نموذج حاوية معدنية بغطاء وأخرى بدون غطاء.

وتعد عملية غسيل الحاويات المعدنية من أهم الأعمال الاستثمارية المطلوبة من الجهات المسؤولة عن جمع النفايات الصلبة، وذلك بهدف المحافظة على وضع صحي سليم للمنطقة المخدمة. حيث إن جزءاً من النفايات يبقى ملتصقاً بقاع الحاوية وجدرانها بعد كل عملية تفريغ، مما يجعل الحاوية مصدراً للروائح المزعجة، ولتوالد وانتقال نواقل المرض، حيث أن النفايات المتبقية في جزئها الأكبر عضوية ذات رطوبة عالية مما يساعد على سرعة تحللها وخاصة في فصل الصيف، ولذلك لابد من عمليات الغسيل الدورية للحاويات.

إن عملية غسل الحاويات المنقولة ليست بالمشكلة الكبيرة، حيث تتم بعد كل عملية تفريغ لهذه الحاويات في مكان التخلص النهائي، أو في محطات النقل المرحلية، أو في مغاسل خاصة عند مدخل المدينة، وغالباً مايتم اختيار الحل الأخير لتخفيف تزاحم السيارات في مواقع التفريغ.

أما عملية غسل الحاويات الثابتة، فيجب أن تتم في أماكن وجود هذه الحاويات، أو في ساحات قريبة من أماكن وجودها، وتجري عملية الغسل عادة مرة كل 15 يوماً في المناطق الباردة ومرة كل 10 أيام في المناطق الحارة. تجري عمليات غسل الحاويات الثابتة في كثير من المدن بواسطة سيارات مخصصة لهذا الغرض تقوم بمرافقة سيارة جمع النفايات. وقد يتم اللجوء إلى تطهير الحاوية من فترة إلى أخرى باستخدام مادة قلوية أو أحد مركبات الكلور.

5-4- الإطار العام الذي يحكم تخطيط جمع النفايات

يتمثل الإطار العام الذي يحكم تخطيط جمع النفايات في:

1- ملاحظة طبيعة الموقع:

- **التضاريس:** المناطق الجبلية تحتاج لآليات خاصة وأوقات عمل خاصة، إضافة لتوفير العمالة القوية التي تتحمل الجهد الإضافي.
- **الشوارع:** أبعاد الشوارع، حالتها الفنية، نظام السير، الازدحام.
- **كميات النفايات، أنواعها، السلوك:** تؤثر على عدد الآليات وحجمها وتواتر عمليات الجمع وأنواع وأعداد الحاويات.

1 - المواسم التي تمر عليها المنطقة عند التخطيط لإدارة النفايات فيها (المناسبات، رمضان، العطل..)، إضافة للحركة الداخلية التي تشهدها المدن خلال العطل.

2 - ملاحظة التبدل في القاطنين (العطل الرسمية والسياحة... الخ.) والتبعات والأعباء التي تنتج عنها وعن تبدل سلوك المتعاملين معهم وعاداتهم، وخاصة ما يتعلق بالمبعثرات التي يلقيها الزوار على امتداد مساراتهم والازدحام الذي ينشأ عن سياراتهم وحافلاتهم والتجمع في مواقع محددة أكثر من غيرها.

3 - اعتماد خطط تتناسب مع التركيبة السكانية المتفاوتة والوعي العام.

4 - اعتماد خطط تتناسب مع نوعية الكادر العامل في المشاريع وإمكانياته الفنية والجسدية والفكرية.

5 - تفعيل أنشطة التوعية العامة لإيصال مفهوم النظافة لنجاح خدمات إدارة النفايات الصلبة بما فيها المشاركة المجتمعية لتحقيق المطلوب، وبدونها يصعب أو يستحيل الارتقاء بمستوى النظافة للحد المأمول.

5-5- العوامل المؤثرة على خدمة جمع النفايات

1 . كثافة وتوزيع السكان ومعدل الزيادة السنوي.

2 . معدل إنتاج النفايات للفرد ومواسم زيادة الاستهلاك.

3 . نوعية النفايات الناتجة.

4 . الوعي العام وسلوك المستفيدين من الخدمة.

5 . طبيعة الطرق والشوارع، ارتفاعات الأبنية.

6 . الطقس.

7 . توفر التشريعات والضوابط المتعلقة بالعمل بالنسبة للإدارة والمقاول والسكان.

8 . توفر خطط العمل المناسبة.

9 . تأمين متطلبات العمل (كادر بشري، آليات، مستلزمات، ... الخ)

5-6- عربات جمع النفايات الصلبة وآلياتها

توجد عربات نقل يدوية وأخرى ميكانيكية، بيد أن مختلف عربات نقل النفايات يجب أن تحقق المتطلبات التالية:

1- أن تتوافر في آلية التجميع طريقة تفريغ سهلة يدوية أو آلية، وخصوصاً عند تفريغ الأوعية صعبة الحمل.

2- ألا يتجاوز ارتفاع مستوى التحميل لآليات التفريغ اليدوي القيمة 1.6 متر.

3- أن تكون حمولة الآليات ذات السرعة الكبيرة (أكبر من 30 كم/ساعة) مغطاة.

4- يجب ألا تتم عمليات نقل النفايات من وسيلة التجميع الأولية إلى وسيلة النقل الأكبر حجماً بتفريغ النفايات من الأولى على الأرض.

5-6-1- العربات اليدوية

تصنع العربات اليدوية بشكل عام من انابيب أو زوايا حديدية، ويكون لها سطح منبسط يوضع فوقه 2-6 أوعية سعة كل منها 70-80 لتراً تقريباً حتى يستطيع العامل تفريغ محتويات الأوعية في وسيلة النقل وللعربات عجلتان أو أربع عجلات لتسهيل حركتها، كما في الشكل 5-2 ويلجأ إلى العربات اليدوية في الحارات والأزقة الضيقة.

العربة اليدوية يدفعها في الغالب عامل واحد يقوم بكنس الشوارع وتفريغ أوعية أو أكياس النفايات الناتجة من باب إلى باب، أو من متجر إلى آخر في الأوعية الموجودة على العربة، كما في الشكل 5-3. وتفرغ محتويات أوعية العربات اليدوية مباشرة داخل سيارة نقل أكبر.

وبالنسبة لطريقة الجمع اليومي من باب إلى باب فإن العربة اليدوية التي تحمل وعاءين تخدم في المرحلة الواحدة حوالي 20 وحدة سكنية بمعدل 8 لتر لكل وحدة سكنية في اليوم، أما العربة المزودة بـ 6 أوعية حجم كل منها حوالي 70 لتر تعادل في حمولتها إنتاج 50 وحدة سكنية، بمعدل 8 لترات لكل وحدة سكنية في اليوم، ويستطيع عامل واحد خدمة 200 إلى 300 وحدة سكنية في اليوم.

الشكل 5-3:

تفريغ أوعية أو أكياس النفايات في أوعية العربة اليدوية.

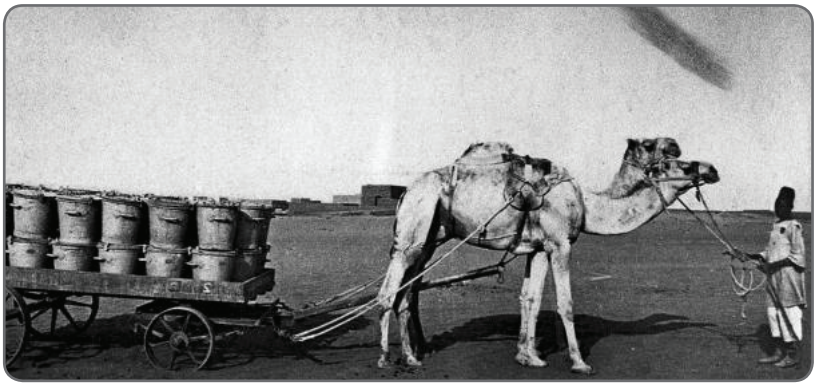
وعندما تكون الكتلة الحجمية للنفايات 250 كيلوغرام لكل متر مكعب، فإن وزن حمولة العربة ذات الوعاءين سيكون حوالي 40 كيلوغرام، بخلاف وزن العربة ذاتها وهذا الثقل يعتبر معقولاً، وفي استطاعة عامل واحد أن يدفعها أمامه بسهولة. ويبلغ مدى سير (مشوار) العربة اليدوية في حدود كيلو متر واحد. لذلك توضع سيارة النقل الأكبر في أماكن محددة أو تنشأ نقاط تحويل لاستقبال حمولات العربات اليدوية.

5-6-2- العربات التي تجرها الحيوانات

حتى الحرب العالمية الثانية كانت الخيول تستخدم على نطاق واسع في أوروبا لتجميع النفايات من باب إلى باب، وما زالت الخيول والبغال والحمير والثيران والجمال تستخدم لهذا الغرض في أنحاء كثيرة من العالم. وتتراوح سعة هذه العربات من 2 إلى 4 متر مكعب، وقد تنقل هذه العربات صناديق نفايات كما في الشكل 5-4.

الشكل 5-4:

عربات نقل النفايات التي تجرها الحيوانات.



لكن غالباً ما تكون مجهزة بصندوق قلاب على محور أو بطريقة أخرى. ومن مزايا العربات التي تجرها الحيوانات أنها:

- لا تحتاج إلى وقود.
- منخفضة التكاليف جدا إذا ما قورنت بالسيارة.
- لا يصدر عنها غالباً أي ملوثات هواء أو صوت أثناء العمل.
- يستطيع السائق أن يترك العربة ويساعد في التجميع والتعبئة.

ولكن في المقابل فإن حركتها البطيئة تحد من مدى تشغيلها الفعلي إلى حوالي 3 كيلومتر، وقد تعرقل حركتها المرور في الشوارع المزدحمة. وهذه نقطة ملحوظة بوضوح أثناء سير العربة، مثلها مثل السيارة التي تعرقل كذلك أثناء التجميع فهي متساوية معها في هذه النقطة.

5-6-3- الدراجات الآلية ثلاثية العجلات

تستخدم الدراجات ثلاثية العجلات ذات الصندوق الأمامي أو الخلفي لحمل النفايات، ويساعد استخدامها على تخفيض وقت الرحلة مقارنة مع العربات اليدوية. ومن ثم فإنها تعمل لمدى سير أطول من مدى سير العربة اليدوية. ويستطيع سائق الدراجة الآلية ذات الثلاث عجلات أن يخدم أكثر من 200 وحدة سكنية في اليوم.

5-6-4- العربات الكهربائية

هي عربات تعمل بالطاقة الكهربائية وتستخدمها فرق الكناسين. ولكن سعتها التي تتراوح بين 2-3 متر مكعب تيسر استخدامها لجمع النفايات كبديل لعربات الجر. وتتراوح سرعة هذه العربات من 5-6 كيلومترات في الساعة، ولا يتجاوز مدى سيرها كيلومترين. ويمكن شحن بطارياتها طوال الليل من مصدر كهربائي قوته 13 أمبير. ويلاحظ أن تشغيلها الذي لا يصدر عنه أي صوت أو نفايات يجعلها عربة مثالية للتجميع ليلاً من الحارات والأزقة الضيقة[78]. غير أن تكلفتها عالية جداً، مما يجعلها لا تستخدم إلا في البلدان الأكثر ثراءً.

5-6-5- الجرارات والمقطورات

الجرار الزراعي (الشكل 5-5) واحد من الآليات المتوافرة في كافة البلدان النامية. ولاستخدام الجرار الزراعي العديد من المزايا التي تزكي استخدامه:

- تتوفر إمكانيات وسرعة صيانته أكثر من معظم أنواع العربات الآلية الأخرى.

- إذا استخدم مع المقطورة فإن تكاليفه الرأسمالية قد تصل إلى نصف تكاليف الشاحنة (حمولة 5 طن)

- قدرة الجرار على سحب حمولة كبيرة تتناسب مع قوته بالحصان الميكانيكي.
- يعتبر مثالياً للعمل في مواقع الردم الصحي نظراً لأنه مزود بعجلات كبيرة ذات عزم التواء عال.

الشكل 5-5:

استخدام الجرار الزراعي في نقل النفايات الصلبة

- يعتبر مصدراً إضافياً للطاقة حيث يمكنه تشغيل جهاز تفريغ هيدروليكي تزود به المقطورة.
- على الرغم من بطء سرعته – حوالي 20 كيلومتراً في الساعة – فإنه يعتبر من أرخص الوسائل الآلية لنقل النفايات الصلبة في مقطورة تصل سعتها إلى 6 متر مكعب.
- يمكن أن يستخدم الجرار الزراعي مع المقطورة كوحدة مرتبطة لجمع النفايات من البيوت ونقط الحفظ الجماعي، هذا بالإضافة إلى كفاءتها في محطات الانتقال (Transfer station) لسهولة فصل الآلة المحركة عن الصندوق.

ويلاحظ أن العمل الذي تقوم به عربة النفايات ينقسم إلى قسمين:

- الفترة التي تبقى متوقفة عن الحركة أثناء التحميل، وتمثل وقتاً ضائعاً بالنسبة للوحدة المحركة.
- الفترة التي تنقضي أثناء السير بسرعة الطريق العادية وبكامل حمولتها وتمثل فترة الاستغلال الأمثل للوحدة المحركة.

ولهذا ومن أجل الوصول إلى أقصى إنتاجية بمقياس الطن والكيلومتر، فإن الوقت اللازم للتعبئة يجب أن ينخفض إلى أدنى حد، فإذا أمكن فصل وسيلة النقل إلى جزأين منفصلين: الوحدة المحركة والصندوق فإنه يمكن الحد من وقت التعبئة بتوفير صندوق إضافي تتم تعبئته، بينما يكون الأول في طريقه لتفريغ الحمولة في موقع التخلص. فإذا أمكن استخدام الجرار – وهو الوحدة المحركة – فقط لنقل المقطورات التي تتم تعبئيها بالكامل في غيبته، فإنه يعتبر مستخدماً بشكل تام في الانتقال من الموقع وإليه. وإذا ما توفرت الظروف المناسبة يمكن نقل ضعف أو ثلاثة أمثال الوزن اليومي الذي يمكن نقله بواسطة سيارة متكاملة. والظروف المناسبة هي:

- في مواقع مصادر النفايات الكبيرة مثل الأسواق، حيث يمكن وضع مقطورة بصفة ثابتة ودائمة تستخدم كحاوية للحفظ الجماعي بالسوق.
- في الأماكن التي تتجمع فيها النفايات من مصادر صغيرة متعددة مثل الوحدات السكنية بوسائل أخرى مثل العربات اليدوية التي يتم إحضارها إلى المقطورة للتفريغ.

5-6-6- الشاحنات التي تعمل بالوقود السائل

هذا النوع من الشاحنات متوفر في كافة أنحاء العالم (الشكل 5-6)، ويستخدم على نطاق واسع في جمع النفايات من المواقع المشتركة. وهي مصممة أصلاً لنقل مواد البناء. فصندوقها غالباً ما يكون مصنوعاً من الصلب أو الخشب، ويتكون من سطح منبسط بجوانب مفصلية وحاجز خلفي بارتفاع 40-60 سم، ويتراوح حجمه بين 5 إلى 6 متر مكعب. ويعتبر مناسباً تماماً للمواد ذات الكثافة العالية مثل الأحجار والرمال وغيرها. ونادراً ما تكون هذه السيارات بشكلها المعتاد قادرة على استيعاب حمولتها القصوى من النفايات الصلبة. فحتى ولو كانت من النفايات عالية الكثافة والمكدسة بأكثر من حجمها، فإنها لن تتجاوز أربعة أطنان. لذلك فإنه من الشائع زيادة ارتفاع الجوانب لزيادة الحجم بالأمتار المكعبة. وفي هذه الحالة يكون من الضروري استخدام سلم متنقل لسهولة تحميل السيارة أو وجود عمال داخل الصندوق لتلقي الأوعية المحملة بالنفايات التي يرفعها إليهم عمال التجميع.

يستحسن أن تتوافر في شاحنة جمع النفايات بدون رص ما يأتي:

- أن يكون حجمها كبيراً – بحيث لا يقل عن 2 متر مكعب للطن مع السعة الكلية للسيارة –وذلك نظراً للكثافة المنخفضة للنفايات بالمقارنة بمعظم الحمولات التجارية.
- ألا يتجاوز ارتفاع مستوى حافة التعبئة 1.6 متراً.

وهناك أربع نقاط يجب مراعاتها في التصميم للمساعدة على توفير هذه المتطلبات بدون تعقيدات ميكانيكية في صندوق السيارة.

- خفض ارتفاع الهيكل (الشاسية) باستخدام إطارات ذات قطر أصغر من المعتاد مما يؤدي إلى خفض مستوى التعبئة.
- استخدام السيطرة الأمامية بالكامل بان تكون حجرة القيادة فوق محرك السيارة لإفساح المكان لصندوق السيارة فوق الهيكل (الشاسية).
- زيادة امتداد مؤخرة السيارة.
- زيادة الطول المستعمل من محور العجلات.

بهذه الوسائل يمكن تجهيز صندوق مغلق سعته 8 متر مكعب، دون أن يتجاوز ارتفاع حافة التعبئة 1.6 متراً. والشكل الأكثر شيوعاً للصندوق الذي له هذه المميزات هو الصندوق ذو التعبئة الجانبية من الجهتين، وله ثلاث أو أربع فتحات على كل جانب يمكن إغلاقها بأبواب منزلقة مصنوعة من ألواح الصاج المنبسط المزود بمجرى لتسهيل الحركة. ويمكن أثناء التعبئة توزيع الحمولة داخل الصندوق بواسطة ساحبات ذات أيدي طويلة وفي المراحل النهائية للتعبئة يمكن تكويم الحمولة على أحد الجوانب بإغلاق الأبواب من جانب واحد فقط. كما يجب ان تكون هذه الشاحنات مجهزة بقلاب هيدروليكي.

الشكل 5-6:

نموذج سيارة شحن تجارية مجهزة بصندوق قلاب لتفريغ النفايات

5-6-7- السيارات ذات الضاغط

تقسم السيارات ذات الضاغط إلى نوعين كما هو مبين في الجدول (5-1):

- **النوع الأول(I)**: عربات ذات حمولة صغيرة تبلغ حتى 2500 كغ، وكون تحميلها آلياً أو يدوياً.

- **النوع الثاني(II)**: عربات حمولتها كبيرة تبلغ أكثر من 2500 كغ وتحميلها آلي.

الجدول 5-1:

المواصفات الأساسية لعربات نقل النفايات ذات الضاغط أو الخزان المغلق.

المواصفات	النوع الأول الصغيرة	النوع الثاني الكبيرة
وزن النفايات الصلبة المحمولة (كغ).	2500-1500	13500-2500
عامل الضغط باعتبار الوزن النوعي البدئي للنفايات (0.12) طن/ م3.	3-1.7	5-2
سرعة نقل السيارة (م/ثا).	14	14

ولنقل النفايات من الحاويات الثابتة يستخدم نوعان من السيارات، سيارات ذات تحميل يدوي وسيارات ذات تحميل آلي أو ميكانيكي.

تسمى السيارات التقليدية المستخدمة لنقل النفايات المنزلية والتجارية المعبئ (packers)، وهي تشحن من الخلف وبها مدمِج ضاغط ومغطى (rear-loaded and covered compactor)، والتي تختلف في أحجامها وأنماط تصميمها.

تُفرغ النفاية من سلة النفايات في خلفية سيارة النفاية حيث تُجرف بنظام تشغيل هيدروليكي يعمل على ضغط النفاية من كثافة ظاهرية تبلغ 120 كغ/م^3 إلى حوالي 360-420 كغ/م^3، كما في الشكل (5-7).

الشكل 5-7:

سيارة تفريغ الحاويات الثابتة مع ضغط النفايات.

تبدأ رحلة السيارة إلى مواقع المعالجة أو محطات الترحيل أو محطات الردم الصحي بعد أن تكون قد امتلأت السيارة بالنفايات المضغوطة فيها، ويكون قد أفرغ فيها عدد كبير من الحاويات.

5-6-8- الشاحنات ناقلة الحاويات

تزود هذه الشاحنات بهيكل (شاسيه) تجاري حمولته 5-12 طن مجهز بذراعي رفع هيدروليكي لرفع صندوق منفصل من وإلى سطح شاحنة، أو بنموذج آخر لرفع الحاوية، كما في الشكل(5 – 8)، ونقلها إلى محطة الانتقال أو موقع التخلص النهائي.

الشكل 5-8:

نموذج شاحنة ذات رافعة بفكين لرفع حاويات النفايات ونقلها.

5-7- أساليب جمع النفايات الصلبة من المناطق السكنية

تنص قواعد الحفاظ على الصحة العامة على الإسراع بترحيل ونقل النّفايات، ونظراً لزيادة كميات النفايات الناتجة عن المواطنين، وزيادة الحرص على تطبيق القواعد الصّحية، يمكن تقسيم مراحل نقل أو إزالة النفايات وترحيلها إلى المراحل الآتية:

- مرحلة ترحيل النفاية من المنزل إلى سلة المهملات والنفايات داخل المنزل أو خارجه.
- مرحلة حركة النفاية من سلة المهملات إلى سيارة النفايات من قِبل عمال النفاية أو صاحب المسكن.
- مرحلة جمع النفايات من المصادر المختلفة بأفضل السبل وأحسنها

كفاءة وترحيلها إلى مناطق جمع وسيطة (محطة انتقالية/تحويلية) أو إلى مناطق التخلص النهائي.

- مرحلة مسار الشاحنة عبر شبكة طرق المدينة.
- مرحلة التخلص النهائي أو استعادة المواد.

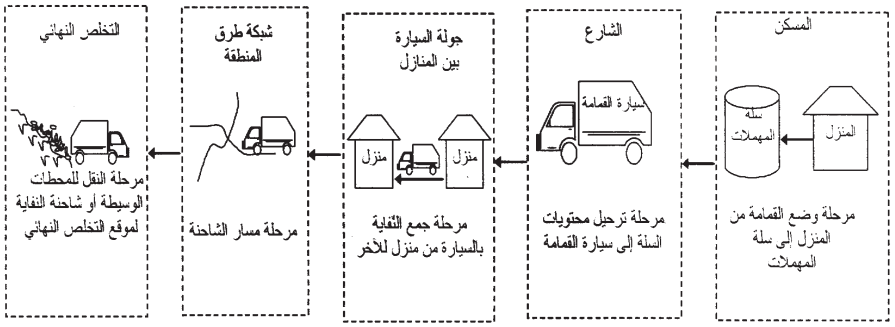
ويبين الشكل (5-9) [79] مراحل جمع ونقل النفايات.

هناك أربعة أساليب أساسية للجمع، تتوقف على حجم العمل المطلوب من صاحب العمل القيام به وهي:

التجميع من المربع السكني حيث يلتزم صاحب البيت بتسليم النفايات مباشرة للسيارة في أوقات التجميع.

الشكل 5-9:

مراحل جمع النفايات والتخلص منها



- التجميع من حافة الرصيف حيث يلتزم صاحب البيت بإخراج وعاء النفايات وأن يسترجعه فيما بعد.
- التجميع من باب إلى باب حيث يقوم عامل التجميع بالدخول إلى المبنى وأخذ النفايات الناتجة عن كل بيت في المبنى.
- الحفظ الجماعي أو المشترك ويتطلب ذلك من صاحب البيت وضع النفايات على مسافة معقولة من بيته.

5-7-1- الجمع من المربع السكني:

تسير سيارة التجميع في طريق محدد وثابت، وتتوقف السيارة عند كل مفترق طرق، وتدق جرساً (تنبيه) يدعو سكان الطرق المؤدية إلى المفترق إلى حمل أوعية النفايات بأنفسهم إلى السيارة، وتسليمها للعمال لتفريغها ويلاحظ أن هذا الأسلوب يتميز عن أسلوب التجميع من حافة الرصيف بعدم ترك الأوعية في الشارع، لكن هذا النظام غير مناسب في بعض الأحياء لعدم تعاون السكان وإيصال نفاياتهم إلى السيارة وقت مرورها.

5-7-2- الجمع من حافة الرصيف:

يضع السكان أوعيتهم على ممر المشاة قبل مواعيد التجميع ثم يقوم السكان باسترجاعها بعد إتمام تفريغها والتجميع من حافة الرصيف ليس وافياً بالغرض تماماً إذ تحيط به صعوبات منها:

- عبث النباشين/النكّاشين بمحتويات الأوعية.
- سرقة أوعية النفايات أو فقدانها.
- ما قد تسببه الأوعية المتدحرجة في الطريق من حوادث مرورية.
- تتسبب الحيوانات الضالة والماشية في بعثرة المحتويات.
- تراخي أصحاب البيوت في استرجاع الأوعية بسرعة بعد تفريغها.

ومع هذا فإن التجميع من حافة الرصيف لا غنى عنه بالنسبة لبعض نوعيات المباني، وعندما يكون معدل إنتاج الفرد من النفايات مرتفعاً والجمع غير متواتر، يمكن تحقيق أعلى معدل لإنتاجية العامل، وذلك بسبب ضمان وجود نفايات صلبة على حافة الرصيف في جميع الأوقات.

وعلى سبيل المثال فإن عاملاً واحداً في الولايات المتحدة، يجمع ما يقرب عشرة أطنان في اليوم (400 وحدة سكنية x 25 كيلو غراماً من كل مسكن).

وفي جميع البلدان النامية حيث تعتبر نسبة الأجور إلى تكاليف السيارة أقل بكثير مما هي عليه في الولايات المتحدة، يبدو أنه من الأفضل استخدام فريق عمل لايقل عن 4 عمال، وسوف تكون الإنتاجية أقل لأن وزن النفايات المجمعة من الوحدة السكنية أقل، خاصة أن الجمع من المنازل يومي وليس أسبوعياً، أو نصف أسبوعي كما في الولايات المتحدة.

5-7-3- الجمع من باب إلى باب:

في هذه الطريقة يقوم عامل التجميع بالدخول إلى الحديقة أو الساحة، أو يطلب وعاء النفايات ليحمله إلى السيارة لتفريغه ثم يعيده ثانية إلى مكانه، وهذا أسلوب مكلف من ناحية العمالة للزيادة الكبيرة في وقت العمل الضائع في التوجه للمسكن والعودة ثم التوجه للمنزل التالي، وهذا الأسلوب يكلف أكثر من تكلفة أسلوب التجميع من حافة الرصيف، ولكنه في نفس الوقت يعتبر أسلوباً يقابل بارتياح حقيقي من قبل السكان.

وثمة مشكلة بالنسبة لنظام التجميع من باب إلى باب في البلدان النامية، هي أن إنتاجية تشغيل السيارة تنخفض كثيراً عن مثيلتها في أوروبا أو الولايات المتحدة الأمريكية إذا تم التجميع على فترات متقاربة. فإذا كانت إنتاجية التشغيل العالية للسيارة هي الهدف الرئيسي في البلدان النامية، فإن نظام التجميع من باب إلى باب وتفريغ أوعية النفايات في السيارة الثقيلة المتنقلة مكلف كثيراً في حالة الجمع اليومي للنفايات.

5-7-4- الجمع من نقاط الحفظ الجماعي أو المشترك:

يترتب على استخدام مواقع الحفظ الجماعي تبسيط عملية جمع النفايات إلى حد كبير، ومواقع الحفظ الجماعي يتراوح سعة كل منها بين 1 و 25 م ^{3}، لكن عندما تكون مواقع الحفظ الجماعي أكثر تباعداً فإن قسماً كبيراً من النفايات المنزلية سوف يلقى في الشارع مباشرة بواسطة أصحاب البيوت الذين يتكاسلون عن نقل النفايات إلى موقع الحفظ الجماعي لذلك لا يمكن الحفاظ على نظافة

المدينة الكبيرة المعتمدة على هذا الأسلوب إلا باستخدام أعداد ضخمة من الكناسين وبالتالي تصبح تكلفة كنس الشوارع أعلى من تكلفة جمع النفايات من مواقع الحفظ الجماعي.

وفيما يلي عرض الاستنتاجات الرئيسية في هذا المجال:

إن أساليب الحفظ المشترك التي تعتمد على أوعية سهلة الحمل يدوياً ربما كانت أرخص أساليب التجميع تكلفة. كما يبدو أن أسلوب التجميع من الحاويات العامة يضمن أن تكون تكلفة التجميع معقولة حتى وان نفذ التفريغ والنقل يومياً، ويتجنب كل المشاكل التي تنشأ باستخدام أسلوب التجميع من حافة الرصيف.

أما أسلوب التجميع من باب إلى باب باستخدام السيارات الثقيلة، فإنه يعتبر إلى حد كبير أكثر الأنظمة تكلفة بالنسبة للبلدان النامية، اذا ما أستدعى الأمر أن يتم التجميع يومياً، ولكن يصبح على مستوى مقبول من ناحية التكلفة في مناطق مختارة من المدينة اذا قدمت الخدمة مرتين في الأسبوع.

كما يمكن استعمال أكياس بلاستيكية من كل مسكن، على أن توضع اما في الفناء الخلفي أو على الرصيف لجمعها أو تترك في نقاط التجميع المشترك.

5-8- تصنيف أنظمة حاويات جمع النفايات:

نميز بين نموذجين لأنظمة حاويات جمع النفايات كما يلي:

- نظام الحاويات المنقولة (HCS) Hauled – Container System
- نظام الحاويات الثابتة (SCS) Stationary – Container System

5-8-1- نظام الحاويات المنقولة (HCS Hauled – Container System)

يسمى نظام الحاويات المنقولة بهذا الاسم، حيث إنّه يتم استخدام حاويات لتخزين وحفظ النفايات، فتمر السيارات الخاصة بنقل النفايات على مواقع توضّع هذه الحاويات الممتلئة بالنفايات وتُرفع الحاويات الممتلئة عليها، ومن الحاويات

الأكثر استخداماً حاويات سعة الواحدة (0.75) م^3 ولهذا الغرض تستخدم سيارات نقل خاصة تحمل بوقت واحد (8) حاويات موزعة على صفين من كل جانب صف لأربع حاويات، وبهذا تكون السعة الإجمالية للسيارة من الحاويات (6) م^3، ومن ثم يتم نقلها إلى محطات النقل أو المعالجة أو التخلص النهائي وتفرغها في المكان المخصص، ويجب أن يكون هذا المكان أفقياً ومغطى بطبقة كتيمة من الإسفلت، ويضع بدلاً منه الحاويات المنقولة حاويات نظيفة، أو يمكن أن تعود السيارات فارغة إلى موقعها الأصلي بدون أخذ حاويات نظيفة من الموقع الذي وضعت فيه الحاويات الممتلئة (في حال استحضار حاويات فارغة من مكان آخر مخصص لغسل الحاويات)، وذلك حسب النظام المتبع.

وبما أن النفايات ترحّل إلى المكان المطلوب في الحاويات نفسها التي تمّ وضعها فيها من المناطق السكنية، كما في الشكل (5 - 10) فإنّه يقل التماس بين عمال النظافة والنفايات، وإنّ غسل الحاويات في نفس موقع محطة المعالجة بعد كل عملية تفريغ، أو في مكان خارج المناطق السكنية، يتيح استبعاد انتشار روائح النفايات في مكان جمعها، ويحسّن الشروط الصّحية والنظافة في المناطق السكنية، ويمكن أن تتم هذه الطريقة بجميع مراحلها بشكل آلي، وهذا لا يحتاج إلى عمال حيث إن سائق السيارة يكفي للقيام بهذا العمل، وقد يكون معه مساعد واحد فقط تلافياً لأية مشكلة قد تحدث.

الشكل 5-10:

سيارة نقل الحاويات المتنقلة

ومن الجدير ذكره أنّه يجب أن توضع الحاويات في المناطق السكنية بعيدة مسافة لا تقل عن (20) متراً عن المنازل والمنشآت المخصصة للأطفال (رياض أطفال، مدارس،.. إلخ)، والأماكن المخصصة للاستجمام.

وتسمى الأنظمة التي تستخدم العربات ذات الحاويات القلابة الكبيرة العلب الهابطة (drop boxes) حيث ينزلق صندوق الحاوية كاملاً على جسم السيارة، وتستخدم هذه الأنظمة في المناطق ذات التوليد الغزير للنفايات والتي تسوغ استخدام شاحنات كبيرة الحجم، وقد تستخدم الحاويات الكبيرة المكشوفة بشكل روتيني في المخازن التجارية ومواقع الإنشاء العمراني.

أما الحاويات الضخمة المتصلة بملقمات ثابتة فهي شائعة الاستخدام في المواقع التجارية ومحطات النقل، وبسبب إمكانية تحميل الأحجام الكبيرة فإنّ استخدام أنظمة الحاويات المحملة بسيارات قلابة انتشر بشكل واسع بين مؤسسات القطاع الخاص لجمع وخدمة النفايات الصناعية، ويمكن بالظروف السابقة نفسها الاستفادة من أنظمة الحاويات المقطورة إلاّ أن استعمالها منتشر أكثر في جمع ونقل النفايات العامة الثقيلة بشكل خاص مثل الرمل، وقطع الأشجار، والأخشاب، والهياكل المعدنية، وجمع نفايات الأنقاض في مواقع الإنشاء والتعمير.

5-8-2- نظام الحاويات الثابتة (Stationary – Container System (SCS

تتميز هذه الطريقة عن سابقتها بأن النفايات الصّلبة تجمع في حاويات ثابتة، ثمّ تُفرّغ منها في سيارات مزودة بحاوية أو صندوق ثابت كما مبين في الشكل (5-11).

الشكل 5-11:

تفريغ الحاويات في سيارات النقل

يتم وضع الحاويات في الأحياء وفق مخطط لِتخدم السكان بشكل سليم ومريح ويُفضّل ألاّ يزيد البعد بين الحاوية والأخرى عن 300 متر.

5-8-3- حساب عدد الحاويات المنقولة:

حساب عدد الحاويات المنقولة:

1. يُحسب عدد الحاويات اللازمة لجمع المخلفات الصلبة في نظام الحاويات المنقولة (NHC) بالعلاقة (5-1)

$$N_{HC} = V.\ t.\ K_1.K_2.K_3 / 365\ v \qquad (1-5)$$

حيث:

V: حجم النفايات المتجمعة سنوياً في القطاع المدروس (م^3).

t: الزمن الدوري للإزالة (يوم).

K1: عامل التجميع غير المتساوي للنفايات (K1 = 1.25).

K2: عامل يأخذ صيانة الحاويات بعين الاعتبار (K2= 1.05).

K3: عامل يُحسب كما في العلاقة (5-2):

$$K_3 = 1 + \frac{B_1}{B_2} \qquad (2-5)$$

حيث:

B1: عدد الحاويات الموجودة على السيارة.

B2: عدد الحاويات المستخدمة والموزعة في مكان جمع النفايات.

v: حجم الحاوية الواحدة ($م^3$).

تعطى قيم العامل (K3) لمختلف فترات نقل النفايات الصلبة في الجدول أدناه.

الجدول 5-2:

قيم العامل (K3) لمختلف فترات نقل النفايات الصلبة

الزمن الدوري لنقل النفايات	عدد الرحلات اليومية						
	1	2	3	4	5	6	7
كل يوم+	2	1.5	1.33	1.25	1.2	1.17	1.14
كل يومين	1.5	1.25	1.17	1.13	1.1	1.08	1.07
كل ثلاثة أيام	1.33	1.17	1.11	1.08	1.07	1.06	1.04

2. يُحسب عدد الحاويات اللازمة لجمع النفايات الصلبة في نظام الحاويات الثابتة (NSC) بالعلاقة (5-3).

$$N_{SC} = V.\ t.\ K_1.K_2\ /365\,v \qquad (3-5)$$

5-9- عناصر العمل في جمع النفايات الصلبة

تحتاج خدمات جمع النفايات إلى عمال وسيارات، ولتشغيلها بكفاءة يلزم أن يكون هناك فهم واضح للعناصر الرئيسية الثلاثة في عملية جمع النفايات:

- الرحلة إلى منطقة العمل.
- خطوات التجميع وتشغيل نقل النفايات من أماكن حفظها إلى السيارة والانتقال بين مقاطع الجمع المتتالية.
- عملية الترحيل حيث تنقل محتويات السيارة إلى موقع التخلص من النفايات.

وخلال ساعات الراحة يحتفظ بالسيارات في مستودع به ساحة مناسبة للوقوف. ويجب أن تكون المسافة بين هذا المستودع وبين منطقة العمل أقصر ما يمكن لأن الوقت الذي تقطعه السيارة في هذه المسافة يعتبر وقتا ضائعاً بدون إنتاج. وبالنسبة للسيارات لابد أن يكون هناك توازن بين الحاجة إلى تجميع خدمات الصيانة والمستودعات.

وبصفة خاصة التزود بالوقود وكذلك توحيد مكان تجميع السائقين والسيارات وإدارة الحركة. ويلاحظ أن بطء حركة العربات اليدوية يستدعي وجود مستودعات على مسافة متقاربة في الأحياء لحفظ العربات. كما أن وجودها يساعد على مراقبة العمال بمزيد من الكفاءة، ويمكنهم من تسجيل حضورهم وانصرافهم في مكان قريب من العمل.

وتنحصر الأساليب المتعددة لنقل النفايات من أماكن حفظها إلى وسائل نقلها في ثلاث مجموعات رئيسية:

- التفريغ المباشر لأوعية حفظ النفايات السهلة الحمل في وسيلة التجميع. وتستخدم هذه الوسيلة بشكل عادي عندما يكون في الإمكان مرور السيارات بجوار الأوعية.

- تفريغ أوعية حفظ النفايات سهلة الحمل في حاوية تجميع مرحلية - غالباً ما يكون صندوق نفايات كبير - وهذا يفرغ بالتالي فيما بعد في السيارة وتستخدم هذه الطريقة عادة عندما تكون الأوعية بعيدة عن خط سير السيارة ولتفادي عملية إعادة الأوعية الفارغة إلى أماكنها.
- نقل النفايات من أماكن تركها على الأرض مباشرة باستخدام الجاروف والشوكة.

هذه المجموعات الثلاث مرتبة بشكل تصاعدي من حيث القبول، وبناءً عليه فإن الأولى هي الأنسب والأفضل من ناحية إنتاجية كل من العامل والسيارة، كما أنها تحد بقدر الإمكان من ملامسة الإنسان للنفايات.

ويتوقف التنقل بين نقاط التجميع المتتالية على تحديد أماكنها أولاً. فعندما تكون متباعدة إلى حد ما مثل حالة موقع الحفظ الجماعي الكبيرة، فإن انتقال السيارة من موقع إلى آخر يمثل وقتاً ضائعاً إلا انه سيكون بالسرعة المعتادة للسير في الطريق. كما أنه يوفر وسيلة مناسبة لانتقال العمال بين المواقع المختلفة بالركوب في السيارة طوال المسافة.

أما في حالة التجميع من باب إلى باب فإن العمال يقطعون المسافات القصيرة بين الأوعية مشياً على الأقدام. كما تتحرك السيارة ببطء شديد وعلى مراحل ولهذا السبب فإن تشغيل السيارة يعتبر غير فعال ويترتب عليه استهلاك لجهاز نقل الحركة وارتفاع في استهلاك الوقود. وتعتبر العربات اليدوية أكثر ملاءمة، فهي تعمل بسرعتها المعتادة ولا تستهلك أي طاقة أو وقود أثناء توقفها من باب إلى باب.

وبالنسبة لعمال التجميع الذين ينتقلون من باب إلى باب فإن المسافة التي يتعين على العامل أن يقطعها تتوقف على عدد العمال في الفريق. فإذا كان العامل رجلاً واحداً فإنه ينتقل من باب إلى باب، أما إذا كان الفريق مكوناً من ثلاثة عمال فإن كل واحد منهم يجمع نفايات بيت واحد من بين كل ثلاثة بيوت، ومع هذا فإن إنتاجية العامل تنخفض كلما زاد عدد عمال الفريق عن ثلاثة، وذلك بعكس الحال بالنسبة للسيارة فإن إنتاجيتها تزداد تبعاً لعدد العاملين عليها إذ تتم تعبئتها بسرعة أكبر.

فإذا انتقلنا إلى مرحلة التسليم بعد إتمام تعبئة السيارة وانتقالها بسرعة السير المعتادة من منطقة العمل إلى موقع التخلص من النفايات، فإن هذه المرحلة تمثل أقصى إنتاجية للسيارة، كما تمثل وقتاً ضائعاً بالنسبة للعمال إذا رافقوا السيارة. وتعتبر العربات اليدوية غير ملائمة لهذا العمل وذلك لبطئها وسعتها المحدودة.

5-10- نقل النفايات الصلبة إلى مسافات قصيرة:

النقل إلى مسافات قصيرة هو نظام تقسم بموجبه عملية نقل النفايات إلى مرحلتين: جمع مبدئي وجمع نهائي. أما الجمع المبدئي فيتم من باب إلى باب باستخدام وسائل نقل غير آلية مثل العربة اليدوية، وعندما تمتلئ العربة يتم تفريغها مباشرة في سيارة كبيرة تستخدم للنقل السريع للحمولة الكاملة فقط.

5-10-1- الجمع المبدئي باستخدام العربات اليدوية:

كما ذكرنا سابقاً توجد عربات ذات وعاءين إلى ستة أوعية تستخدم لجمع النفايات من باب إلى باب حيث تفرغ حاوية كل منزل في الوعاء. وفيما يلي حساب نموذجي لتشغيل عربة يدوية:

بفرض أن العربة بها ستة أوعية سعة كل منها 50 لتراً ، وعندما تمتلئ الأوعية يتم دفع العربة إلى مقطورات سعة كل منها 6 متر مكعب ويبعد كل منها عن الأخر بمسافة كيلو متر واحد، ومن ثم فإن عمال التجميع العاملين مع المقطورة يصبحون على مدى حوالي 700 متر ومتوسط بعدهم عنها 400 متر:

- سعة العربة (6 أوعية x 50 لتر) = 300 لتر

- ومن ثم فإن حمولة العربة محسوبة على أساس كثافة

330 كيلو غرام /متر مكعب 1000/330 x 300 = 100 كيلو غرام

- إذا كان إنتاج النفايات 1.7 كغ / وحدة سكنية / يوم

فإن حمولة العربة 100/1.7 =60 وحدة سكنية

- الوقت اللازم لتعبئة الدور 1.5 دقيقة لكل وحدة سكنية 1.5 x 60=90 دقيقة
- المسافة 400 متر x 2 (ذهاباً وإيابا)، بسرعة 3000 متر في 60 دقيقة (الساعة) 800/3 x 60 =16 دقيقة
- وقت التفريغ = 5 دقائق
- فترة تأخير مسموح بها = 10 دقائق
- إذاً مجموع الوقت اللازم للدورة الواحدة 90+16 +5+10= 121 دقيقة
- وقت العمل في الوردية الواحدة 480 دقيقة =4 دورات في الوردية
- إنتاجية العامل في الوردية الواحدة = 4 x 60 =240 وحدة سكنية

أي ما يعادل 400 كيلو غرام

5-10-2- الجمع النهائي بوساطة الجرار والمقطورة:

بفرض أن المقطورات سعة كل منها 6 أمتار مكعبة، وأنها تستبدل عند تمام تعبئتها بواسطة جرار زراعي ينقلها إلى موقع التخلص من النفايات، وأن متوسط المسافة إلى موقع التخلص 12 كيلو متراً وأن متوسط السرعة 15 كيلو متر في الساعة:

- الوقت اللازم للرحلة =48 دقيقة
- وقت تبديل المقطورة =5 دقيقة
- وقت تفريغ الحمولة =10 دقيقة
- فيكون الوقت الإجمالي =63 دقيقة

فإذا تجاوزنا عن 7 دقائق تأخير في كل دور فإن متوسط الوقت اللازم للدور يصبح 70 دقيقة أي ما يعادل 6 أدوار في يوم عمل يستمر 7 ساعات (وأحياناً 8 ساعات).

فإذا كان متوسط حمولة المقطورة 2.4 طن (بمعدل كتلة حجمية 400 كغ/ م^3) فإن إنتاجية الجرار في الوردية 6 x 2.4= 14.4. طن، أما عدد المقطورات اللازمة فيتوقف مبدئياً على الكثافة السكانية، إذا كانت هناك مقطورة واحدة تستبدل 6 مرات في اليوم فيمكنها أن تكفي 36 عامل تجميع يخدمون 34 ألف نسمة ولكن نظراً للمدى المحدود لتشغيل العربة اليدوية فإن هؤلاء ال 36 عامل يجب أن يكونوا موزعين في منطقة مساحتها كيلو متر مربع. وبناء عليه فإنه في هذا المثال إذا كانت كثافة السكان أقل من 43000 نسمة/ كم2 فسوف يلزم أكثر من نقطة انتقال واحدة (transfer-point)، كما أن وجود نقطتي انتقال بكل منها مقطورة تستبدل ثلاث مرات في اليوم سيساعد الجرار والمجموعة المكونة من 36 من عمال الجمع على تغطية منطقة مساحتها 2 كم^2 بكثافة سكانية قدرها 21500 نسمة/ كم^2.

وفي الحالة الأولى سوف نحتاج نظرياً إلى مقطورتين واحدة ثابتة في نقطة الانتقال والثانية على الطريق إلى أو من موقع التخلص من النفايات وأما في الحالة الثانية فإن العدد يرتفع إلى 3 مقطورات لكل جرار واحدة في كل من نقطتي الانتقال والثالثة على الطريق، أما من الناحية العملية فإنه من الضروري –غالباً– توفير سعة إضافية في نقطة الانتقال لأن معدلات التجميع بالعربات اليدوية وتبديل المقطورات ليست دائماً على مستوى ثابت، لذلك فإن عدد المقطورات يجب أن يكون على النحو التالي:

كثافة سكانية معتدلة: 3 مقطورات لكل جرار منها 2 في كل نقطة انتقال.

كثافة سكانية عالية: 5 مقطورات لكل جرار منها 2 في كل نقطة انتقال.

أما أدنى كثافة سكانية بالنسبة للعربات اليدوية فهي 7200 نسمة/كم^2.

وهنا يحتاج كل كم^2 إلى 6 عمال تجميع ومقطورة واحدة لكل نقطة انتقال، وفي

هذه الحالة لا تكون هناك حاجة إلى سعة إضافية فتصبح بذلك نسبة المقطورات إلى الجرارات 1/7، حيث 6 مقطورات في نقاط الانتقال وواحدة على الطريق إلى أو من موقع التخلص من النفايات

ويلاحظ أن كل الأرقام السابقة مبنية على أساس إنتاج الشخص الواحد من النفايات 350 غرام/اليوم، وبالنسبة لأي مدينة بذاتها لابد من إجراء بعض التصحيحات بما يتلاءم مع المعطيات المحلية.

وعلى العموم فإن النقل إلى مسافات قصيرة باستخدام العربات اليدوية يعتبر ملائماً اذا ما توافرت الشروط التالية:

- إنتاج منخفض من النفايات للشخص الواحد.
- قمامة ذات كتلة حجمية كبيرة.
- كثافة سكانية عالية.
- انخفاض في مستوى أجور اليد العاملة.

فإذا ما اختفى واحد أو أكثر من هذه الشروط فإن مبدأ استخدام نقاط الانتقال يبقى قائماً ولكن قد يحتاج الأمر إلى استخدام سيارة ذات سعة أكبر حيث إن التجميع المبدئي سيكون بغير عربات اليد مما يزيد في كمية النفايات.

5-10-3- الجمع النهائي من محطة النقل (محطة التحويل الوسيطة):

إن الفائدة الأساسية من استخدام عربات الجر أو العربات الآلية الصغيرة هي نطاق عملها الواسع، فالعربة التي يجرها حيوان تكاد تكون في نفس مستوى بطء العربة اليدوية ولكن حجمها أكبر بكثير، بحيث أنها لو أدت رحلتين فقط فإنها تكاد تحل محل أربع رحلات أو أكثر للعربة اليدوية، ومن هنا نجد أن وقت العمل يستهلك في التجميع، كذلك فإن العربات الآلية الصغيرة تتميز بأنها أوسع وأسرع وهذا يساعد كثيراً على اختيار محطات نقل موزعة في أنحاء متفرقة لتخدم عدداً أكبر من السكان في المناطق ذات الكثافة السكانية المنخفضة.

والمفروض هنا أن العربات التي يجرها حيوان أو الدراجات الثلاثية العجلات يتم تفريغها من مستوى مرتفع في داخل سيارات شاحنة ذات قلاب سعتها 7 طن، ولها جوانب مرتفعة لزيادة الحجم بحيث تنقل كل شاحنة 5 أطنان في المتوسط. وهذا نظام تأكد بالتجربة نجاحه، والوقت اللازم للعمل يمكن أن يكون على النحو الآتي:

التعبئة 5 دقائق، وقت الرحلة والعودة مسافة 30 كم بسرعة 25 كم/ساعة ،و قت التفريغ 10 دقائق، يكون إجمالي الوقت اللازم للدورة 5+72+10 =87 دقيقة

ومع التجاوز عن مدة التأخير فإن إنتاجية العربة تكون كما يلي 5 دورات في اليوم ×5 طن = 25 طن/اليوم.

5-11- تقدير أعداد سيارات جمع النفايات المطلوبة :

1. يُحسب عدد السيارات اللازمة لنقل النفايات الصلبة (Ntk) بالعلاقة (4-5).

$$N_{tk} = \frac{Q_{year}}{365\ Q_{day}.K_4} \qquad (4-5)$$

حيث:

Q_{year}: كمية النفايات الصلبة المنقولة سنوياً حسب النظام المعتمد (م^3).

Q_{day}: كمية النفايات الصلبة التي تنقلها السيارات يومياً (م^3).

K4: عامل استثمار (كفاءة حمولة)مجموع السيارات.

وتُحسب كمية النفايات المنقولة يومياً Qday بالعلاقة (5-5):

$$Qday = P.E \qquad (5-5)$$

حيث:

P: عدد الرحلات في اليوم.

E: كمية النفايات الصّلبة المنقولة في رحلة واحدة (م ^{3}).

يحدد عدد الرحلات في اليوم P بالعلاقة (5-6):

$$P = \frac{[T - (T_0 + T_1)]}{(T_2 + T_3 + 2\,T_4)} \qquad (6-5)$$

حيث:

T: زمن الوردية (ساعة).

T0: زمن انتقال السيارة من المرآب (الكاراج، مركز مبيت السيارات) إلى مكان العمل وبالعكس، (ساعة).

T1: زمن التحضير، (ساعة).

T2: زمن التحميل، (ساعة).

T3: زمن التفريغ، (ساعة).

T4: زمن الرحلة من مكان التحميل إلى مكان التفريغ (محطة النقل أو المطمر)، (ساعة).

2. يمكن تقدير أعداد سيارات جمع النفاية المطلوبة n بإيجاد سعة الجمع CC (collection capacity) من العلاقة (5-7):

$$CC = N.V_c.\beta.T \qquad (7-5)$$

حيث:

CC = سعة الجمع (م ^{3}/يوم)

N = عدد سيارات الجمع.

Vc = حجم سيارة الجمع (م^3).

β = نسبة الرص.

T = عدد الرحلات في اليوم.

سعة الجمع الكلية:

تُحسب سعة الجمع الكلية (total collection capacity) TCC من العلاقة (8-5):

$$CC_T = \sum_i V_{c,i} \cdot \beta_i . T_i \qquad (8-5)$$

حيث:

Vc،i : حجم السيارة التي رقمها i.

βi : نسبة الرص في السيارة i.

Ti : عدد الرحلات التي تقوم بها السيارة i.

يمكن إيجاد عدد السيارات المطلوبة n لجمع الكمية القصوى من النفاية المنتجة من العلاقة (5-9):

$$n = \frac{V_{max}}{V_c . \beta . T} \qquad (9-5)$$

حيث:

vmax : كمية النفايات القصوى.

Vc : الحجم النوعي للنُفاية (لتر/الفرد/اليوم).

وبما أن جزءاً من السيارات يخرج من الخدمة للصيانة الدورية بشكل وسطي (20-30%)، لذا ينبغي ضرب العدد n في معامل يتراوح من 1.2 إلى 1.3.

كما ومن الأفضل أخذ معامل أمان نسبة لأن السيارات لا تحمل ممتلئة دائماً،

ومن المتوقع افتراض أنّ حجم السيارة العامل لجمع النفاية (الفعّال) حوالي (90%) بشكل وسطي.

نسبة لما ذُكر أعلاه يصبح العدد المطلوب من السيارات للجمع الآمن للنفايات Ns كما في العلاقة (5-10):

$$N_S = n.\frac{X(1.2-1.3)}{0.9} \qquad (10-5)$$

هناك عدة عوامل مؤثرة باختيار سيارات جمع النفايات فيجب أخذ ذلك بالحسبان وهذه العوامل هي:

رأس المال وتكلفة التشغيل، التشغيل النظيف، السعة المناسبة، ضمان الاعتمادية، التأكد من الاستمرارية، سهولة الصّيانة والنظافة، سهولة الحركة والطاقة، أثر العوامل المحلية، تكامل نظم الجمع، أنواع أجهزة الاستقبال المستخدمة، إدارة جمع النفايات التي يمكن إعادة استخدامها أوتدويرها.

5-12- تصنيف نظم جمع النفايات حسب إمكانية استعادة النفايات وتدويرها:

تصنيف نظم جمع النفايات حسب إمكانية استعادة النفايات وتدويرها إلى نوعين هما: طريقة الجمع الموحد (المشترك، المختلط) وطريقة الجمع المنفصل.

5-12-1- طريقة الجمع المُوحد (المشترك، المختلط):

يتم في هذه الطريقة وضع مختلف أنواع النفايات في حاوية واحدة، ويتم نقلها والتخلص منها بشكل مشترك.

ومن عيوب نظام الجمع المختلط بالنسبة للمواد القابلة للتدوير:

- تلوث النفايات الورقية والنسيجية ببقايا السوائل التي قد توجد في الزجاجات وعلب الألمنيوم والأوعية البلاستيكية.
- ارتفاع تكلفة الفرز لهذه النفاية.

5-12-2- طريقة الجمع المُنفصل:

يتم في هذه الطريقة فرز ووضع بعض أنواع النفايات في حاوية، وبعضها الآخر في حاويات أخرى بغية إعادة استخدامها، أو نظراً لظروف فنية أخرى.

في بعض المناطق يقوم النباشون/النكّاشون بعملية فرز النفاية بغرض التدوير أو إعادة الاستخدام.

هناك مجتمعات بادرت بفرز نفايات الزيوت الراجعة والمستخدمة ووضعها على حافة الرصيف للجمع، ومجتمعات أخرى تمارس فرز البطاريات وغيرها.

وفي المدن الصناعية المتقدمة والمتطورة التي يتمتع سكانها بدرجة كافية من الوعي البيئي تتم عملية فرز النفايات من نقطة المنشأ من قبل المواطنين في المنازل والمتاجر حسب نوعيتها، حيث تجمع النفايات الورقية، والزجاجية، والمعدنية، والمكونة من مواد لدنة منفصلة بعضها عن بعض، وتقوم بعملية الجمع من المنازل خلال أوقات محددة مؤسسات خاصة، أو حكومية، بهدف إعادة الاستفادة من النفايات أو يقوم السكان بوضع النفايات المنزلية في حاويات خاصة لكل نوع من النفايات موضوعة من قِبل مديرية النظافة في شوارع المدينة، وأماكن مختلفة من المدينة، وتتطلب عملية الجمع المنفصل للنُفايات الصّلبة أن يكون المواطن على درجة كافية من الوعي البيئي.

غير أنه في كثير من الدول المتقدمة والمتطورة نمت شركات متخصصة في تدوير النفايات بربحية واضحة ومقدرة، وبأثر مميز في تحسين البيئة ونقائها لِما فيه الفائدة للصّحة العامة.

نسبة لحداثة صناعة التدوير، وقلة أسواقه، فيصعب وضع مواصفات قياسية له، مما يجعل عمليات التدوير تأخذ عدة أُطر وطرق لصناعة برمجياتها وفنون تشغيلها.

وتتميز طريقة الجمع المنفصل بالميزات الآتية:

- تخفض كمية النفايات المنقولة للمطامر أو المطلوب التخلص منها.
- استرجاع مواد يمكن إعادة استخدامها أكثر من مرة بغية الحد من استنزاف الموارد الطبيعية والطاقة.
- تخفيف درجة التلوث عن طريق عزل المركّبات الخطرةالضارة بالبيئة.
- المعالجة المستقلة لكل نوع من النفايات منفرداً.
- ايجاد فرص عمل جديدة (تشغيل عمال الجمع والنظافة والفرز والتفتيت...الخ).
- خفض تكلفة النقل لشركة جمع النفايات أو البلدية أو القطاع الخاص.
- توفير المواد الأولية القابلة للتدوير من النفايات بكميات كبيرة.
- الناتج النهائي المصنّع من المواد القابلة للتدوير يكون أرخص ثمناً.
- توفير المواد الخام المستوردة مما يؤثر في العملة الحرة الأجنبية.
- إنشاء شبكة من الشركات الخاصة بالتدوير.

من أكثر المحفزات لزيادة التوسع في عمليات التدوير وإعادة الاستخدام توفير السوق للمواد المعاد تدويرها وبأسعار مناسبة. تزداد هذه العملية بتوفر المواد القابلة للتدوير وإعادة الاستخدام من قِبل المستهلكين أو الصناعات المحلية المتوفرة. ومن ثم فمن الواجب تشجيع المنتجين لإنتاج منتجات يمكن تدويرها، أو إعادة استخدامها بسهولة، فمثلاً تُباع المشروبات الغازية في علب ألمنيوم يمكن إعادة تدويرها، أو تُوضع في زجاجات بلاستيكية من نوع البلاستيك الذي يسهل إعادة استخدامه.

ومن متطلبات الجمع المنفصل نوضح الآتي:

- تقوم كثير من المجتمعات بفرز المواد في أكثر من حاويتين أو ثلاث في برامج الجمع كما مبين في الشكل (5-12)، فمثلاً تُجمع الزجاجات والعلب في

حاوية، والأوراق والصحف في حاوية أخرى، والأوراق المختلطة في حاوية ثالثة، ونفايات الساحة في حاوية أخرى.

- هذا النظام يحتاج إلى حاويات متعددة الحجرات.
- زيادة كل من عدد العمال، والحاويات، وسيارات النقل الخاصة بكل نوع من المواد التي تصلح ثانية للاستخدام عند النقل لكل نوع من النفايات منفرداً.

الشكل 5-12

جمع النفايات في حاويات حسب نوعها

5-13- جمع النفايات تحت الأرض

لاشك أن استخدام الفراغات تحت سطح الأرض في الوقت الحاضر هو مسألة أساسية نحو تحقيق تطور في جمع النفايات الصلبة لا سيما في المناطق الحضرية. والأنشطة أو البنى التحتية غير المرغوب تواجدها فوق سطح الأرض من الناحية البيئية والجمالية يمكن نقلها تحت الأرض مع ترك مساحة على السطح ذات قيمة لاستخدامات أخرى وتحسين الظروف المعيشية فيها[80].

ويمكن استخدام طريقتين لتجميع النفايات تحت الأرض:

أ - تجميع النفايات تحت الأرض بحاويات عادية أو ضاغطة يتم وضعها ضمن مستودع أرضي مبني بالخرسانة ومزود بجهاز رفع للحاوية كما في الشكل (5-13)، ومن ثم يتم تفريغ الحاوية بآليات الجمع ونقلها لمحطات النقل أو المطامر، وتستغرق عملية تفريغ الحاوية وإعادتها 2 – 4 دقائق.

ب - نقل النفايات المرمية في الفتحات السطحية إلى محطات تجميع مباشرة عن طريق أنابيب مضغوطة بنظام الشفط والضغط، ومن ثم نقلها بآليات خاصة إلى المدافن. وعادة ما تستخدم هذه الطريقة في مناطق واسعة وحديثة، فضلاً عن المناطق السكنية، ومرافق الرعاية الصحية، ومراكز التسوق أو المطارات.

الشكل 5-13

تجميع النفايات تحت الأرض ضمن حاويات

5-13-1-مزايا جمع النفايات تحت الأرض:

- ترك مساحات على السطح، يمكن استخدامها لمختلف/ الأنشطة، كمواقف السيارات، مساحات خضراء.
- الحفاظ على المناطق «الحساسة»، مثل المناطق التاريخية، مراكز المدن والمواقع الأثرية والأسواق.

- إمكانية اختيار مواقع لا يمكن اختيارها بسبب وجود مواقع خاصة (مراكز كهرباء، ممرات، ... الخ.).
- ضغط النفايات (من خلال الجاذبية أو بوسائل ميكانيكية)، وهذا يؤدي إلى زيادة قدرتها الفعالة.
- تركيز أفضل للمهام (تثبيت مواقع الحاويات، تجميع النفايات ضمن الحاوية، ... الخ.)
- انخفاض التأثيرات البيئية
- ظروف مناسبة لدرجة حرارة ثابتة، مما يؤدي لتباطؤ نمو البكتيريا والسيطرة على مشاكل الروائح.
- تخفيض التلوث الضوضائي والتلوث البصري من النفايات.
- تحسين مظهرها الجمالي مما يسمح إدماجها في تصميم المدينة.
- القضاء على ظاهرة النبش من الحاويات.
- تحسين حركة المرور، وتخفيف المخاطر من تواجد الحاويات في الطرق وما إلى ذلك.
- متطلبات الصيانة محدودة وحماية فائقة ضد التخريب.
- يمكن استخدام أنواع مختلفة من الحاويات حسب آلية الجمع.
- يمكن أن تستمد الطاقة اللازمة لرفع الحاوية من آلية الجمع أو أي مصدر آخر.
- يمكن أن يكون جزء من الحاوية فوق الأرض والآخر تحت الأرض.

5-13-2- سلبيات جمع النفايات تحت الأرض

- تكاليف تأسيس أعلى نتيجة أعمال الحفر والخرسانة والرفع الهيدروليكي.
- احتمال تعذر تنفيذها لوجود بنى تحتية تحت الأرض.

- تحتاج إلى صيانة دائمة للمحافظة على تشغيلها.
- زيادة وقت التفريغ عن الحاويات الموجودة على السطح (وقت رفع وتنزيل الحاوية).
- مخاطر بيئة العمل (إصابات عمل ناجمة عن تعرض العاملين والجهل أو الرعونة).
- ضعف الرقابة المباشرة على الأداء.
- عدم وجود مرونة خلال التفريغ: يجب جرها للآلية للتفريغ، وتحتاج لطاقة هيدروليكية لرفعها.

5-13-3- نظام جمع النفايات الصلبة تحت الأرض باستخدام الأنابيب:

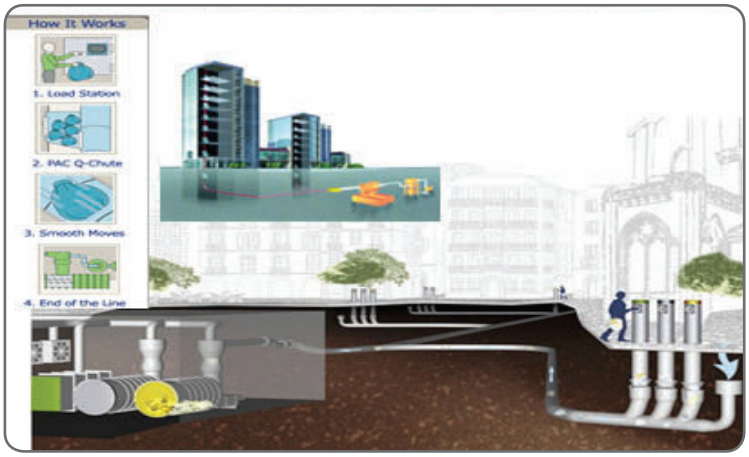
يُمكن أن تتم عملية إزالة النفايات الصّلبة أيضاً بواسطة أنابيب مصنوعة من الإسمنت أو الإسبستوس. ويجب أن تكون هذه الأنابيب ذات وجه داخلي أملس و غير منفذ (لا يحوي فجوات أو شقوقاً أو نتوءات)، كما يجب أن تكون متماسكة وملحومة جيداً في أماكن الوصلات. ويستخدم نظام الأنابيب للتخلص من النفايات في الأبنية السكنية التي يزيد عدد طوابقها عن الخمس كما مبين في الشكل (5-14).

وتتمتع طريقة الأنابيب الناقلة، بالمقارنة مع الطرق المعروفة لنقل النفايات، بالميّزات الآتية:

1. تتمتع بخواص صحية وجمالية تساهم في حماية الوسط المحيط.
2. تخلص العاملين (عمال النظافة) من الأعمال الصعبة غير المرغوب فيها.
3. هي طريقة آلية ويمكن أتمتة جميع مراحل العمل
4. هي طريقة مريحة للسكان.

الشكل 5-14:

نقل النفايات باستخدام الأنابيب



تتم إزالة النفايات الصّلبة بواسطة الأنابيب الناقلة وذلك باتباع إحدى الطرق الآتية:

- طريقة التعويم.
- الطريقة الهيدروليكية.
- باستخدام الهواء المضغوط.

5-14- مسارات جمع النفايات (Solid waste collection routes)

ينبغي تحديد مسارات جمع النفايات حسب متطلبات الجمع والأجهزة المستخدمة والعمالة بصورة تُسهل الاستخدام الأمثل والأكفأ لها، ومن العوامل التي يجب أخذها في الحسبان في هذا المقام الآتي:

- تحديد نقاط الجمع والتردد عليها.
- اتباع الإرشادات واللوائح والقوانين الضابطة لحركة السير.
- التنسيق بين حالات النظام العامل فيما يتعلق بأعداد فريق العمل، ونوع السيارات وحمولتها وأعدادها وكفاءتها.

- بدء المسار وانتهاءه عند شوارع رئيسة.
- تؤخذ الحدود الطبوغرافية والفيزيائية كحدود للمسار.
- تصمم المسارات بحيث أن آخر حاوية نفاية تجمع في المسار تكون بجوار نقطة التخلص النهائي.
- تجُمع النفاية الصادرة من المناطق المكتظة والمزدحمة بحركة المرور في بداية اليوم ما أمكن.
- تجُمع النفايات في بداية العمل الصباحي من أماكن إنتاجها بكميات كبيرة جداً.

حركة سيارة النفايات وتجوالها في منطقة الجمع يُطلق عليها المسار الصغير (micro routing Collection routes)، وينبغي التخطيط الجيد لحركة السيارة عبر مجموعة من الشوارع (وحيدة أو ثنائية الاتجاه) من أجل تقليل المسافة المقطوعة لجمع النفايات وتلافي الرحلات الخالية من التقاط النفايات وجمعها (dead heading).

ويزيد من صعوبة التخطيط والتصميم للجولات وحركة مرور سيارة النفايات وجود طرق ذات اتجاه واحد أو نهايات ميتة وغيرها من العوائق المرورية.

ويعتمد تحديد مسار شاحنة نقل النفاية لمناطق التخلص النهائي على حجم المجتمع الذي تخدمه، وشبكة الطرق، وبُعد منطقة التخلص النهائي.

بالنسبة للمجتمعات الصغيرة المعزولة يأخذ المسار طريقاً مباشراً من نهاية المسار إلى موقع التخلص النهائي.

وبالنسبة للنظم الإقليمية للبلديات والمساحات الكبيرة يحتاج إلى مفاضلة المسارات ونظمه عبر نظم البرمجة الخطية[81].

5-15- الضوابط الأساسية لتخطيط عملية نقل النفايات الصلبة:

تعتبر عملية نقل وترحيل النفايات أساسية في إعطاء المردود الأمثل للآليات واليد العاملة، هناك مجموعة من العوامل التي تدخل في وضع التخطيط العام لنقل النفايات وهي:

- نوعية النفايات ووزنها وحجمها.
- مكان وقوف الشاحنة والكميات التي تأخذها من كل وقوف، ونوعية الشاحنة وحجمها.
- طريقة فرز الفضلات وطريقة تخزينها في المنزل.
- نوعية المنطقة (سكنية، تجارية، صناعية).
- المناخ والطقس، خاصة درجة الحرارة المتوسطة، وأقصى درجة حرارة، ودرجة حرارة التحلل السريعة للنفايات مما ينتج عنه روائح كريهة.
- يجب عدم تقاطع المسارات، وأن تكون متضامة ومدمجة وغير مقطوعة.
- أن تكون نقطة البداية أقرب ما يكون لمرآب سيارة النفاية ما أمكن.
- ينبغي تجنب الطرق المكتظة بالحركة المرورية أثناء ساعات الذروة.
- الطرق ذات الاتجاه الواحد التي لا يمكن السير فيها في خط مستقيم واحد يجب وصلها مع الطرف الأعلى للشارع.
- يلزم استخدام الانعطافات في اتجاه دوران الساعة حول أي مجموعة من المباني ما أمكن.
- ينبغي استخدام المسارات القياسية لبعض أشكال مجموعات المباني.
- طبوغرافية المنطقة، يجب تفادي المنعطفات الراجعة U-turns بمنع ترك الشارع ذي الاتجاهين كمدخل ومخرج لنقطة التقاطع.

وفي هذا المنحى قد تفيد البرامج الحاسوبية الجاهزة للتصميم الجيد والمفاضلة.

5-16- تحديد كلفة الجمع والنقل:

نظراً لاختلاف طرق جمع النفايات، وترحيلها، واختلاف مسافات النقل والتوقيت الزمني لعمليات الترحيل، فإنه من الصعب إيجاد الكلفة الواحدية الوسطية (متوسط التكلفة)، لكن في حالة المدن التي تستخدم أساليباً متشابهة في عمليات التخلص من النفايات نستطيع مقارنة الكلفة الاقتصادية.

ولتحديد كلفة جمع ونقل النفايات هناك عدة عوامل مؤثرة وهي:

- **الحاويات:** نوعها، ثمنها، سعتها، صيانتها، غسلها وتعقيمها.
- **الجهاز الإداري والعمال الدائمون والموسميون (المؤقتون):** الرواتب، التعويضات، الحوافز، الوجبات الغذائية، الملابس، وأدواتهم.
- **عدد نقاط الجمع وحجم النفاية الموضوعة في كل نقطة**، سيما وكل نقطة تتطلب زمن لوقوف سيارة النفاية وإتمام عملية الجمع.
- **المسافة لإتمام المسار والوصول لنقطة التخلص النهائي**، إذ يمثل هذا الأمر جزءاً من تقدير كمية الطاقة المستخدمة في الحركة والنقل، فكلما ازدادت المسافة ارتفعت التكلفة.
- **وزن النفاية إذ تؤثر على كمية الطاقة المستهلكة** لوحدة المسافة المطروقة.
- **كثافة المرور:** زيادة كثافة المرور تزيد من الزمن اللازم لانتقال عربات النقل من حي إلى آخر وتؤخر عملية تفريغ الحاويات، يُفضّل نقل النفاية ليلاً في المناطق التجارية، ونهاراً في المناطق السكنية بالمعدل التصميمي المجاز.
- **الزمن للعاملين على خدمة نقطة الجمع والزمن المتصل به للمسار والنقل**، حيث إن استعمال عربات ضاغطة يزيد من كمية النفايات المنقولة في النقلة الواحدة، وبالتالي ينقص عدد النقلات اللازمة لنقل مجمل النفايات إلى موقع التخلص منها.

ونشير إلى أنّه في حال كانت الحاويات موحدة المواصفات فإنها تسهل عملية إدارة التخلص من النفايات، وكذلك اعتماد نظام آليات نقل ومعدات موحدة لتسهيل أعمال التشغيل والصيانة وقطع الغيار، وضمان اكتساب الخبرة الكافية بدلاً من تبعثر الخبرات والأعمال على عدة نظم بعدة جنسيات من الآليات والمعدات، حيث يصعب بداية تحقيق الجودة المطلوبة، كما هو الحال في نظام واحد معتمد ومدروس، وباتباع ذلك تقل الكلفة. ويمثل جمع النفاية العنصر ذا التكلفة الأكبر في إدارة النفاية البلدية إذ يتراوح بين (30 - 90%) من التكلفة الكلية، وتشير الدراسات أن جمع النفاية ونقلها يشكل تقريباً (95% - 80) من التكلفة الكلية، ولذلك هما يشكلان مفتاح الأساس في تحديد الاقتصاد لإدارة النفايات.

وللتخفيف من أعباء كلفة وإدارة النفايات الصّلبة، هناك أساليب مُبتكرة حسب كل بلد لتمويل برامج جمع النفاية وترحيلها والتخلص منها وهي:

أ- تحصيل رسوم (ضريبة النظافة) على أساس الحجم (Volume-based fee system)، بحيث تحُدد الرسوم المطلوبة من المالك على أساس حجم سلة النفايات أو النفاية.

ب- تحصيل رسوم (ضريبة النظافة)على أساس الوزن (Weight-based fee system)، وذلك بوزن كل سلة مهملات أو نفاية، بحيث تحدد الرسوم الواجب سدادها حسب وزن النفايات المنتجة.

ج- تحصيل رسوم (ضريبة النظافة) على أساس مساحة المسكن وموقعه ضمن المدينة أو الريف أو المنطقة السكنية.

5-17-أمثلة:

مثال (5-1):

يطلب حساب معدل التنبؤ السنوي للنفايات الصلبة من أجل وضع مخطط النظافة الصحية لإحدى المدن للشخص الواحد في الحالتين الآتيتين:

1. بالحجم

2. بالكتلة

علماً أن:

مدة التنبؤ (10 سنوات)، المعدل البدائي للتجميع 1.4 م3/للشخص، أو 300 كغ/للشخص، نمو معدل التجميع (3%) ،$K_B =$ 0.7، 0.51- =a

الحل:

1. **التنبؤ بنمو معدل التجميع السنوي الحجمي من العلاقة** (3-11):

$$V_r = K_B . V_r^{'}(1 - e^{a-xt})$$

بالتعويض

$$V_r = 0.7 \times 5\left(1 - 2.71828^{-0.51-0.03\times10}\right) = 1.94\ \mathrm{m^3/Per}$$

2. **التنبؤ بنمو معدل التجميع السنوي الكتلي من العلاقة** (3-12):

$$M_p = M_u(1 + 0.005)^{tn}$$

بالتعويض

$$M_p = 300\ (1 + 0.005)^{10} = 315.34\ \mathrm{Kg/Per}$$

مثال (5-2):

يطلب حساب عدد الحاويات اللازمة لجمع النفايات الصّلبة لأحد أحياء المدينة في الحالتين الآتيتين:

1. استخدام نظام تبديل الحاويات.
2. في حالة عدم تبديل الحاويات.

إذا كانت كمية النفايات الصّلبة المتجمعة سنوياً (24930)م^3 علماً أن: النفايات تُزال كل يوم، سعة الحاوية (0.75)م^3 وعدد الرحلات في اليوم (3) رحلات.

الحل:

كمية النفايات= 24930 م^3، الزمن = 1 يوم، عدد الرحلات= 3 رحلات

1. حساب عدد الحاويات عند استخدام نظام تبديل الحاويات:

من الجدول (5-2): **K2=1.25 K3= 1.33** ، وباستخدام العلاقة (3-1)

$$\mathbf{N_{HC} = \frac{V.t.\ K_1.K_2.K_3}{365\ v}}$$

بالتعويض ينتج:

$$\mathbf{N_{HC} = \frac{24930 \times 1 \times 1.25 \times 1.05 \times 1.33}{365 \times 0.75} = 159\ \ Cotainer}$$

2. حساب عدد الحاويات عند استخدام نظام عدم تبديل الحاويات:

باستخدام العلاقة (5-3)

$$\mathbf{N_{SC} = \frac{V.\ t.\ K_1.K_2}{365\ v}}$$

بالتعويض ينتج:

$$\mathbf{N_{SC} = \frac{24930 \times 1 \times 1.25 \times 1.05}{365 \times 0.75} = 120\ \ Cotainer}$$

مثال (5-3):

مدينة مساحتها الإجمالية 300 ha وكثافة السكان الحالية 285 per / ha

بينت دراســة مخلفات أسرة ممثلة لسكان المدينة ومكونة من ستة أشخاص أن كمية النفايات اليومية الناتجة عن هذه الأسرة تعطى بالجدول 5-3:

الجدول 5-3

مخلفات أسرة مكونة من ستة أشخاص من سكان المدينة

اليوم	السبت	الأحد	الأثنين	الثلاثاء	الاربعاء	الخميس	الجمعة
كمية النفايات كغ / يوم	3,85	4,25	3,85	4,05	3,95	4,15	4,35

وإن الكتلة الحجمية المتوسطة لهذه النفايات 305 كغ/متر مكعب فإذا كانت الحاويات المستخدمة لجمع النفايات متساوية الحجم وكل منها بسعة 1،58 متر مكعب والمطلوب:

تحديد عدد الحاويات الأصغري اللازم لاستيعاب النفايات اليومية لهذه المدينة وتحديد عدد الشاحنات الآلية التي حجم الواحدة منها 15 متر مكعب اللازمة لنقل النفايات اليومية إلى مقلب التخلص النهائي الذي يبعد 5 كم شرق المدينة.

تتم عملية جمع النفايات القابلة للاسترجاع مرة في الأسبوع فإذا كانت كمية هذه النفايات المتوسطة التي يخلفها الشخص الواحد أسبوعياً 1,31 كغ/ للشخص والكتلة الحجمية للنفايات القابلة للاسترجاع 470 كغ/متر مكعب حدد عدد النقلات الإجمالية وعدد الشاحنات ذات الحجم 15 متر مكعب اللازمة لتأمين نقل هذه النفايات إلى مركز فرز النفايات الواقع بجوار مقلب التخلص النهائي من النفايات.

الحل:

لنحسب كمية النفايات غير القابلة للاسترجاع المتوسطة التي يخلفها الفرد الواحد:

$$\frac{3{,}8 + 4{,}25 + 3{,}85 + 4{,}05 + 3{,}95 + 4{,}15 + 4{,}35}{7 \times 6} = 0{,}71\,(\,kg\,/\,day)$$

لنحسب عدد السكان الحالي في المدينة: المساحة الإجمالية × الكثافة السكانية= op

$$per\ 85500 \quad = \quad 300 \times 285$$

أما حجم النفايات غير القابلة للاسترجاع والتي يخلفها الفرد الواحد في اليوم:

$$V_1 = \frac{0,71}{305} = 0,0023\ \mathrm{m}^3$$

حجم النفايات غير القابلة للاسترجاع والتي يخلفها مجمل سكان المدينة في اليوم:

$$V2 = V1 \times Po = 85500 \times 0,0023 = 197\ \mathrm{m3 / day}$$

فيكون عدد الحاويات الأصغري اللازم لاستيعاب النفايات اليومية:

$$N_1 = \frac{V_2}{V} = \frac{197}{1,58} = 125\ \ \mathrm{cont}$$

أما عدد النقلات بوساطة الشاحنات الآلية للنفايات غير القابلة للاسترجاع فهو:

$$N_2 = \frac{V_2}{V} = \frac{240}{15} = 13\ \ \mathrm{trans}$$

بما أن موقع التخلص النهائي من النفايات يبعد 5 كم فيمكن للشاحنة الواحدة القيام بثلاث نقلات في الوردية الواحدة فيكون عدد الشاحنات اللازم:

$N_3 = \frac{N_2}{3} = \frac{13}{3} = 5.3$ أي خمس شاحنات

أي أن عدد النقلات بالشاحنات في الأسبوع الواحد 13، مع إمكانية تحقيق ثلاث نقلات في الوردية الواحدة بوساطة الشاحنة الواحدة يكون عدد الشاحنات اللازم هو 5 بالإضافة لشاحنتين احتياط.

أما بخصوص النفايات القابلة للاسترجاع، فنحسب حجم النفايات التي يحلفها الفرد في الأسبوع:

$$V_3 = \frac{1,31}{470} = 0,0028\mathrm{m}^{\ 3}/week$$

فيكون حجم النفايات القابلة للاسترجاع والتي يخلفها مجمل السكان:

$$V_4 = V_3 \times P_o = 0,0028 \times 85500 = 240\ \ \mathrm{m}^3/week$$

عدد النقلات بوساطة الشاحنات الآلية للنفايات غير القابلة للاسترجاع فهو:

$$N_2 = \frac{V_2}{V} = \frac{197}{15} = 13 \text{ trans}$$

بما أن موقع التخلص النهائي من النفايات يبعد 5 كم فيمكن للشاحنة الواحدة القيام بثلاث نقلات في الوردية الواحدة فيكون عدد الشاحنات اللازم:

$$N_3 = \frac{N_2}{3} = \frac{13}{3} = 5 \quad \text{أي ست رحلات}$$

أي أن عدد النقلات بالشاحنات في الأسبوع الواحد 16، مع إمكانية تحقيق ثلاث نقلات في الوردية الواحدة بوساطة الشاحنة الواحدة يكون عدد الشاحنات اللازم هو 6 أي يمكن تأمين نقل النفايات القابلة الغير للاسترجاع بتشغيل الشاحنات الخمس اللازمة لنقل النفايات القابلة للاسترجاع بالإضافة لشاحنة احتياط وردية إضافية في أحد أيام الأسبوع.

مثال (5-4)

لتكن المساحة الإجمالية لبلدة ما 600 هكتار والكثافة السكانية 190 شخص/هكتار يخلف الشخص الواحد بها في المتوسط ً 0.5 كغ/اليوم من النفايات الصلبة الرطبة غير القابلة للاسترجاع كتلتها الحجمية 200 كغ/متر مكعب. يراد دراسة عدد الحاويات وعدد آليات النقل اللازمة لنقل نفايات هذه البلدة إلى مقلب التخلص النهائي الذي يبعد 7500 متر عن مركز البلدة، علماً أن حجم الحاوية 1.1 متر مكعب وحجم آلية النقل 25 متر مكعب.

بفرض أن عملية جمع النفايات القابلة للاسترجاع تتم مرة في الأسبوع وكمية النفايات الجافة التي يخلفها الفرد أسبوعيا 1.1 كغ/أسبوع والكتلة الحجمية للنفايات الجافة 300 كغ/متر مكعب والمطلوب تحديد عدد النقلات الإجمالية وعدد الشاحنات ذات الحجم 25 متر مكعب اللازمة لنقل هذه النفايات إلى مركز فرز النفايات الواقع بجوار المقلب.

الحل:

أولا: دراسة جمع النفايات المنزلية الصلبة الرطبة

عدد السكان الحالي = الكثافة x المساحة

190 x (600) = 114000 شخص/ فرد

عدد السكان المستقبلي بعد خمس سنوات:

شخص/ فرد P = 114000 x (1+0.02)5 = 125000

حجم النفايات الرطبة الذي يخلفها الفرد يومياً = الكتلة / الكتلة الحجمية

$V1 = (0.5) / (200) = 2.5 \times 10^{-3}$ day /m^3

حجم النفايات الرطبة الذي يخلفها مجمل سكان المدينة يوميا:

V2=(2.5 x 10-3) x (125000) =312.5 m3 /day

أقل عدد حاويات يلزم لاستيعاب النفايات اليومية = حجم النفايات الكلي/ حجم الحاوية الواحدة

= (312.5) / (1.10) = 284.09 = 285

المساحة التي تخدمها الحاوية الواحدة = مساحة المشروع / عدد الحاويات

A1 = (600) 285 / . 9610000 = 21053

تباعد الحاويات عن بعضها البعض = 150 متر

عدد النقلات = حجم النفايات الكلي/حجم الناقلة

= (312.5) / (25) = 13 نقلة

عدد الحاويات التي تخدمها الناقلة = حجم سعة السيارة/حجم الحاوية

= (25) / (1.10) =22 حاوية

زمن العمل للوردية الواحدة هو ثمانية ساعات لنحسب زمن النقلة الواحدة:

الزمن الذي تقضيه الشاحنة ضمن المدينة من بدء التحميل حتى مغادرة المدينة: بفرض زمن أفراغ الحاوية 5 دقائق، والسرعة التي تسير بها الشاحنة في المدينة 30 كم.

=T_1عدد الحاويات × (المسافة بين حاوية وثانية)/السرعة + زمن التفريغ السرعة) .

T_1=22 × (150)/(30 ×1000)/3600(+5 ×60)=6996 Sec=1.94 hours

الزمن الذي تستغرقه السيارة من حدود البلدة إلى المكب = المسافة/السرعة

T_2 = (7500)/ (30 ×1000)/3600)=900 Sec=0.25 hours

بفرض أن الزمن الذي تقضيه السيارة في المقلب هو 0.25 ساعة

بفرض أن الزمن الذي تستغرقه السيارة في العودة من المكب حتى حدود البلدة هو نفس زمن الذهاب أي 0.25 ساعة

وبالتالي يكون زمن النقلة الواحدة هو مجموع الأزمنة السابقة ويساوي:

T = 1.94 + 0.25 + 0.25 + 0.25 = 2.7 hour

عدد النقلات التي تقوم بها السيارة خلال الوردية الواحدة = زمن الوردية / زمن النقلة الواحدة

= 2.7/8 = 3 نقلات

عدد الشاحنات اللازمة في الوردية = عدد النقلات الكلي / عدد النقلات في الوردية الواحدة

= 3/13 = 5 شاحنات

لدينا 5 شاحنات تعمل في الوردية الواحدة كل شاحنة تنقل 3 نقلات ونضيف شاحنتي احتياط فيكون عدد الشاحنات الكلي = 5 + 2 = 7 شاحنات

ويكون لدينا 5 قطاعات حيث أن كل سيارة تخدم قطاعاً واحداً وكل قطاع يحتوي على 57 حاوية

ثانياً: دراسة موضوع جمع النفايات الجافة القابلة للاسترجاع

الكتلة الحجمية للنفايات الجافة:300 kg/m3

حجم النفايات الجافة التي يخلفها الفرد أسبوعيا = الكتلة / الكتلة الحجمية

$0.00333 = .300/1\ m^3$

كتلة النفايات التي يخلفها السكان أسبوعيا = كتلة النفايات التي يخلفها الفرد أسبوعيا x عدد السكان الكلي (أي بعد خمس سنوات)

$0.00333 \times 125000 = 416m^3$

عدد النقلات اللازمة أسبوعياً = حجم النفايات الجافة أسبوعياً/حجم السيارة الواحدة من النفايات الجافة = 25/416.25 = 17 نقلة

سنعتبر أن زمن النقلة الواحدة هو نفسه لم يتغير 2،7 ساعة وبالتالي كل سيارة ستقوم بثلاث نقلات في الوردية الواحدة.

عدد السيارات اللازمة للنقل النفايات الجافة = عدد النقلات الكلي/عدد النقلات في الوردية الواحدة = 3/17 = 6 سيارات

إذا نحتاج إلى ست شاحنات لتقوم بنقل النفايات الجافة أسبوعياً، لذلك يتم تشغيل السيارات الخمس المستعملة لنقل النفايات الرطبة وردية إضافية في أحد أيام الأسبوع بالإضافة لإحدى السيارات الاحتياط الموجودة.

5-18- نسب تغطية جمع النفايات

يتم الإبلاغ عن بيانات تغطية جمع النفايات وفقاً لعدة تعاريف: كمية النفايات التي تم جمعها، عدد الأسر المخدومة، السكان الذين يخدمون، أو المنطقة الجغرافية المغطاة. يحلل هذا التقرير نوع تغطية المجموعة المبلغ عنها للبلدان والمدن.

إذا تم الإبلاغ عن قيم متعددة، كان الحد الأقصى لمعدل التحصيل يستخدم لتمثيل معدل التحصيل الوطني أو الحضري في اختصار الإحصاء.

يتم الإبلاغ عن تغطية جمع النفايات على المستوى القطري وكذلك على مستوى الدولة والمناطق الحضرية والريفية ، حيث تتوافر البيانات.

وقد حددت دراسة البنك الدولي التي أنجزت عام 2012 نسبة النفايات الصلبة البلدية المجموعة إلى تلك المطروحة في المناطق العالمية المذكورة، وكذلك نسبة النفايات المجموعة والمنقولة إلى تلك المطروحة حسب الدخل (بغض النظر عن المنطقة) كما هو مبين في الجدول (5-4) [82].

الجدول 5-4:

نسبة النفايات الصلبة البلدية المجموعة إلى تلك المطروحة.

المنطقة	% المجمعة من اجمالي إنتاج النفايات	حسب الدخل بغض النظر عن المنطقة	% من اجمالي إنتاج النفايات
- افريقيا (عدا شمال أفريقيا)	48	دخل عالي	95
- شرق آسيا والباسفك	73	دخل متوسط عالي	85
- أوربا ووسط آسيا	78	دخل متوسط منخفض	68
- أمريكا اللاتينية والكاريبي	78		
- الشرق الأوسط وشمال افريقيا	85	دخل منخفض	40
- منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية	98		
- جنوب آسيا	64		

يتبين من الجدول السابق أن نسبة جمع ونقل النفايات إلى الناتج الكلي المطروح هي الأعلى في دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، وأخفض ما تكون في الدول الأفريقية. كما ترتفع هذه النسبة في الدول ذات الدخل العالي بغض النظر عن وجودها في المناطق المختلفة.

الفصل السادس

محطات التحويل والترحيل الوسيطة

تؤكد معظم الدراسات الحديثة أهمية موقع محطة التحويل الوسيطة في سهولة ومرونة العمل، شريطة أن تكون ذات مواصفات عالية، لذا يجب عند تحديد موقع محطة التحويل الوسيطة وتصميمها أن تتوفر الشروط المتعلقة بموقع المحطة، وإيفائها بمتطلبات الفرز، وحاجة المنطقة المخدّمة، وسهولة الدخول إلى الطرق والمسارات، وقلة اعتراضات المجتمع على وجودها، بجانب قلة تكاليف إنشائها، وعدم تأثيرها في انسياب حركة المرور.

مقدمـــة

تمر عمليات جمع ونقل النفايات في المدن بالمراحل الثلاث التالية:

- النقل من المباني والأحياء والشوارع إلى الحاويات العامة.
- النقل من الحاويات إلى محطات التحويل الوسيطة بوساطة اليات جمع النفايات المختلفة الأشكال والأحجام.
- النقل من محطة التحويل الوسيطة إلى مركز المعالجة أو إلى التخلص النهائي بواسطة اليات ومعدات خاصة.

إن محطات التحويل الوسيطة ضرورية في المدن نتيجة لبعد المسافة بين المدينة ومركز المعالجة أو التخلص النهائي، لذلك لا يمكن استخدام السيارات الضاغطة والسيارات ذات الحمولة المنخفضة للانتقال لمسافات طويلة اذ يصاحب ذلك استهلاك وقود كبير واستهلاك للآليات.

6-1- أنواع محطات التحويل Transfer stations

تصنف المحطات التحويل الوسيطة في فئتين رئيسيتين هما:

- محطات على مستوى سطح الأرض حيث يتم العمل عادة بتفريغ محتويات الأوعية الصغيرة يدوياً ومباشرة.
- محطات على مستويين مختلفين كما في الشكل (6-1)، حيث يتم تفريغ حمولة النفايات مباشرة داخل سيارات كبيرة، بحيث تكون السيارة الكبيرة في مستوى منخفض لتستلم النفايات بفعل السقوط بالوزن.

الشكل 6-1

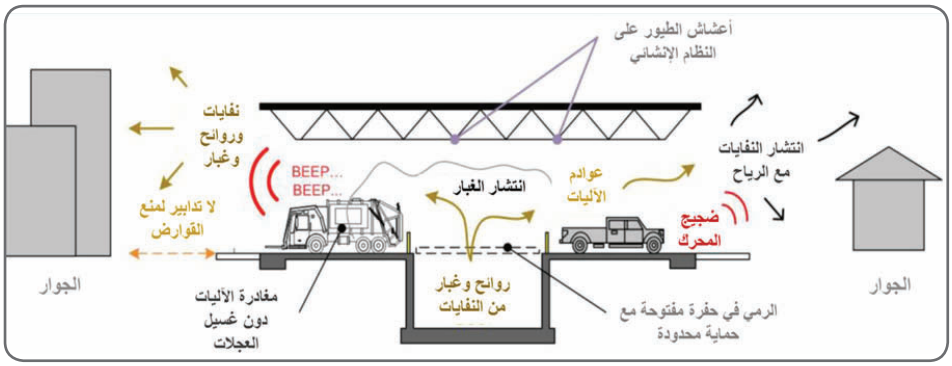
محطة تحويل وسيطة ذات مستويين مختلفين

وقد يتم نقل النفايات إلى المحطات بوساطة السيارات الضاغطة لتفرغ في حاويات أو صناديق كبيرة قد تزيد سعتها على 50 متر مكعب.

في النموذج القديم لمحطات التحويل الوسيطة كانت المحطات مكشوفة غير مسورة، و ترمى النفايات على الأرض مما يؤدي لانتشار النفايات خفيفة الوزن مع الرياح أو ضمن حفرة مفتوحة ويترافق ذلك مع إصدار روائح نتنة وغبار، كما يظهر في الشكل (6-2).

الشكل 6-2:

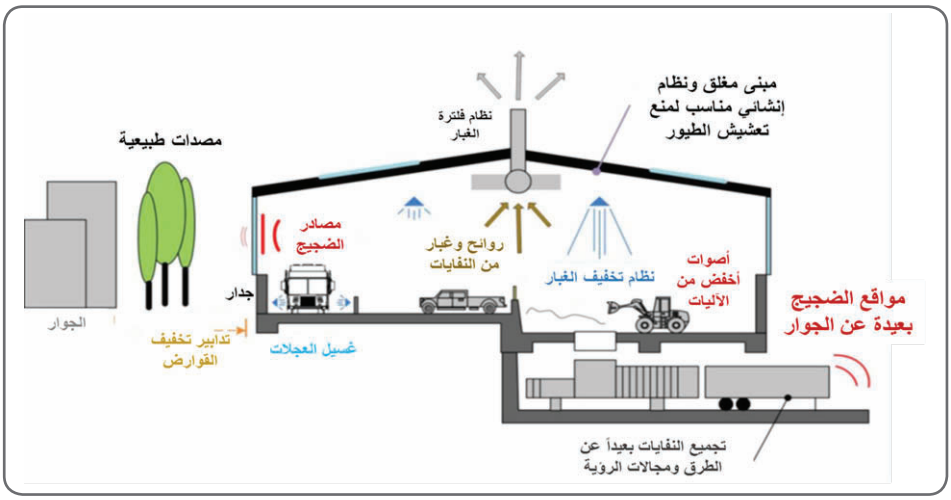
النموذج القديم لمحطة التحويل الوسيطة



أما في النموذج الحديث لمحطة التحويل الوسيطة فيكون المبنى مغلق، وذو نظام تشييد مناسب، وتنشأ حول المحطة مصدات طبيعية للرياح، وتحتوي المحطة على نظام رش بالماء لتخفيف انتشار الغبار مع نظام فلترة للروائح والغبار، ويتم تجميع النفايات بعيدا عن الطرق ومجالات الرؤية، وتكون مواقع الضجيج بعيدة عن الجوار كما في الشكل (6-3).

الشكل 6-3:

النموذج الحديث لمحطة التحويل الوسيطة

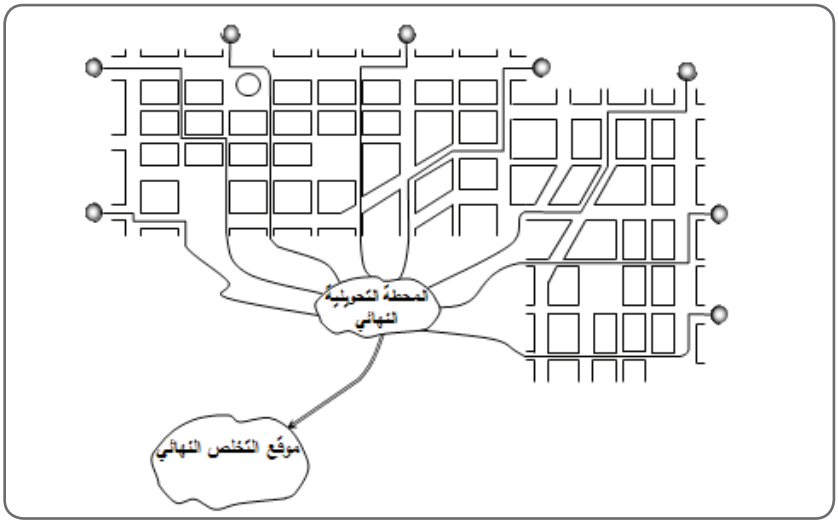


بعد جمع النفايات في محطة التحويل الوسيطة يتم نقل هذه النفايات إلى مركز المعالجة، أو موقع التخلص النهائي بوساطة سيارات مخصصة لذلك، كما في الشكل 6-4، أي أن المحطات الوسيطة توفر لسيارات نقل النفايات الصغيرة موقع قريب لتفريغ حمولتها أو وضعها في شاحنات أكثر كفاءة (كالمقطورات أو عربات السكك الحديدية)، لجرها لمسافات طويلة إلى مركز المعالجة أو موقع التخلص النهائي كما في الشكل أدناه.

الشكل 6-4:

موقع محطة التحويل الوسيطة بالنسبة للبلدة

وموقع التخلص النهائي



يُفضل اللجوء إلى محطات التحويل الوسيطة في الحالات الآتية:

1- عندما يبعد موقع التخلص النهائي من النفايات كثيراً عن منطقة الجمع، حيث تبعد مسافة النقل لاتجاه واحد لمنطقة التخلص النهائي بأكثر من 20 كيلومتر.

2- عندما تؤدي الاختناقات المرورية إلى بطء سير سيارات نقل النفاية وإعاقتها.

3- عندما تواجه البلدية مشاكل لموقع التخلص النهائي.

4- وجود مناطق تخلص نهائي عشوائية وغير رسمية، وكميات كبيرة من نفايات الشوارع ومهملات الطرق والساحات.

5- الاعتماد على سيارات نفايات ذات سعة تحميلية صغيرة.

6- وجود مناطق سكنية قليلة الكثافة السكانية.

7- الاستخدام الشائع للحاويات متوسطة الحجم لجمع النفاية من المصادر التجارية.

8- استخدام نظم الجمع الهيدروليكية والمحركة بالهواء المضغوط.

بعض محطات التحويل يمكن أن يكون بها نفق تسير داخله سيارات النقل ويوجد مجرى مائل أو فتحات في السقف تسمح بتحميل هذه الوحدات بدفع النفاية من فوق الحافة إليها.

6-2- أسس اختيار موقع محطات التحويل الوسيطة:

تؤكد معظم الدراسات الحديثة أهمية موقع محطة التحويل الوسيطة في سهولة ومرونة العمل، شريطة أن يكون ذا مواصفات عالية، لذا يجب عند تحديد موقع محطة التحويل الوسيطة وتصميمها أن تتوفر الشروط التالية في موقع المحطة:

- وضع المحطة بالقرب من مراكز إنتاج النفايات ومناطق خدمة جمعها.
- بعيدة عن حدود مسار الفيضان لفترة (100 سنة) سابقة.
- يسهل منها الدخول إلى الطرق الرئيسية والمسارات المختلفة.
- يقل اعتراض المجتمع على وجودها (توافق أغلبية الرأي المجتمعي)، (زيادة حركة المرور حول المحطة، وتشغيل المحطة، والروائح، والحشرات، والضوضاء، والغبار، والنقالات، وتقليل قيمة الأرض) وتقل الاعتراضات البيئية عليها.
- أن تكون اقتصادية في إنشائها وتشغيلها.
- تفي بمتطلبات عمليات الفرز، واستخلاص المواد إن قُبلت من جهات الاختصاص.
- تفي باحتياجات المنطقة المخدّمة لاستقبال النفاية المنتجة (حجم المحطة مناسب لحجم النفاية مع الأخذ بالاعتبار الزيادة مستقبلاً).

- توافر لوازم السلامة ضد مخاطر الحريق، ولوازم الانسكاب، وحوادث العمل، والأجهزة المطلوبة ذات الصلة.
- ألا تزيد حركة المرور الداخلة إليها والخارجة منها كثيراً من حركة المرور الراهنة.

6-3- مهام محطة التحويل الوسيطة

- يمكن توظيف محطة النقل للقيام بأكثر من مهمة عدا عن كونها محطة نقل النفايات
- استخدامها مركز لاستلام النفايات الكبيرة من السكان وتجميعها.
- مركز استلام النفايات الخطرة من السكان، كما يظهر في الشكل (6-5) [77].

الشكل 6-5

مهام محطة التحويل الوسيطة الإضافية

- يجب أن تكون محطة التحويل الوسيطة قادرة على التعامل مع حجم النفايات التي تصل إلى المحطة من حيث الكمية والنوعية. وأن تكون قادرة على التعامل بأمان مع عدد ونوع مركبات الجمع التي ستصل

إليها، مع الأخذ بعين الاعتبار قدرة أليات المحطة على النقل مباشرة إلى موقع المعالجة واقتصاديات هذا النقل قبل اتخاذ قرار بشأن نوع محطة النقل المطلوبة أو حتى إذا كانت المحطة مطلوبة.

6-4- طرائق تفريغ حمولة العربة المقطورة في محطة التحويل الوسيطة:

تفرغ حمولة العربة المقطورة في المحطة التحويلية بإحدى الطرق الآتية:

1. الأرضية الحية (الأرضية المتحركة - live bottom)، في أرضية المركبات. وتؤدي الحركة الطولية العادية والرجاجة لمقاطع الأرضية إلى رفع النفاية خارج العربة المقطورة.
2. الحافة الدافعة (Push blade)، حيث يقوم قضيب تلسكوبي بدفع الحافة من أمام العربة المقطورة مما يُرغم النفاية خارجاً.
3. السلاسل الساحبة (Drag chains)، لبعض الشاحنات سلاسل على دواليب مسننة تتحرك من الأمام إلى الخلف في العربة المقطورة وبجذب السلسلة تُسحب النفاية خارج الشاحنة.
4. الشاحنة القلابة (Tipper): تفتقد بعض الوحدات نظام تحميل ومن ثم يقوم قلاب كبير في منطقة الردم الصحي برفع جميع سيارة النقل بزاوية مما يسمح معه بفتح قاعدتها وانزلاق النفايات خارجها.

كما يمكن للمحطات التحويلية نقل النفاية لقطارات أو قوارب مسطحة والتي تقوم بتحريك النفايات إلى جزيرة ما أو منطقة تخلص نهائي في مكان بعيد.

6-5- حساب محطة التحويل الوسيطة

يتم حساب استطاعة محطات التحويل الوسيطة بناءً على اعتبارات عديدة يتم اختيارها حسب الغرض الأساسي من المحطة وطريقة العمل فيها، منها:

بناء على معدل تفريغ النفايات من سيارات الجمع (حفرة تجميع):

$$C = PC \times (L / W) \times (60 \times HW / TC) \times F$$

بناء على معدل تحميل مقطورات النقل (حفرة تجميع):

$$C = (Pt \times N \times 60 \times Ht) / (Tt + B)$$

محطات التفريغ المباشر بالمقطورات :

$$C = Nn \times Pt \times F \times 60 \times HW / [(Pt/Pc) \times (W/Ln) \times Tc] + B$$

محطات الضغط بالمكابس:

$$C = (Nn \times Pt \times F \times 60 \times HW) / (Pt/Pc \times Tc) + B$$

محطات حفرة دفع النفايات:

$$C = (Np \times Pt \times F \times 60 \times HW) / [(Pt/Pc) \times (W/Lp) \times Tc] + Bc + B$$

حيث:

C : استطاعة المحطة (طن/يوم)

PC : حمولة الآلية اليومية (طن)

L : الطول الكلي لموقع الرمي (قدم)

W : العرض الكلي لكل موقع رمي (قدم)

HW : ساعات العمل اليومية (ساعة)

TC : الوقت اللازم لتفريغ آلية النفايات (دقيقة)

F : عامل الذروة (عدد سيارات الجمع خلال 30 دقيقة/ متوسط عدد السيارات خلال 30 دقيقة في الذروة)

Pt: حمولة مقطورة النقل (طن)

N : عدد مقطورات نقل التحميل في وقت واحد

Ht: عدد الساعات يوميا لتحميل المقطورات (يجب أن يكون العربات الفارغة متوفرة) (ساعة)

B : الوقت اللازم لإزالة واستبدال كل مقطورة محملة (دقيقة)

Tt : الوقت لتحميل كل مقطورة نقل (دقيقة)

Nn : عدد الأقماع

Ln: طول كل قمع (قدم)

Lp : طول كل حفرة (قدم)

Np: عدد الحفر

Bc : إجمالي دورة الزمن لتفريغ كل حفرة وضغط النفايات إلى المقطورة (دقيقة)

6-6- مثال على حساب استطاعة محطة التحويل الوسيطة

حساب استطاعة محطة النقل اعتمادا على اليات جمع القمامة من المدينة

في حال كانت اليات جمع النفايات في الوحدة الادارية هي:

15سيارة لجمع النفايات من المدينة حمولة الواحدة 8 طن، وبقية العوامل كما يلي:

- عدد جولات الألية الواحدة منها ثلاث جولات في الوردية الواحدة
- الطول الكلي لموقع الرمي يساوي 30 متر
- العرض الكلي لموقع الرمي يساوي 15 متر
- عدد ساعات التشغيل اليومية /8/ ساعات

- زمن تفريغ الآلية الواحدة يساوي عشر دقائق
- وعامل الذروة يساوي/3 =F/

فإن استطاعة محطة النقل بناء على معدل تفريغ أليات الجمع تصبح

$$C = Pc \times (L/W) \times (60VHw/TC)VF$$

$$C = 8 \times (30/15) \times (60 \times 8/10) \times 3 = 8 \times 2 \times 48 \times 3$$

$$C = 2304 \text{ ton}$$

حساب استطاعة محطة التحويل الوسيطة اعتمادا على مقطورات نقل القمامة إلى المقلب في حال كان عدد مقطورات نقل النفايات من محطة التحويل الوسيطة هي:

5 – مقطورات حمولة الواحدة /25/ طن، وبقية العوامل كانت كما يلي:

1 - عدد ساعات التحميل ثماني ساعات.

2 – الوقت اللازم لتحميل المقطورة نصف ساعة.

3 – الوقت اللازم لتبديل المقطورة ربع ساعة

فإن استطاعة محطة التحويل الوسيطة بناء على معدل تحميل مقطورات النقل

$$C = (Pt \times N \times 60 \times Ht) / (Tt + B)$$

$$C = (25 \times 5 \times 60 \times 8) / (30 + 15)$$

$$C = 60000/45$$

$$C = 1334 \text{ ton}$$

المقارنة بين الحلين:

بالمقارنة بين الحلين نجد ان استطاعة المحطة المحسوبة اعتماداً على آليات الجمع هو ضعف استطاعة المحطة المحسوبة اعتمادا على مقطورات النقل، وبالتالي يمكن القول إنه لو عملت المحطة بكامل استطاعتها للأليات الواردة اليها فإن استطاعة نقل هذه الكمية من النفايات بالمقطورات الحالية غير كافية لنقل كمية النفايات الواردة اليها ضمن ثماني ساعات وبالتالي لدينا خيارين إما زيادة عدد المقطورات أو زيادة عدد ساعات تشغيل المحطة.

6-7- مزايا وعيوب محطات التحويل الوسيطة:

تتميز محطات التحويل بالمزايا الآتية:

1. تسهيل تنظيم المسارات.
2. تخفيض أثر الطرق على مسارات الشاحنات.
3. تخفيض الاختناقات المرورية.
4. تخفيض تكلفة النقل بالجر لمناطق التخلص النهائي.
5. تقليل تكلفة تشغيل سيارات جمع النفاية وصيانتها.
6. تقليل تكلفة التخلص النهائي بسبب نظم إعادة الدوران.
7. عمر أطول لسيارات الجمع.
8. تحسين إنتاجية سيارات الجمع والفريق العامل.
9. تحسين تشغيل المدفن الصحي لقلة عدد المركبات.
10. مرونة النظام الإداري (للنقل خارج ساعات الذروة أو للنقل الأكفأ).
11. إمكانية حفظ النفاية لإعادة التدوير وفرزها.
12. إمكانية تفتيش النفاية وغربلتها للتخلص منها.

13. الحصول على الأرباح عند استخلاص المواد لإعادة الاستخدام.

14. ملاءمة مركز إلقاء النفاية للجمهور (للنفاية القابلة للتدوير).

15. توافر نقطة وسيطة بين نقاط الجمع والتخلص النهائي.

16. استخدام كامل لأجهزة النقل والجمع وسياراتها والفريق العامل.

لكن لمحطات التحويل الوسيطة العقبات والعيوب الآتية:

- الأراضي المجاورة لمحطات التحويل الوسيطة وخاصة النماذج القديمة غير مرغوبة وغير ذات منفعة.
- صعوبة إقناع للجمهور بالقبول الجماعي لاختيار الموقع لمحطة التحويل الوسيطة.
- تحتاج إلى استثمار أولي.
- صعوبة الحصول على أرض داخل حدود المدينة.
- حدوث آثار ضارة للصحة العامة والبيئة في النموذج القديم لمحطة التحويل الوسيطة (الضوضاء، والغبار، والروائح النتنة، والنفايات... الخ).

الفصل السابع

الاقتصاد الدائري وتدوير النفايات

يمكن تعريف الاقتصاد الدائري بأنه نظام إنتاج، تبادل واستهلاك يهدف إلى تحسين استخدام الموارد في جميع مراحل دورة حياة سلعة أو خدمة في المنطق الدائري مع الحد من البصمة البيئية والمساهمة في رفاهية الأفراد. ويهدف الاقتصاد الدائري إلى تقليل إنتاج النفايات وتثمينها، وإعطائها قيمة متجددة بإعادة تدويرها لتصير مادة أولية قابلة للإنتاج والاستهلاك، وكل هذا يؤدي إلى الحفاظ على المواد الطبيعية، وترشيد استنزاف عناصر البيئة.

و تُعد عملية التدوير لغرض الحصول على المواد الثانوية ملائمة بيئياً عندما يكون استهلاك الطاقة والمواد والانبعاثات وتلوث الماء والهواء والتربة أقل منها أثناء إنتاج مواد جديدة بنفس المواصفات.

7-1- تعريف الاقتصاد الدائري

يعتبر النظام الاقتصادي للمجتمعات هو الإطار العام المتكوّن من المعايير والقواعد التي يُحدّد من خلالها كيفية، وطريقة التعامل بين الاحتياجات البشرية والموارد الطبيعية والإمكانيات التقنية والمعرفية داخل المجتمع، ذلك من خلال الربط بين العلاقات الاقتصادية والقانونية والاجتماعية التي تحكم وتسير المجتمع، والدارس لتطور النظم الاقتصادية عبر التاريخ، يجد ان هناك الكثير من التحولات عبر حقب زمنية متتالية، ومن أهم هذه التحولات وآخرها في القرن 21 موضوع التحول من الاقتصاد الخطي(التقليدي) إلى الاقتصاد الدائري.

أورد الباحثون جملة من التعاريف للاقتصاد الدائري، نذكر منها ما يلي:

عرفه «هوبسن Hobson» بأنه نظام صناعي أو نظام متجدد قائم على إعادة التصميم والتحول نحو استخدام الطاقة المتجددة، وتجنب استخدام المواد الضارة، ويهدف إلى القضاء على النفايات من خلال التصميم المتميز للمواد والمنتجات ونماذج الأعمال[83].

في حين عرّفه « Vette» بأنه إطار يحدد العلاقة بطرائق مختلفة لخلق القيمة والحفاظ عليها من خلال إعادة الاستخدام أو التجديد أو إعادة التصنيع أو إعادة التدوير. ويعتمد على الحد من اعتماد المجتمع على الموارد الطبيعية النادرة من خلال الاستفادة القصوى من الموارد المتاحة، وإعادة استخدامها، وتقليل الفاقد منها[84].

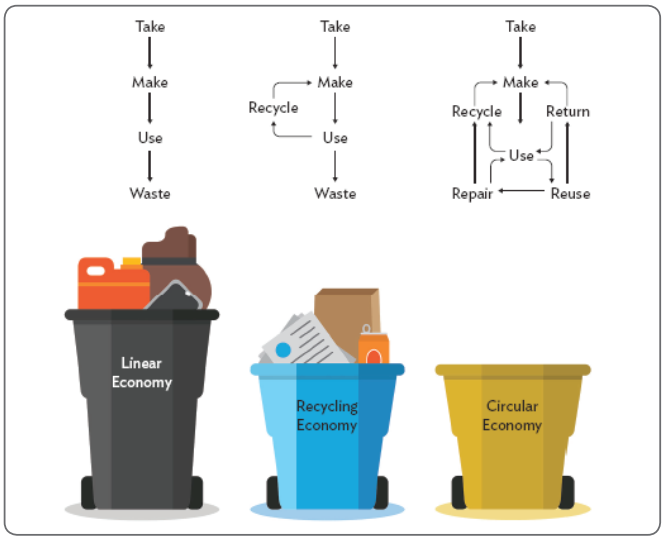
ويمكن تعريف الاقتصاد الدائري بأنه نظام إنتاج، تبادل واستهلاك يهدف إلى تحسين استخدام الموارد في جميع مراحل دورة حياة سلعة أو خدمة في المنطق الدائري مع الحد من البصمة البيئية والمساهمة في رفاهية الأفراد. ويهدف الاقتصاد الدائري إلى تثمين النفايات، وإعطائها قيمة متجددة بإعادة تدويرها لتصير مادة

أولية قابلة للإنتاج والاستهلاك، وكل هذا يؤدي إلى الحفاظ على المواد الطبيعية، وترشيد استنزاف عناصر البيئة.

ويختلف الاقتصاد الدائري عن اقتصاد التدوير وعن الاقتصاد الخطي، حيث لاينتج نفايات عن الاقتصاد الدائري (صفر نفايات) بينما تقل كمية النفايات في اقتصاد التدوير مقارنة بالاقتصاد الخطي، تتطرق هذه المفاهيم لشرح الاختلافات بين ثقافة التخلص (الخطية) الحالية، واقتصاد إعادة التدوير، والاقتصاد الدائري في الشكل (7-1)[85].

الشكل 7-1:

مقارنة مبسطة للاقتصاد الدائري مع اقتصاد التدوير والاقتصاد الخطي[85].



7-2- التحول من الاقتصاد الخطي إلى الاقتصاد الدائري

يقوم الاقتصاد الخطي على توافر الطاقة والموارد الطبيعية بكثافة، ويعتمد على اقتصاديات السعة والخدمات اللوجستية العالمية المعقدة وسلسة التوريد، وينتج عنه استنزاف للموارد الطبيعية، ومصادر الطاقة، وتدهور البيئة، كما أن سلع الاقتصاديات

الخطية غالبا ما تتحول إلى نفايات في فترة قصيرة جدا، وتسرع في تدهور الأنظمة البيئية والطبيعية كالمياه والهواء والأراضي من خلال انبعاث الملوثات.

إن الاستمرار في السلوكيات والاتجاهات الإنتاجية والاستهلاكية التي تعدت الحدود الطبيعية، وما يترتب على الأنشطة الصناعية من تأثيرات سلبية، سيؤدي إلى تهديد مستقبل البشرية بأكملها، وبناءً على ذلك سعى الكثير من العلماء والمتخصصين إلى إيجاد بدائل تراعي الحفاظ على الطبيعة، ولا تؤثر سلباً على البيئة وفي نفس الوقت تحافظ على الموارد المتاحة وعدم استنزافها.

ويمثل الاقتصاد الدائري مدخلاً هاماً لتحقيق التنمية المستدامة وتلبية احتياجات الأجيال الحاضرة من الموارد الطبيعية، والحفاظ على حقوق الأجيال المستقبلية، و يساهم بشكل كبير في حماية البيئة والحد من استنزاف مصادر الطاقة غير المتجددة والقضاء على التلوث وخفض حجم النفايات و الحد من البصمة البيئية.

7-3- متطلبات التحول إلى الاقتصاد الدائري

يساعد التحول الرقمي على سرعة التحول نحو الاقتصاد الدائري المستدام، حيث يساهم التحول الرقمي في توفير معلومات دقيقة عن مدى توفر المواد والمنتجات وموقعها وحالتها، وجعل العمليات أكثر كفاءة داخل المؤسسات، مع تقليل الفاقد، وتعزيز العمر الأطول للمنتجات، وتقليل التكاليف وزيادة كفاءة استخدام الموارد.

يتطلب الاقتصاد الدائري إعادة تصميم المنتج والإنتاج والعمليات التجارية على نطاق واسع. اي التحويل من نموذج التفكير الخطي الحالي ذي البنية التحتية الكبيرة إلى نموذج موزع باستخدام تفكير الاقتصاد الدائري، عن طريق إنشاء خطوات دائرية أصغر أقرب إلى مصدر توليد النفايات.

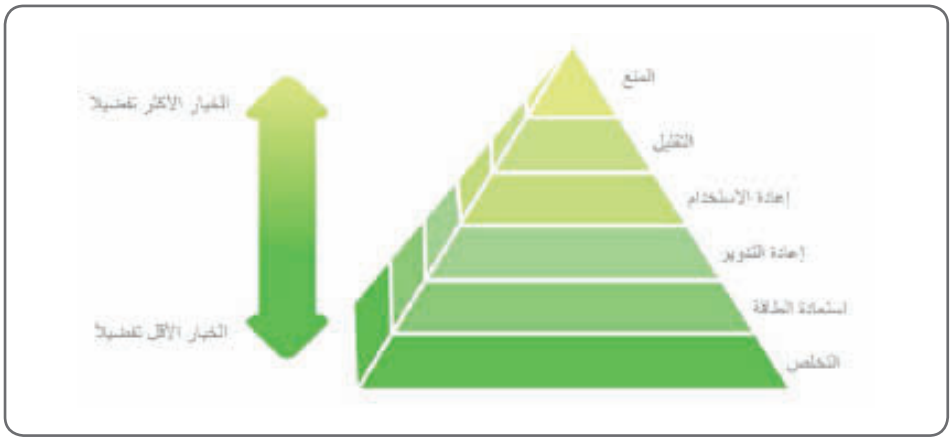
7-4- هرم قيمة النفايات:

يمكن تقسيم هرم قيمة النفايات والذي يسمى أحياناً (5R) على النحو الآتي (الشكل 7-2):

التفادي (المنع – Refuse)، التقليل (Reduction)، إعادة الاستخدام (Reuse)، إعادة التدوير (Recycling)، الاسترجاع واستعادة الطاقة (Recovery)، وأخيراً التخلص. وحالياً تتمثل استراتيجية النفايات في كثير من الدول من التخلص إلى التقليل عندما يكون ذلك ممكناً اقتصادياً أو تقنياً أو بيئياً.

الشكل 7-2:

هرم قيمة النفايات



7-5- الوقاية و تفادي إنتاج النفايات (Refuse)

العنصر الأول في التسلسل الهرمي لـ 5R لأن الوفر الأكبر في النفايات لا يأتي من خلال إعادة الاستخدام والتدوير ، ولكن من خلال تفادي تولد النفايات، لأنه في حال التدوير يتم دفع ثمن المنتج ثم يتم الدفع للتدوير قبل الحصول على عائد منه ، بينما في تفادي تولد النفاية يتم توفير ثمن المنتج أصلاً ، وكذلك تكاليف التدوير.

قد يتطلب تعلم رفض إنتاج النفايات من المصدر - أي منع الهدر بعض الممارسة، ولكن دمج خطوة المنع هذه في استراتيجية إدارة النفايات هو الطريقة الأكثر فاعلية لتقليل الهدر.

هناك توافق في الآراء فيما بين خبراء البيئة على أنه لا يمكن تحقيق استراتيجية النفايات المعدومة إلا بالاعتماد الكامل على التكنولوجيا الأنظف. وسيتطلب تخفيض النفايات إلى مستوى الصفر تطبيقاً متواصلاً لاستراتيجية بيئية وقائية متكاملة، تطبق على العمليات والمنتجات والخدمات من أجل زيادة الكفاءة العامة وتقليل المخاطر على البشر والبيئة.

7-6- تقليل إنتاج النفايات:

تنتج النفايات منذ استخراج الفلزات من المناجم، وخلال العمليات الصناعية المختلفة، كما أنها تتولد نتيجة استخدام السلع والتجهيزات وانتهاء عمرها الافتراضي.

والتقليل من حجم أو كمية النفايات سوف يقابله من الجهة الأخرى توفير حجم المرافق أو المعدات المطلوبة، سواء للتجميع أو التخزين أو المعالجة، أو التقليل من مساحة الأراضي اللازمة للطمر وغيرها.

ولا يقتصر التقليل على تقليل كمية أو حجم النفاية فقط، بل يتعداها ويشمل نوعية ومواصفات النفايات التي سوف تنتج، مثل عملية الخفض من درجة سُمية النفاية (Toxicity Reduction)، أو التقليل من التأثيرات البكتريولوجية وغيرها من الخواص المؤثرة فيها، والتي يكون لها تأثيرات صحية وبيئية. أو التقليل من الكمية والخواص معاً، وهذا سوف يقلل من حجم التكاليف اللازمة لعمليات التخلص التي تتطلبها النوعيات الخطرة من النفايات.

يعد مبدأ التقليل من المصدر (Source Reduction) من أولويات الخيارات في أي استراتيجيات لإدارة النفايات، والمقصود به أي أنشطة أو معالجة تؤدي إلى

التقليل أو منع تولد أي نوعية من النفايات سواء الناتجة عن كل فرد أو النفايات الناتجة عن الأنشطة المختلفة، سواء كانت تجارية أو صناعية، أي الحد والتقليل من تولد النفايات من مصادرها.

وعملية تقليل النفايات من المصدر لا تعتبر أسلوب لإدارة النفايات في حد ذاته، بل تعتبر وسيلة تساعد في إدارة النفايات تتم نتيجة إتباع بعض الخطوات التي سوف تؤدي في النهاية للوصول إلى هذا الهدف، فعند تنفيذ برنامج متعلق بعملية التقليل من إنتاج النفايات لابد وان نبدأ أولاً من التعديل من دورة المنتج، والمتمثلة في مراحل التصميم والتصنيع والبيع وصولاً إلى مرحلة التعبئة والتغليف، بجانب كيفية التعامل مع هذه المنتجات.

ومن أهم الاعتبارات اللازمة لبرامج تقليل النفايات من المصدر:

أ-إعادة استخدام المنتج (Product reuse):

- تتم إعادة استخدام المنتج دون الحاجة إلى المعالجة، ومن الأمثلة البسيطة على ذلك هي إعادة استعمال الأكياس والعبوات الفارغة والتي لا يخلوا منزل منها، خاصة وأن الشركات المنتجة أصبحت تنتج عبوات تغليف مبالغ فيها، وعلى درجة عالية من الجودة والعنصر الجمالي.
- جمع الزجاجات التي يمكن إعادة تعبئتها مرة أخرى مثل زجاجات المشروبات الغازية وغسلها وإعادة استعمالها لأكثر من مرة.
- التوسع في إنشاء مراكز لإعادة الشراء (Buy-back Centres) خاصة لشراء الملابس أو الأجهزة القيمة والسليمة، والتي يمكن إعادة استعمالها. أي أن إمكانية استعمال أي منتج لأكثر من مرة هو مثال بسيط على خفض وتقليل المواد الخام والطاقة اللازمة لتصنيع تلك المواد من خاماتها مرة أخرى، وهذا سوف يقابله التقليل من كمية النفايات وحجم المرافق اللازمة للتخلص منها.

ب- **التقليل من حجم أو كمية المواد الخام** (Material Volume Reduction)

لابد أن يُؤخذ بهذا المبدأ بداية من مرحلة التصميم والتصنيع، كالتقليل من سُمك العبوات الزجاجية، أو البلاستيكية أو المعدنية وغيرها، وسوف هذا يقلل من استهلاك المواد الخام والطاقة وكمية النفايات المتولدة وما تتطلبه من عناصر الإدارة اللازمة للتخلص منها.

ج- **التحكم في اختيار نوعية المواد الخام الأساسية** (Principal Raw Materials Quality Control)

حيث تعتبر المواد جزءاً من المنتج نفسه وذلك باختيار مواد على درجة نقاوة ملائمة، حيث أن اختيار هذه النوعية من المواد الخام سوف يزيد من كفاءة التفاعلات الكيميائية التي يجب أن تحدث بين المواد الخام الداخلة في العملية، والتقليل من التفاعلات الجانبية مما يقلل من حجم إنتاج منتجات جانبية غير مرغوب فيها والتي تعتبر في حد ذاتها نفايات. إن اختيار المواد الخام بدرجات نقاوة قليلة وبسعر منخفض سوف يعطي في بادئ الأمر إحساساً بأن هذا سوف يساعد على خفض تكاليف العملية الصناعية مما ينعكس بدوره على تكاليف المنتج نفسه وزيادة الربح، ولكن هذا التوفير سرعان ما يتبدد في حجم النفاية المتولدة وما يتبعها من تكاليف لعمليات التخلص منها. ويلزم اختيار نوعية المواد الخام غير السامة والتي ليس لها تأثيرات بيئية ضارة، واختيار المواد البديلة التي تفي بنفس الغرض وتكون أقل تأثيراً على البيئة.

د- **اختيار نوعية وطبيعة المواد الخام المساعدة المستخدمة في العملية الصناعية** (Supplementary Raw Materials Quality Control)

حيث تكون هذه المواد ذات خواص ليس لها تأثيرات صحية أو بيئية خطرة أثناء استعمالها أو عند التخلص منها، فمثلاً في عملية الطلاء الكهربائي بالكروم يمكن استبدال مركب الكروم السداسي (Hexavalent Chromium) السام

بمركب الكروم الثلاثي (Trivalent Chromium) الأقل سمية وبالتالي يكون تم التحكم في خواص النفايات السائلة المتولدة ودرجة خطورتها على الصحة العامة والبيئة.

هـ -الاهتمام بعمليات المسح التحكمي الميداني (Control Inventory)

ويقصد بهذا المسح القيام وبصفة مستمرة بتنفيذ حسابات موازنة الكتلة (Mass Balance) للصناعة أي تطبيق معادلة الكتلة وهي:

كمية المواد الداخلة في العملية الصناعية = كمية المنتجات + كمية النفايات

وبواسطة معادلة الكتلة يمكن معرفة كمية النفاية المتوقع إنتاجها، وليس الهدف من العملية هو معرفة كمية النفاية فحسب، بل إدراك الجدوى الاقتصادية لكمية النفايات المنتجة وهذا الإدراك سوف يساعد ويحث المسؤولين على اتخاذ القرار المناسب لحجم المشكلة، أي سوف يكون هناك إحساس بالمسؤولية والعمل فوراً على سرعة حل المشكلة، خاصة إذا كان هؤلاء المسؤولون يهمهم مصلحة الشركة، لأن بعض المشاكل إذا لم تحل في بدايتها حيث يكون الحل أسهل قد تتسبب في تكلفة اقتصادية باهظة عندما يكون الحل أصعب.

و- زيادة العمر الافتراضي للمنتج (Product Lifetime) باختيار أفضل المواد والتصميمات لزيادة الفترة الزمنية للاستفادة من المنتج.

على الرغم من أن زيادة العمر الافتراضي للمنتج قد يتعارض مع سياسة بعض الشركات المنتجة التي أصبح ما يهمها بالمقام الأول هو تصنيع سلع قصيرة العمر، بأقل جودة وبأرخص الأسعار لتحقيق أفضل حجم من المبيعات ولضمان الربح المستمر.

ز- اختيار التصميم المناسب بحيث يأخذ في الاعتبار إمكانية وسهول الصيانة للمنتج

لقد أصبح العديد من الناس يفضل حالياً الاستغناء عن الكثير من السلع أو

الأجهزة القديمة ويقدمون على شراء سلع جديدة، لإن عمليات الصيانة أصبحت أكثر تكلفة نسبياً كما أصبح إجراؤها أكثر صعوبة، فقد اختارت معظم الشركات المنتجة الاعتماد على أسلوب الاستبدال، الذي يستلزم التخلص من الجهاز واستبداله عند حدوث عطل به مما يزيد من كمية النفايات المنتجة، وهناك أمثلة بسيطة على ذلك فجودة وتصميم إطارات السيارات، أو جودة مواصفات زيوت السيارات سوف يزيد من الفترة الزمنية لاستعمالها، وبالتالي التقليل من كمية النفايات المتولدة من كلا النوعين ومن تكاليف الإدارة اللازمة للتخلص منها كنفايات.

ح- البحث في اختيار العمليات الصناعية المناسبة وذلك باستخدام الطرائق البديلة التي توصلنا لنفس المنتج وفي نفس الوقت تقلل من إنتاج النفايات المتولدة عنها

يعتمد على البحث في تطوير عناصر وظروف التفاعل في العملية الصناعية سوف يتطلب البحث والتطوير في العوامل المساعدة المستخدمة أو البحث في درجات الحرارة أو الضغط المناسبين وغيرها في المفاعل نفسه، فمثلاً تحديد واختيار نوعية العامل المساعد المستخدم في العملية الصناعية سوف يحسن من ظروف التفاعل، وبالتالي التقليل من كمية ونوعية النفايات المتولدة.

ط - الاعتماد على شراء السلع المتينة والمعمرة: لقد أثبتت الدراسات والتجارب أن السلع الأطول عمراً قد تكون أسعارها أعلى ولكن يتضح في النهاية أن تكلفتها أقل نتيجة انخفاض تواتر الشراء.

ي- تقليل معدلات الاستهلاك (Decreased Consumption) بالاهتمام بتغيير العادات الشرائية للأفراد

حيث يتم العمل على اختيار وشراء المنتجات التي يمكن استعمالها لأكثر من مرة، بدلاً من النوعيات التي تستخدم مرة واحدة ويتم التخلص منها، والمثال على ذلك شراء واستعمال أنواع من البطاريات يمكن إعادة شحنها لأكثر من مرة.

ك- **الاهتمام بعملية فصل النفايات** (Waste Stream Segregation) غير المتماثلة في الطبيعة أو المكونات وغير المتوافقة (غير المتجانسة) خاصة إذا كانت من النوعية الخطرة لأن هذا سوف يسهل ويقلل من تكاليف إدارة النفايات.

7-7- إعادة استخدام النفايات (Reuse):

إعادة الاستخدام هي إجراء أو ممارسة لاستخدام عنصر ما، سواء لغرضه الأصلي أو إعادة توظيفه لأغراض أخرى. وهي توسيع استخدام هذا العنصر إلى أبعد من النقطة التي يُتخلص منه من قِبل المستخدم الأول، أفضل من عملية إعادة التدوير أو التخلص منه، إذ يُعتبر هو الحل الأقل استهلاكاً للطاقة، على الرغم من أن هذا الحل يتم تجاهله في كثير من الأحيان.

7-7-1- أهمية إعادة الاستخدام

يتحقق بإعادة الاستخدام عدم تكوين النفايات في المقام الأول. ويمكن من خلال إعادة استخدام الأشياء تقليل كمية المواد التي يجب إرسالها إلى مطامر النفايات أو مراكز إعادة التدوير، كما وتقل الحاجة إلى الشركات المصنعة لاستخراج مواد جديدة من مواردها الطبيعية، وتقل النفقات الإجمالية للطاقة ويقل التلوث في جو الأرض والممرات المائية.

يمكن أن توفر عملية إعادة الاستخدام منتجات عالية الجودة للأشخاص والمؤسسات ذات الموارد المحدودة، بالإضافة إلى توفير فرص عمل ونشاط تجاري يساهم في دعم الاقتصاد.

كان الدافع المالي على مر التاريخ أحد الدوافع الرئيسة لعملية إعادة الاستخدام. يمكن أن يؤدي هذا الدافع في العالم النامي إلى تطبيق مستويات عالية جداً من عملية إعادة الاستخدام، ولكن ارتفاع الأجور وما يترتب على ذلك من طلب المستهلك على المنتجات الاستهلاكية، جعل عملية إعادة استخدام العناصر

منخفضة القيمة في عمليات -مثل التعبئة والتغليف- غير اقتصادية بالأخص في البلدان الأكثر ثراءً، ما أدى إلى إيقاف العديد من برامج إعادة استخدام. يغير الوعي البيئي الحالي السلوكيات والأنظمة تدريجياً مثل قوانين التعبئة والتغليف الجديدة، التي بدأت تدريجيًا في عكس الوضع الحالي.

يُعتبر الحليب المُوصل في أقنية زجاجية إلى أبواب المنازل من الأمثلة على إعادة الاستخدام التقليدية، وتشمل الأمثلة الأخرى تجديد الإطارات واستخدام الصناديق البلاستيكية القابلة للإرجاع/ القابلة لإعادة الاستخدام، وحاويات الشحن، بدلاً من الصناديق أحادية الاستخدام المكونة من ألياف مضغوطة مزدوجة.

كثير من السلع المستهلكة التي يطرحها السكان (الأغنياء بشكل خاص) لم تبلغ بعد عمرها الافتراضي وبالتالي يشكل رميها كنفايات عبئاً اقتصادياً وبيئياً ويمكن بتعديلات أو إصلاحات بسيطة على تلك السلع اعادة الاستفادة منها واستعمالها من جديد. يدخل في ذلك الأدوات الكهربائية والألبسة والمفروشات المنزلية والتجارية والحواسيب الشخصية وغيرها كثير

7-7-2 – مزايا و عيوب إعادة استخدام النفايات

تمتلك عملية إعادة الاستخدام بعض المزايا المحتملة التالية:

- توفير الطاقة والمواد الخام، مثل استخدام منتجات تمكن إعادة استخدامها بدلاً عن العديد من المنتجات أحادية الاستخدام، ما الأمر يقلل عدد المنتجات التي يجب تصنيعها.
- انخفاض احتياجات التخلص وتكاليفه.
- يمكن أن يجلب التجديد وظائف راقية مُستدامة ذات أجور جيدة للاقتصادات النامية.
- غالباً ما يكون التوفير في التكاليف للشركات والمستهلكين عبر منتج يمكن إعادة استخدامه، وأرخص من العديد من المنتجات أحادية الاستخدام التي يحل محلها.

- تُعد بعض العناصر القديمة أفضل من جهة الصناعة اليدوية وأثمن من ناحية القيمة.

ثمة بعض العقبات المترافقة مع إعادة الاستخدام:

- لزوم التنظيف أو النقل غالباً ولهذا تكاليف بيئية.
- قد تكون بعض العناصر مثل مقاعد الأطفال الرضع وأجهزة التلفاز القديمة والسيارات المستعملة خطرة أو أقل كفاءة في استخدام الطاقة مع استمرار استخدامها.
- لزوم مهارات خاصة لتعديل الإنتاجية الوظيفية للعناصر عند تخصيصها لاستخدامات جديدة خارج غرض استخدامها الأساسي.
- ضرورة معرفة المعايير التي تتوافق مع المنتجات القديمة، لمعرفة ما هي المحولات التي يجب شراؤها للمنتجات الأحدث لتكون متوافقة معها، على الرغم من أن تكلفة المحولات لهذه التطبيقات هي عيب بسيط فقط.

7-8- تدوير النفايات (Recycling):

يمكن تعريف التدوير بأنّه عدة عمليات مترابطة بعضها ببعض تبدأ بتجميع المواد سواء المنزلية أم الصناعية أم الزراعية، التي بالإمكان تدويرها، بغية التقليل من حجمها وبالتالي التقليل من تأثيرها في البيئة. وتتم عملية التدوير عن طريق تصنيف وفرز النفايات على أساس المواد الخام الموجودة فيها ومن ثم إعادة تصنيع كل مادة على حدة. ويتم فرز النفايات حسب أنواعها، لتصبح مواد خاماً صالحة للتصنيع، وبعد ذلك تحول إلى منتجات قابلة للاستخدام.

لسنوات عديدة كان التدوير المباشر عن طريق منتجي مواد النفايات (الخردة) هو الشكل الأساسي للتدوير، ولكن مع بداية التسعينيات بدأ التركيز على التدوير غير المباشر أي تصنيع مواد النفايات لإنتاج منتجات أخرى تعتمد على نفس المادة الخام مثل: تدوير الزجاج والورق والبلاستيك والألمنيوم وغيرها من المواد.

7-8-1- خطط وأنظمة فرز النفايات من أجل إعادة التدوير:

إن نجاح عملية تدوير النفايات يتطلب فرز ناجح للنفايات وذلك من خلال:

أ- جمع المواد القابلة للتدوير المفروزة من المصدر

من أفضل الطرق المتعارف عليها لجمع المواد المستخدمة لإعادة تدويرها هي نقاط الجمع من المنازل.

ب- الفرز من المصدر بنظام الجمع بالحاويات:

عملية الفصل للنفايات يمكن أن تتم من المصدر بوضع حاوية خاصة لكل نوع من النفايات، كما في الشكل (7-3). وقد يتم فصل المواد المختلفة للنفايات في مراكز التجميع أو قرب المطامر حيث تستخدم الآلات والتجهيزات لفصل المكونات الرئيسة للنفايات بشكل ميكانيكي باستخدام المطرقة الدوارة، الغربلة، أو بواسطة التعويم بالماء أو بالفصل الكهربائي والمغناطيسي، ففي الفرز المغناطيسي حيث توضع النفايات على سير متحرك تتعرض إلى مادة مغناطيسية تجذب إليها المعادن القابلة للجذب المغناطيسي، أو باستخدام الفرز الهوائي حيث يتم فرز النفايات حسب كثافتها، وتقذف النفايات في الهواء ليتم عزل المواد المتشابهة حسب مسافة القذف، ويتم عزل النفايات حسب مكوناتها لإعادة تصنيعها بعد كبسها. وقد يتم الاستفادة أو التخلص من هذه المواد المفروزة في عمليات أخرى مثل التحويل إلى محسنات التربة (الكمبوست) أو حرقها أو طمرها.

الشكل 7-3

حاويات فرز النفايات

وتوجد نفايات منزلية يتم فرزها لكونها نفايات خطرة كالبطاريات والدهانات. ويتم جمعها من المصدر أو نقلها إلى مواقع جمع النفايات المنزلية الخطرة.

وأهم فائدة للفرز من المصدر هي الحصول على نتائج جيدة وأسعارها عالية نسبياً في السوق، ويحتاج الفرز من المصدر إلى كلفة أقل من رأس المال الذي يستخدم لإنشاء مخزن لتجميع النفايات المفروزة وأحياناً تكون سيارة تجميع، وعلى العكس فإنّ كلفة رأس المال لمجمعات الفرز المركزية تتطلب منشآت كبيرة ومعدات معقدة للتمزيق وناقلات.

إن طريقة الفرز من المصدر مناسبة جداً للمجتمعات البعيدة عن مواقع الفرز المركزية وتحتاج لنفسها سوق مواد ثانوية، وهي مناسبة للتجميع من قبل الجمعيات الخيرية، وهي أكثر الطرق اقتصادية ومفضلة للبلديات لأنها لا تحتاج إلى نقل النفايات وطمرها في مواقع الطمر الصحي، ولكن تحتاج البلديات إلى مشاركة فاعلة من قبل المجتمع وإيجاد أسواق مستهلكة لهذه المواد بشكل مستمر، لذلك فهذه الطريقة تحتاج إلى تعاون الجمهور لإنجاحها، ووجد أن أكثر الناس رغبة للفرز من المصدر هم المتأثرون سلبياً من المطامر الصحية.

ج- فرز النفايات من المصدر مركزياً

قد يتم الفرز من المصدر في مراكز رمي النفايات، كما في الشكل (7-4)[86].

الشكل 7-4

الفرز من المصدر في مراكز رمي النفايات

ويستخدم مصطلح (مرفق استخلاص المواد) للإشارة إلى المرفق حيث تستخلص المواد القابلة للتدوير من النفايات و/ أو يتم التعامل الأولي مع النفايات ليتم بيعها إلى المستخدم النهائي. إن المصطلح لا يشير إلى مرفق التصنيع حيث تستخدم المواد القابلة للتدوير لتصنع منتجاً. التنوع الواسع لمرافق الاستخلاص يمكن أن يتدرج من المخازن البسيطة إلى مرافق فرز المواد القابلة للتدوير. أي نوع من المرافق ملائم لأي حالة سيعتمد على تصميم نظام التدوير.

بناءً على هدف المرفق فإن معامل الفرز قد صممت لفصل النفايات إلى مكونات عديدة: المواد القابلة للتدوير، مواد عضوية والنفايات المرفوضة. هذه المكونات ستستخدم بعدها، أو تنقل أو يتم التخلص منها بطرق ملائمة بيئياً واقتصادياً.

المعاملة تتضمن غالباً فصل المواد المجمعة، فصل مكونات النفايات حسب الحجم، استخدام المناخل، فصل مكونات النفايات يدوياً، تخفيض الحجم بالتمزيق، فصل المواد الفلزية باستخدام المغناطيس، تخفيض الحجم بالرص والحرق.

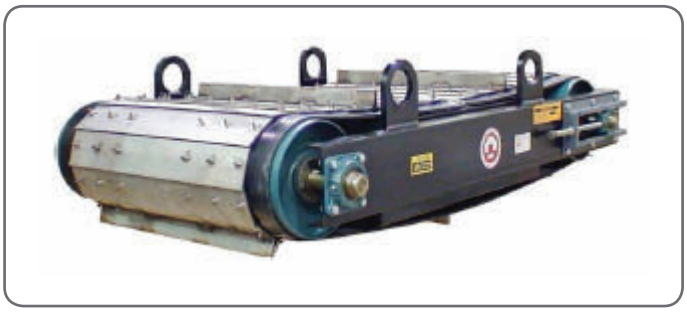
تستخدم مرافق استخلاص النفايات كذلك النفايات الصلبة البلدية المختلطة لإزالة الشوائب من النفايات ولتحضير النفايات للاستخدام اللاحق، مثل الحرق كوقود للمرافق ومخازن تغذية لمرافق صناعة الكمبوست.

تشمل التجهيزات النموذجية في منشآت فرز المواد التي تستلم النفايات الصلبة البلدية المختلطة:

- **ما قبل الفرز اليدوي:** لفصل المواد الكبيرة الحجم وصناديق الكرتون من النفايات.
- **فتح الأكياس** : مثل طواحين ذات شفرات، شفرات مقصات تمزيق، ومثاقب دوارة.
- **الفرز اليدوي:** لفرز الورق، الكرتون، البلاستيك، الزجاج، علب الألمنيوم وعلب القصدير.
- **الفصل حسب الحجم:** فصل المواد الكبيرة مثل الورق، الكرتون، البلاستيك، الزجاج، علب الألمنيوم وعلب القصدير. إن التطبيقات الأساسية للفصل تتضمن: إزالة المواد الكبيرة، إزالة المواد الصغيرة، فصل المواد إلى مواد خفيفة قابلة للاحتراق ومواد ثقيلة غير قابلة للاحتراق، استخلاص الورق، البلاستيك ومواد أخرى مثل الزجاج والمعادن، الحبيبات والرمل من المواد القابلة للاحتراق.
- **الفصل المغناطيسي:** المعادن الفلزية تفصل عن النفايات الأخرى عبر استخدام خواصها المغناطيسية. ويفضل استرجاع هذه المعادن من المخلّفات بعد تقطيع النفايات، ويوجد بشكل عام ثلاثة أنواع من المفرقات المغناطيسية، النوع الأول المفرقات المغناطيسية الدائمة المعلقة Permanent Suspended Magnets كما في الشكل (7-5) والنوع الثاني المفرقات المغناطيسية على شكل أحزمة سير ناقل Belts Magnets، والنوع الثالث المفرقات المغناطيسية الأسطوانية Drum Magnets، كما في الشكل (7-6)[87].

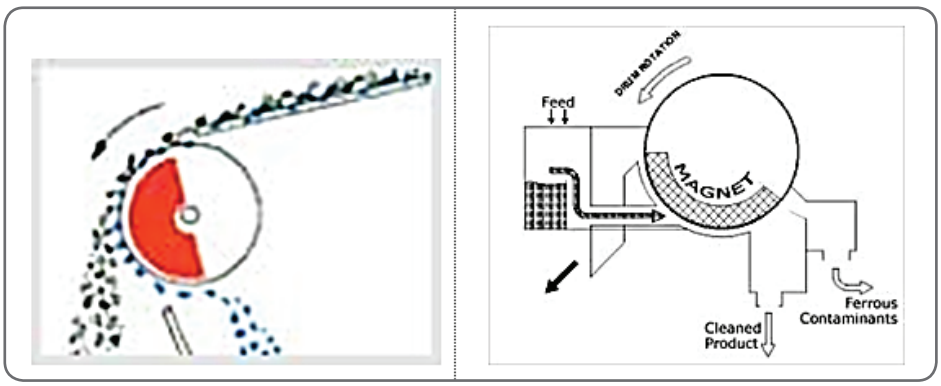
الشكل 7-5

المفرقات المغناطيسية الدائمة المعلقة



الشكل 7-6:

المفرقات المغناطيسية الأسطوانية



د- جمع النفايات القابلة لإعادة التدوير من قبل الشركات الصناعية أو التجارية

معظم الشركات الصناعية تصمم حاليا عبوات المنتجات لتكون مواد يمكن إعادة تدويرها، لكن إذا لم تكن أنظمة إعادة التدوير متاحة وسهلة للمستهلك فإن تصميم المنتجات بهذه الطريقة لن يكون له أي فوائد بيئية.

وقد يتم جمع النفايات القابلة لإعادة التدوير عن طريق مبادرات قد تكون وطنية بحيث تفرض برامج إعادة التدوير على الموردين وتكون مسؤوليتهم إعادة

جمع المواد القابلة لإعادة التدوير ليتم إعادة تدويرها، أو مبادرات محلية حيث تعهد إلى الحكومة المحلية المسؤولية المطلقة عن نقاط جمع النفايات لإعادة تدويرها وهي المسؤولة عن تنظيم جميع برامج إعادة التدوير، وقد تكون المبادرة على مستوى الشركات المصنعة التي لديها أنظمة وبرامج إعادة التدوير تجلب الكثير من المنافع الاقتصادية للمصانع والمنتجين. كما أن لتقديم هذه الشركات لخدمات جمع المواد أو مساعدة نقاط جمع المواد القابلة لإعادة تدويرها الأثر الكبير على مصداقيتهم البيئية. على سبيل المثال شركة كوكا كولا قدمت الدعم والتمويل المستمر للعديد من أنظمة وبرامج إعادة التدوير المحلية.

وأخيرا قد تكون المبادرة على مستوى بائعي التجزئة حيث يعد بائع التجزئة النقطة الرئيسية التي من خلالها يقوم المستهلك بشراء المنتجات ذات الأغلفة القابلة للتدوير. لذلك فإنهم يمثلون أحد أهم النقاط المتاحة لوضع وجمع الأغلفة القابلة لإعادة التدوير.

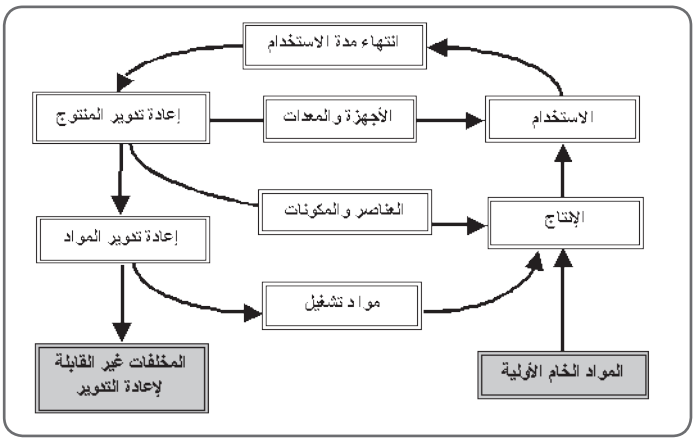
7-8-2-أنواع التدوير:

بالنسبة للصناعة فإن أحد التحديات حالياً هو التعامل مع معضلة استنزاف الموارد غير المتجددة وازدياد كمية النفايات والتلوث البيئي والبحث عن بدائل وحلول.

الفكرة الجوهرية للتدوير هي استحداث أو استكمال الدوائر المغلقة للاستفادة من المنتوجات والنفايات وذلك بإعادة استخدامها أو التدوير كما يظهر في الشكل (7-7)[87].

الشكل 7-7

أنواع ودورات التدوير



نصنف أنواع التدوير كما يلي:

أ- تدوير المنتج (product recycling) : يعتبر حلاً ضرورياً وبديلاً للإنتاج الجديد ويمكن تطبيقه على الإنتاج الكامل أو المكونات والأجزاء كالآتي:

- إعادة استخدام المنتج مع المحافظة على شكله وبنيانه والقيمة العالية له بعد صيانته أو تطويره لاستخدامه لنفس الوظائف والمهام.
- تدوير المنتج بعد تفكيكه وإدخال مكوناته وأجزائه لعملية الإنتاج والتجميع ويعتبر هذا النوع أقل قيمة من النوع السابق.

ب- تدوير المواد (material recycling): الاستفادة من المواد الداخلة في صناعة أي منتوج (إعادة التصنيع) في صناعات مماثلة أو مختلفة بعد فصل المواد الداخلة في صناعته عن بعضها البعض مع مراعاة شروط حماية البيئة كالآتي:

- تدوير المواد من خلال إعادة تصنيعها واستخدامها كمواد تشغيل.
- تدوير المواد من خلال معالجتها كيميائياً أو حرارياً لتصنيع مواد خام جديدة.

7-8-3- الميزات البيئية والاقتصادية لتدوير النفايات:

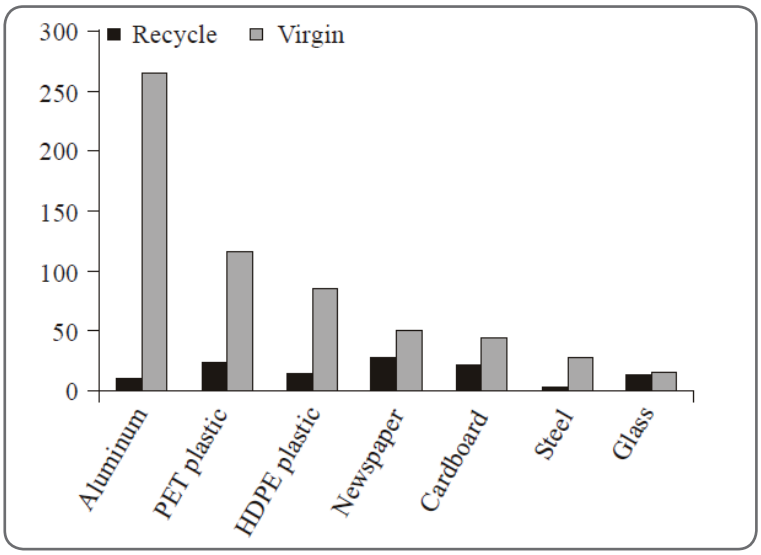
إن تدوير النفايات يعد حلاً بيئياً جيداً لإدارة النفايات الصلبة، ويعود هذا الحل بالنفع الاقتصادي، عند توفر رأس المال والتكنولوجيا والأيدي العاملة المدرّبة والماهرة. ومن الفوائد البيئية والاقتصادية نتيجة لتدوير النفايات وإعادة تصنيعها نذكر الآتي:

أ- **توفير الطاقة:** إعادة تدوير المزيد من المواد يعني استخدام موارد خام أقل في عمليات التصنيع. أي يتم تجنب إنتاج جميع الغازات الدفيئة التي كان سيتم إطلاقها من استخراج المواد الخام (بما في ذلك التنقيب والحفر والتكرير). على الرغم من أن بعض غازات الاحتباس الحراري يتم إطلاقها عن طريق نقل ومعالجة المواد المعاد تدويرها، إلا أنه توجد دائماً فائدة صافية على استخدام الموارد الخام أي أن المزيد من إعادة التدوير تعني كمية أقل من النفايات تنتهي في مطامر النفايات، مما يقلل من انبعاثات غازات مطامر النفايات. كما أن إعادة تدوير النفايات الورقية يقلل انبعاثات الغازات الدفيئة التي كان من الممكن أن تتولد من قطع الأشجار ومعالجتها وكذلك السماح للأشجار بمواصلة العمل باستهلاك ثاني أكسيد الكربون.

ويبين الشكل أدناه مقارنة قيم استهلاك الطاقة في حالة الاعتماد على النفايات مقابل استخدام مواد خام[88].

الشكل 7-8

مقارنة استهلاك الطاقة في حالة الاعتماد على النفايات مقابل استخدام مواد خام. (ميجا جول/كغ)



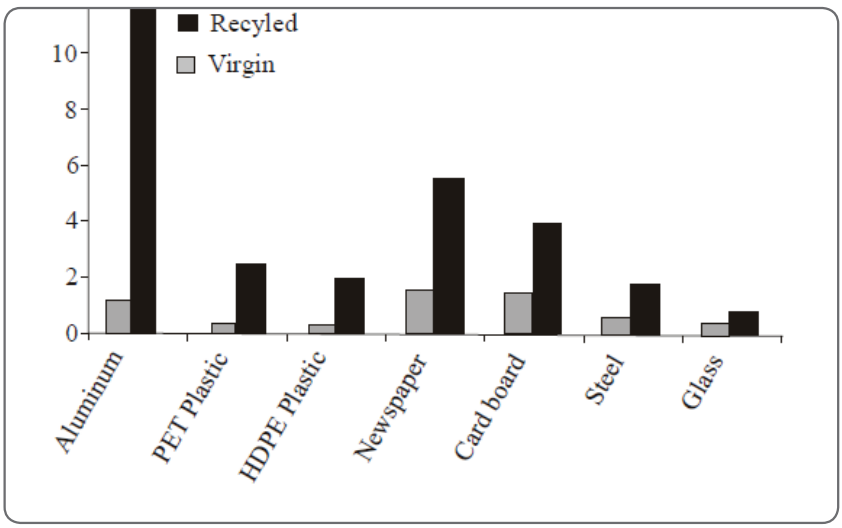
ب- **انبعاثات أقل للغازات الدفيئة:** يترافق انخفاض استهلاك الطاقة اللازمة للتصنيع في حالة الاعتماد على النفايات مع انخفاض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي.

يوضح الشكل أدناه انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بين المنتجات المصنعة من النفايات المعاد تدويرها والمنتجات المصنعة من المواد الخام

الشكل 7-9:

مقارنة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بين المنتجات المصنعة من النفايات المعاد تدويرها والمنتجات المصنعة من المواد خام

(CO2 kgeq /kg) المصدر نفسه.



ج- **التقليل من تلوث البيئة** الناتج عن التخلص من النفايات بالطمر (حماية الأراضي الزراعية) أو من الحرق المكشوف (حماية البيئة من المواد والانبعاثات السامة).

د- **تقليل الضغط على مطامر النفايات**، بحيث تستخدم لفترات زمنية أطول.

هـ- **تخفيض ميزانية عقود النظافة.**

و- **التقليل من اعتماد المصانع على المواد الطبيعية كخامات أساسية لمنتجاتها**، مما يؤدي إلى التقليل من استنزاف تلك المواد الطبيعية، وبالتالي المحافظة عليها. وهي من المبادئ الأساسية التي تقوم عليها التنمية المستدامة (Sustainable development)، وأيضاً خفض تكاليف التصنيع وبيع المنتجات المحلية بأسعار منافسة في السوق الدولية.

ز- تقليل الاعتماد على استيراد المواد الأولية.

ح- توفير فرص صناعية جديدة لأصحاب رؤوس الأموال وتوفير فرص عمالة جديدة.

ط- إقامة منشآت صغيرة ومتوسطة الحجم، وإحلال بعض المنتجات البديلة مثل إحلال منتجات اللدائن بدل منتجات الخشب.

ي - توفير الماء اللازم للصناعة.

7-8-4- متطلبات التصميم المساعد لتدوير النفايات:

لضمان نجاح أي منتج في تحقيق المتطلبات البيئية والتقنية والاقتصادية للتدوير وحماية البيئة والمتطلبات الفنية والاقتصادية الأخرى يجب مراعاة المتطلبات التالية:

أ- المتطلبات البيئية:

تُعد عملية التدوير لغرض الحصول على المواد الثانوية ملائمة بيئياً عندما يكون استهلاك الطاقة والمواد والانبعاثات وتلوث الماء والهواء والتربة أقل منها أثناء إنتاج مواد جديدة بنفس المواصفات.

أهم التساؤلات التي تطرح في مجال المتطلبات البيئية أثناء عملية تطوير وتصميم أي منتج جديد هي:

- هل طرائق الإنتاج والاستخدام قليلة التأثير البيئي وتحافظ على الموارد؟
- هل من الممكن تغيير طرق الإنتاج إلى أخرى أكثر ملاءمة للبيئة؟
- هل من الممكن تفكيك المنتج إلى أجزاء يمكن الاستفادة منها وتدويرها؟
- ما هي الأجزاء التي يمكن إعادة استخدامها؟
- ما هي الأجزاء التي يمكن إعادة تصنيعها؟
- ما هي العمليات الإنتاجية اللازمة لإعادة الاستخدام أو إعادة التصنيع؟

- ما هي الأجزاء التي لا يمكن إعادة تدويرها ويجب بالتالي التخلص منها؟
- ما هي التكلفة المطلوبة لإعادة التدوير والتخلص من النفايات والبقايا؟
- هل من الممكن تحميل تكلفة المتطلبات البيئية على سعر المنتج النهائي؟
- هل من الممكن تقليل التكلفة بإجراء تعديلات على التصميم وتجنب استخدام بعض المواد، وهل من الممكن منع استخدام أدوات تعليب تستخدم أكثر من مادة واحدة لتسهيل عملية تدويرها، وكذلك جعل المنتجات تحتوي على أقل ما يمكن من مواد، لتسهيل فرزها؟
- ما أهمية المنتج الملائم للبيئة بالنسبة للزبون؟
- ما هي القوانين واللوائح الواجب مراعاتها؟

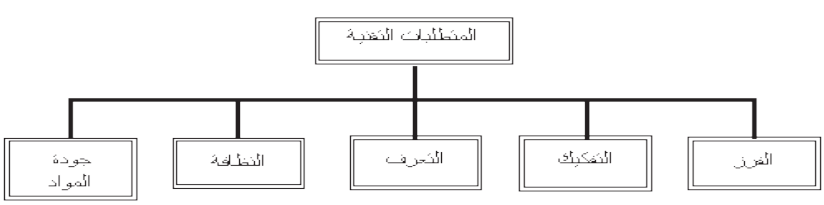
ب- المتطلبات التقنية:

لمعالجة النفايات وإعادة تدويرها يجب البحث عن التقنيات المناسبة والتي يمكن من خلالها إنتاج مواد تشغيل تتساوى مع المواد الجديدة من ناحية المواصفات، أو استخدام النفايات لإنتاج منتوجات أخرى أقل جودة (downcycling) في حالة وجود إمكانية التسويق والقبول لدى المستهلك.

ويعتمد التدوير وجودة المواد المنتجة بشكل كبير على عدة عوامل ومتطلبات تقنية، كما مبين في الشكل أدناه.

الشكل 7-10:

المتطلبات التقنية لعملية التدوير.

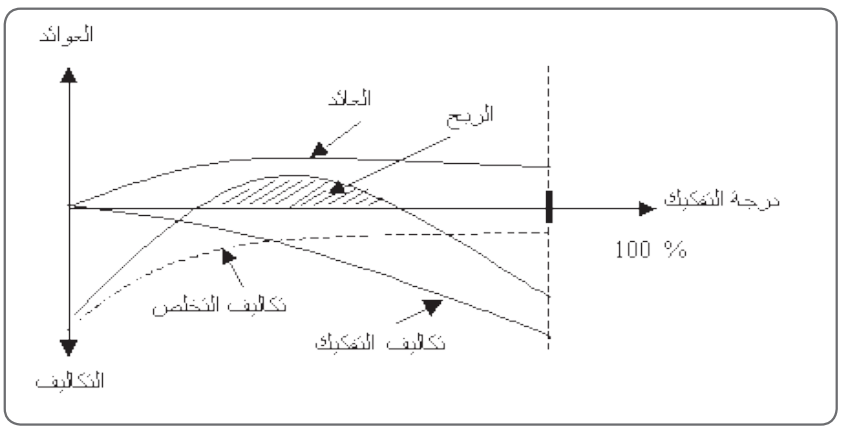


ج- المتطلبات الاقتصادية:

تُعد مسألة التكلفة الاقتصادية لعملية التدوير عنصراً هاماً يجب أخذه في الاعتبار لأن العديد من التقنيات والإمكانيات المتاحة يتم تجنبها نظراً لارتفاع تكلفتها. وهي تعتمد بشكل رئيس على شكل وتركيبة المنتج والمواد الداخلة في صناعته. فكلما ازدادت درجة التفكيك والفرز للمكونات والمواد وبالتالي تكاليفها انخفض الربح الذي يمكن تحقيقه كما مبين في الشكل (7-11).

الشكل 7-11:

التكاليف والعوائد لعملية إعادة التدوير



7-8-5- قواعد وإرشادات للتصميم المساعد للتدوير:

من خلال استعراض المتطلبات البيئية والتقنية والاقتصادية يمكن استخلاص المواصفات والمتطلبات المساعدة للتدوير والمتمثلة في عدة خواص هي: خاصية التغيير والتطوير، خاصية التفكيك، خاصية المواد.

أ- خاصية التغيير والتطوير:

كل ما يمكن إعادة استخدامه يفضل عدم تصنيعه من جديد، وبالتالي يوفر مواد خاماً وطاقة وتكلفة. ومع زيادة عمر المنتج وطول مدة الاستعمال تقل كمية

النفايات. أهم شروط عملية إعادة الاستعمال هي تطبيق مفهوم توحيد القياس (standardization) للمكونات والأجزاء.

ولإنجاح عملية تدوير المنتج يجب السعي لتطبيق الاستراتيجية الهندسية التالية، كما مبين في الشكل أدناه:

الشكل 7-12:

الاستراتيجية الهندسية لتدوير المنتج.

ب- خاصية التفكيك:

تتمثل أهمية خاصية التفكيك وفصل المكونات والمواد في الآتي:

- تفكيك الأجهزة والمعدات ونزع المكونات والأجزاء لإجراء الصيانة أو الاستبدال أو التطوير.
- تفكيك المنتج كلياً للمواد الداخلة في صناعته وفصلها عن بعضها البعض لإعادة تصنيعها.

أهم النقاط التي يجب مراعاتها هي:

- الحد الأدنى من تكاليف التفكيك.
- الحد الأقصى من المواد القابلة للتدوير مع مراعاة الحد الأدنى من التكاليف.
- الحد الأدنى من تكاليف التخلص من المواد الخطرة ومعالجتها.

ويبين الجدول (7-1) إرشادات وقواعد تصميمية لخاصية التفكيك.

الجدول 7-1:

إرشادات وقواعد تصميمية لخاصية التفكيك.

خاصية البنية والتركيبة	اختيار بنية وتركيبة الجهاز التي تساعد على تفكيك الجهـاز إلى أقصى حد من التفكيك بشكل بسيط وسريع بدون استعمال معدات خاصة حتى يمكن إعادة استعمال أو إعادة تصنيع المكونات والأجزاء بشكل سهل، ويستحسن استخدام تركيبة وبنية تساعد على تطبيق عملية التفكيك المتزامن
خاصية التفكيك	استعمال الروابط والمثبتات سهلة التفكيك بـدون استعمال أدوات خاصة وبدون تكلفة إضافية. تفضيل روابط (الشكل القـوة) على روابط (المادة) وهـذا يتطلب سهولة التعرف على أماكن الربط والتثبيت وتجنب الصدأ والأوساخ.

ج- خاصية المواد:

تتطلب هذه الخاصية استعمال مواد يمكن فصل بعضها عن بعض بشكل بسيط وسريع وبدون استعمال مواد خطرة وتجنب تعدد مدخلات العملية الإنتاجية والعمل على إنتاج منتجات مصنعة من مادة واحدة فقط، ويبين الجدول أدناه إرشادات وقواعد تصميمية لخواص المواد.

الجدول 7-2:

إرشادات وقواعد تصميمية لخواص المواد.

خاصية التعدد	يفضل إنتاج منتج من مادة واحدة فقط أو على الأقل تقليل تعدد المواد المستخدمة (الشيء غير المستخدم لا يجب تفكيكه أو معالجته أو إعادة تصنيعـه أو التخلص منه)
خاصية الفصل والتجزئة	عملية الربط والخلط بين المواد المختلفة وخصوصاً بين المواد القابلة للتدوير والمواد الخطرة الضارة يجب أن تختار بشكل يضمن عملية فصلها إلى أجزاء غير متداخلة ونقية بسهولة وبتكلفة بسيطة.
خاصية الانسجام	في حالة عدم إمكانية إنتاج منتوج من مادة واحدة وضرورة استعمال خليط من المواد يجب استعمال المواد القابلة للتدوير متى أمكن.

خاصية الانتفاع	العمل على استخدام المواد القابلة لإعادة التدوير بتكاليف قليلة (المعادن/ اللدائن) وتجنب استعمال المواد غير القابلة لإعادة التدوير.
خاصية التخلص والمعالجة	العمل على تجنب استخدام المواد الخطرة وغير القابلة للمعالجة أو التي تتطلب تكاليف عالية لمعالجتها، وعند الاضطرار إلى استخدامها يجب استعمالها على حدة وعدم استخدامها مع مواد أخرى.
خاصية الترميز	يجب ترميز كل المنتجات بشكل جيد وواضح مما يسهل عملية التعرف على المواد الداخلة في الإنتاج بالإضافة لطرق التفكيك والمعالجة.

7-8-6- تدوير النفايات الورقية والكرتون:

يفضل تصنيف الورق حسب درجته، مثل ورق الصحف والكرتون والكتب والورق المخلوط.

تحتوي النفايات المنزلية على نسبة من الورق تتراوح بين 8% و 18 %، وذلك في صور عدة مثل المجلات والكتب القديمة والأكياس الورقية والكرتون والعبوات المختلفة. ويفيد استرجاع هذه النفايات في تأمين نسبة عالية من الورق والكرتون اللازم للاستهلاك.

لم تعد المجلات الملونة مهمة في عملية الاسترجاع بسبب استخدام كميات متزايدة من الحبر الخاص واللاصق، وهذا يجعل تدويرها أمراً صعباً تقنياً، كما أن وضع ورق التغليف والعبوات الكرتونية غير مشجع نتيجة لاستعمال الطلاء أثناء تصنيعها، كما أنها تلوث المواد المراد تغليفها.

يُعد استرجاع أوراق الصحف والكتب القديمة مهماً جداً، فهي تتألف من ألياف سيللوزية ومن السهل معالجتها باستخدام نفس وسائل إنتاج الورق من لب الخشب، وتساهم صناعة الورق من النفايات المسترجعة في الحفاظ على الغابات. كما أن الطاقة اللازمة للتصنيع أقل بنسبة (25-35) % من الطاقة المستهلكة في حالة استخدام الخشب.

تعتبر عملية تصنيع الورق وعجينة الورق خامس أكبر مستهلك صناعي للطاقة في العالم، كما أن كمية الماء المستهلكة لإعادة التصنيع أقل بنسبة (% 50-60) من الكمية اللازمة للتصنيع في حالة اللجوء إلى الخشب (تصنيع الورق من خاماته الأولية)، ويقلل التلوث الهوائي بنسبة 95% بالإضافة إلى أن كل طن يوفر 0.027 طن من تلوث الهواء، ويوفر تدوير الطن الواحد من الورق 17 شجرة، وحوالي 28000 لتر من الماء. وتصنيع كل واحد طن من الورق يتطلب (3.5-2) طن من الشجر.

يعد تدوير الورق عملية اقتصادية من الدرجة الأولى طِبقاً لإحصائية وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة الأمريكية، حيث يوفر إنتاج طنٍ واحد من الورق من نفايات ورقية (4100كيلووات/ساعة) طاقة، و 28 متراً مكعباً من المياه، بالإضافة إلى نقص في التلوث الهوائي الناتج بمقدار 24 كغ من الملوثات الهوائية. وبالرغم من ذلك، فإنه يتم في الولايات المتحدة الأمريكية تدوير 20.9 طنّاً ورقيّاً سنويّاً فقط مقابل 52.4 طنّاً من الورق يتم التخلص منها دون تدوير. إنّ الورق المدور يستخدم في طباعة الجرائد اليومية. يعتبر تدوير الورق من أكثر عمليات التدوير في العالم، وتعتمد في موادها الخام (الورق المستعمل) على الشركات والجامعات والمدارس ومكاتب الخدمات.

و نبين فيما يلي خطوات تدوير الورق:

1- **التصنيف**: يجب أن لا يكون الورق مختلطاً بالشوائب مثل المعادن وبقايا الأكل.

2- **التجميع والنقل**: يتم تخصيص صناديق خاصة في كل شركة وسيارة لجمع هذه الأوراق في فترات محددة سلفاً.

3 - **التخزين**: تخصص مخازن خاصة لتجميع صناديق الورق إلى حين إعادة التصنيع.

4- **مرحلة التقطيع والخلط والتصفية:** وفيها تتم إضافة الماء ومواد كيماوية أخرى إلى الورق، وتحريك المزيج إلى ان يصبح متجانس، ثم تمريره من خلال مناخل لتصفيته من المعادن التي قد تكون عالقة كالدبابيس.

5- **الغسيل:** وهذه العملية تتم في حاويات قمعية، حيث يصب المحلول الناتج فيها بشكل دوري فتترسب الشوائب الثقيلة أسفل الإناء وتبقى الشوائب الخفيفة أعلى الإناء بينما تمر عجينة الورق من فتحة في وسط الإناء يتم اختيارها بالتصميم.

6- **إزالة الحبر:** وتتم على مرحلتين، الأولى عن طريق الغسيل بالماء، والثانية عن طريق تمرير تيار من فقاعات الهواء داخل الوعاء، ثم يتم قشط الحبر المتجمع على سطحه.

7- **مرحلة التنقية والتبيض وإزالة الألوان:** تتم بالتحريك العنيف للخلطة مع إضافة مواد تبيض مثل مركبات الكلور وبيروكسيد الهيدروجين.

8- **مرحلة صب الورق:** يصب الورق من خلال عدة أنابيب على سير متحرك به ثقوب صغيرة لإزالة الماء الزائد، ثم يمرر من خلال أسطوانات لتحديد السمك المطلوب للورق.

9- **يمرر الورق على سير طويل به تيارات من الهواء الساخن للتجفيف.**

10- **يتم لف الورق في أسطوانات (رولات)** من الورق حسب المواصفات المعتمدة للشركة المصنعة، ثم تنقل لاستعمالها.

7-8-7- تدوير الحديد:

ويعتبر الحديد من النفايات التي يمكن إعادة تدويرها بنسبة 100%، ولعدد لا نهائي من المرات، وتحتاج عملية تدوير الحديد لطاقة أقل من الطاقة اللازمة لاستخراجه من السبائك.

تقسم المعادن الحديدية حسب درجاتها، وأهمها صفائح الحديد الرقيقة، وحطام الماكينات الثقيلة والحديد الزهر. والمحتوى الرئيس من المعادن الحديدية في النفايات يتكون من علب الصفيح والأواني الفارغة. أمّا المعادن غير الحديدية فتحتاج إلى مهارة يدوية لتصنيفها، وأهمها الألمنيوم والنحاس والرصاص والزنك، وتعتبر عالية القيمة عند بيعها.

يتركز حديد النفايات المنزلية في علب الصفيح والمسامير والأجهزة الكهربائية والأدوات المنزلية. وهناك صناعات يمكنها الاستفادة من خردة الحديد (كمادة خام)، كبديل لاستيراد المواد الخام. وتعمل المصانع المختصة على استرجاع الحديد من النفايات عبر التقاطه بالمغناطيس، وتقطيعه وصهره في أفران خاصة لصنع القضبان الحديدية. كذلك بالإمكان استخلاص الحديد من النفايات وتقطيعه ومن ثم بيعه من دون أن يصهر.

تسترجع علب الحفظ والتغليف الحديدية من النفايات المنزلية، يصاحب هذا الاسترجاع عملية معالجة النفايات بالتحويل إلى محسنات التربة (الكومبوست) أو بالترميد. ويفضل استرجاع المواد الحديدية بالفصل المغناطيسي بعد تقطيع النفايات، وتعرض المواد الحديدية المسترجعة للحرق عند درجة حرارة منخفضة لإزالة الملوثات العضوية مثل مواد الطلاء والمطاط. ولوحظ أن الطاقة المستخدمة لإنتاج حديد من المادة الخام أكثر من 2-4 مرات من الطاقة المطلوبة من مواد التدوير.

يوجد ثلاثة استعمالات ممكنة للمواد الحديدية المسترجعة[89]:

- حديد ترسيب في عملية التزحيل لإغناء فلزات النحاس.
- مصدر للقصدير الذي يدخل في صناعة علب الحديد.
- صناعة أسياخ وقضبان الحديد.

أ- حديد الترسيب

تحتوي فلزات النحاس على متنوعات من المركبات وتتطلب العديد من تقنيات التكرير.

تعالج الفلزات الغنية بالأكاسيد بطريقة الحل بالإزاحة التي تستند إلى تبادل شوارد النحاس الحديد، يمكن أن يكون مصدر الحديد المستخدم في تكرير الفلزات النحاسية، علب الحفظ الحديدية المقطعة التي ازيل منها القصدير.

لتنفيذ عملية التكرير، توضع الفلزات النحاسية على أكوام من قطع علب الحفظ الحديدية ثم يسكب عبر هذه الأكوام محلول من حمض الكبريت بتركيز من 10%- 5 وعند درجة الحرارة المحيطة لا يتفاعل حمض الكبريت الممدد في درجات الحرارة العادية مع النحاس لكنه يتفاعل مع أكاسيد النحاس الموجودة في الفلزات وتتشكل كبريتات النحاس[90]، عندما تصل كبريتات النحاس إلى قطع علب الحفظ الحديدية فإن النحاس يترسب على القطع الحديدية وفق التفاعلين التاليين كما في العلاقتين:

$$CuO + H2SO4 \longrightarrow CuSO4 + H2O$$

$$CuSO4 + Fe \longrightarrow FeSO4 + Cu$$

يغسل النحاس المترسب ويجمع ومن ثم يصهر.

ب- استرجاع القصدير:

يستند استرجاع القصدير من علب الحفظ الحديدية إلى تفاعل كيميائي قاعدي، حيث تعالج قطع وكسارة علب الحفظ الحديدية بمحلول ساخن من هيدروكسيد الصوديوم (الصودا الكاوية) بوجود مادة مؤكسدة مثل نترات الصوديوم، ينتج عن هذا حل للقصدير الموجود في كسارة العلب المعدنية وتتشكل ستانات الصوديوم، يسترجع القصدير من ستانات الصوديوم إما على شكل معدني

أو بوساطة الترسيب الكهربائي وإما على شكل أكسيد بوساطة معادلة محلول ستانات الصوديوم بحمض الكبريت.

ج- صناعة أسياخ وقضبان الحديد:

بعد تقطيع علب الحفظ الحديدية وحرقها في درجة حرارة منخفضة لإزالة الملوثات العضوية، تنفذ عملية الصهر لتشكيل أسياخ وقضبان الحديد. وتحزم النفايات الحديدية المسترجعة من معمل تحويل النفايات المنزلية إلى محسنات التربة في مدينة دمشق، في بالات وترسل إلى مصنع الحديد في مدينة حماة.

7-8-8- استرجاع الألمنيوم:

تحتوي النفايات البلدية على الألمنيوم بعدة أشكال مثل علب المشروبات الغازية وصفائح الألمنيوم وأوعية التعبئة غير المرتجعة وأدوات الألمنيوم القديمة وغيرها. وتمثل تكاليف تدوير الألمنيوم 20% فقط من تكاليف تصنيعه من المادة الخام، ولهذا السبب فإن نفايات الألمنيوم المدورة تكون مرغوبة من قبل المصانع المنتجة. وتحتاج عملية تدوير الألمنيوم إلى 5% فقط من الطاقة اللازمة لإنتاج الالمنيوم من خام البوكسيت. ولمعدن الألمنيوم المسترجع من النفايات أهمية اقتصادية كبيرة، حيث وُجد في أوروبا أن معظم الاحتياجات من الألمنيوم تتم من المواد الخام الثانوية مثل نفايات العلب والتقطيع.

إن جميع نفايات الألمنيوم صالحة للاسترجاع واعادة التدوير. وتعتبر حالياً علب المشروبات الغازية الفارغة من أهم صور الألمنيوم وأكثرها شيوعاً من بين النفايات المنزلية، وتبين أن مصادر خام البوكسيت لا تفي باحتياجات الأسواق العالمية من هذه العلب، لذلك كان من الضروري استرجاع العلب الفارغة من النفايات عن طريق فرز النفايات، أو بوضع سلال خاصة لهذه العلب في الشوارع والساحات العامة والمنتزهات. تضغط هذه العلب لتقليص حجمها قبل إرسالها للمصنع. وتعالج علب الألمنيوم الواصلة للمصنع باتباع الخطوات الآتية:

- تقطيع العلب إلى قطع صغيرة باستخدام آلات خاصة، إزالة الألوان عنها، ويتم جمع غبار وأتربة الألمنيوم المتصاعدة في هذه المرحلة بأجهزة تنقية الهواء منعاً لتلوث جو المصنع ومنع الانفجارات (إذا توفرت ظروف ملائمة فإن هذه الأتربة تستطيع الدخول في تفاعل تنتج عنه كمية كبيرة من الحرارة).
- إزالة المواد الحديدية بإمرار القطع الصغيرة على مغناطيس، ثم تزال الأوراق والمواد البلاستيكية بإمرار تيار شديد من الهواء، وينقى الهواء الخارج من هذه العملية قبل طرحه في الجو المحيط.
- تذويب الألمنيوم المقطع في مصهر كبير.
- يؤخذ المصهور ببوتقات مبطنة بالقرميد إلى فرن انتظار، حيث يعاد ضبط تركيب المصهور ثم يصب على شكل سبائك رقيقة.
- تصب المادة المصهورة في قوالب مخصصة، حيث أن كل سبيكة ألمنيوم بإمكانها صنع 1.5 مليون علبة.

يحتوي ورق الألمنيوم على مكونات مختلفة، وعادةً ما تتم إعادة تدويره مع بقية خرد الألمنيوم لصنع قطع غيار السيارات، والتي تكون أخف وأفضل استهلاكاً للوقود

ومن ميزات تدوير نفايات الألمنيوم:

- يمكن تدويره لمرات عديدة، إذ أن الألمنيوم يتحمل عمليات تدوير متعاقبة دون تغير في مستوى جودته أو انخفاض مدى متانته.
- تدوير علبة ألمنيوم واحدة توفر طاقة تكفي لتشغيل جهاز التلفاز لثلاث ساعات، أو بمقدار نصف جالون من البترول.
- يوفر تدوير الألمنيوم 95% من الطاقة التي سيتم استهلاكها في حال تصنيع الألمنيوم من خاماته الأصلية، وبالتالي يقلل تلوث الهواء بنسبة 95%.

- يوفر تدوير رطل واحد (الرطل = 0.4536 كغ) من الألمنيوم من خامات البوكسيت (أكسيد الألمنيوم الثلاثي) بمقدار 1.8144 كغ.

7-8-9- استرجاع النفايات الزجاجية:

يتنوع الزجاج في النفايات المنزلية ما بين العبوات الزجاجية للمشروبات والمواد الغذائية والأدوات المنزلية وغير ذلك. وبالإمكان تدوير الزجاج المكسور وغربلته ليكون خالياً من الشوائب، ثم يصهر لتكوين عجينة زجاجية يستفاد منها في إنتاج مواد زجاجية جديدة. عادةً ما يكون الزجاج الملون والزجاج الشفاف منفصلين حين طحن النفايات الزجاجية.

تستخدم نفايات الزجاج مع خلطة تصنيع الزجاج لتقليل الطاقة المستهلكة في صناعة الزجاج، فبدون نفايات الزجاج والاعتماد على الرمل يلزم درجات حرارة تصل إلى 1600 درجة مئوية. ولتخفيض درجة الحرارة اللازمة يُضاف مكسور الزجاج الناتج كنفايات تصنيع في مصانع الزجاج ونفايات الزجاج إلى المواد الأولية بنسب تتراوح ما بين (20%-30)، وبالتالي تقل كمية الخامات اللازمة للتصنيع، وتخفيض الطاقة اللازمة للتصنيع مما يقلل من التلوث البيئي. ويمكن استخدام الواح الزجاج المكسور في صناعة بودرة الزجاج التي لها تطبيقات صناعية متنوعة كورق الزجاج ومواد كاسرة للأشعة وغيرها.

من ميزات تدوير الزجاج مايلي:

- يمكن إعادة تصنيع الزجاج بنسبة 100%.
- إعادة تصنيع الزجاج يساهم في تقليل استهلاك الطاقة.
- إعادة تصنيع الزجاج يقلل نسبة التلوث في الهواء إلى 20% والمياه 50%.
- تدوير طن واحد من الزجاج يوفر ما يقارب أكثر من طن واحد من المصادر الطبيعية أو المواد الخام الذي يصنع منها كالآتي:

0.603 كغ من الرمل.

196.409 كغ من كربونات الصوديوم.

196.409 كغ من الحجر الجيري.

68.493 كغ من الفلدسبار.

7-8-10- تدوير النفايات البلاستيكية

ينقسم البلاستيك إلى أنواع عديدة يمكن اختصارها في نوعين رئيسين هما البلاستيك الناشف (Hard Plastic) وأكياس البلاستيك (Thin Film Plastic) .

ارتفعت في العقود الخمسة الأخيرة نسبة المواد اللدنة في النفايات البلدية، خاصة بعد اكتشاف المواد البوليميرية مثل: البولي أوليفين، والبولي ستيرين التي حلت محل مواد التغليف السابقة (الورق، الصفائح المعدنية، والأوعية الزجاجية). ويعود هذا للمواصفات الممتازة للبوليميرات كمواد تغليف نموذجية، فهي صالحة لتغليف كافة أنواع المواد ومقاومة للعوامل الجوية وصامدة أمام المواد المخرشة والمسببة لتآكل المعادن، كما أنها لدنة مرنة لا تنكسر بسهولة كالزجاج ولا تملك الأخطار الناجمة عن ذلك، إضافة إلى أن مادة مثل البولي ايثلين خفيف الكثافة (PELD) الشفافة والرخيصة لدرجة تجعلها منافساً حقيقياً لجميع مواد التغليف التقليدية ويمكن صنعها بأشكال مختلفة دون الحاجة إلى درجات الحرارة اللازمة لصنع الزجاج أو المعادن.

يعتمد تدوير البلاستيك على النفايات المنزلية والتجارية التي تصل نسبة البلاستيك فيها إلى ما يقرب من 10% غير أنها تختلف في خصائصها وقيمتها الاقتصادية والتجارية حسب المجتمع الذي تخرج منه.

ويمكن تصنيف البلاستيك إلى فئتين هما[91]:

- **البلاستيك الحراري**(Thermoplastic) ، الذي يمكن استرجاعه بسهولة عن طريق الصهر، تضم هذه الفئة بشكل أساس مادة البولي ايتلين الخفيف والعالي الكثافة المستعمل في صناعة عبوات الحليب، والبولي فينيل كلوريد (P.V.C) المستعمل في صناعة الأنابيب وعزل الأسلاك وعبوات الزيوت، وأخيراً البولي ستيرين المستخدم في إنتاج عدد من المنتجات، مثل أدوات المائدة البلاستيكية وأواني الطعام التي تستخدم لمرة واحدة، وعلب الأقراص المضغوطة، وإطارات لوحة المركبات، ومجموعات النماذج البلاستيكية القابلة للتجميع، والعديد من الأشياء الأخرى التي تتطلب استعمال بلاستيك صلب واقتصادي.

- **البلاستيك غير الحراري:** تضم هذه الفئة باقي أنواع المواد اللدنة التي لا يمكن إعادة تشكيلها حيث أنها تتكون من مركبات ذوات شبكة متصلة فيما بينها بشكل صلب، أي هذه الفئة غير قابلة للتدوير ويجب عزلها عن البلاستيك الحراري.

لا يعتبر استرجاع المواد اللدنة موضوع اقتصادي فقط لأنه يساهم أيضاً في الحفاظ على المواد الأولية ويوفر مبالغ تصرف للتخلص من النفايات بشكل عديم الفائدة، ويساهم أيضاً في حماية البيئة من هذه النفايات الثابتة بيئيا غير القابلة للتحلل الحيوي وبالتالي لا تستطيع الطبيعة دمجها مع الدورات البيئية للعناصر.

ينتج عن التدوير الأول الذي يحول النفايات البلاستيكية إلى بلاستيك منتجات لها خواص مشابهة للبلاستيك الأصلي، أما التدوير الثاني فينتج عنه منتجات ذات خواص فيزيائية وكيميائية أردأ من البلاستيك الأصلي.

إن اللدائن المدورة من النفايات البلدية يمنع عالمياً استخدامها في تغليف المواد الغذائية وتعبئتها، بل يمكن استخدامها لتصنيع نعول الأحذية وغيرها بسبب الملوثات التي يمكن أن تكون عالقة بها، أمّا بلاستيك الأكياس فيتم إعادة بلورته في

ماكينات البلورة، وبعد تكسير البلاستيك الناشف يمكن إعادة استخدامه في صنع مشابك الغسيل، والشماعات، وخراطيم الكهرباء البلاستيكية.

إن خطوات تدوير البلاستيك تتلخص بالمراحل الآتية:

أ- **الفرز:** هي أهم مرحلة في تدوير البلاستيك، حيث يتطلب الحصول على نوعية جيدة من البلاستيك فرزاً جيداً للنفايات المنزلية والتجارية، لأن البلاستيك يفقد خواصه في حال وجود شوائب من أنواع بلاستيكية أخرى، ويتطلب الفرز عمالة كبيرة، بما يخلق فرص عمل كثيرة.

يتم جمع المادة البلاستيكية وفرزها بطرق عديدة، منها: تجميعها بالمنازل والمحلات التجارية والفنادق وبيعها لأقرب محل خردة، أو لمشتري الخردة المتجولين بالشوارع، أو جمعها من قبل النباشين/النكاشين في مقالب القمامة.

ب- **الغسل:** يتم غسل البلاستيك بمادة الصودا الكاوية، أو الصابون السائل المركز مضافاً إليه ماء ساخن، حيث يتطلب التدوير أن تكون المادة البلاستيكية خالية من الدهون والزيوت والأجسام الغريبة.

ج- **تقطيع البلاستيك:** يتم تقطيع البلاستيك إذا كان من النوع الصلب (Hard Plastic) في ماكينة تقطيع، وذلك بمرور المواد البلاستيكية بين الأسلحة الدوارة الثابتة ليتم طحنها، ويتحكم في حجم التقطيع غربال ذو فتحات محددة لتحديد حجم القطع (الحبيبات) المنتجة.

د- **التخريز:** يعاد غسل الحبيبات لارتفاع قيمتها الاقتصادية لتوضع في ماكينة التخريز التي تحول قطع البلاستيك لحبيبات (خرز) لتصبح «مادة خام» يمكن الاستفادة منها لصنع منتجات بلاستيكية جديدة.

هـ- **التشكيل:** يشكل البلاستيك بطرق متعددة حسب المنتج المطلوب، مثل:

- **طريقة الحقن:** وذلك باستخدام الحاقن الحلزوني، وهو جهاز مكون من فرن صهر، لتدوير مخلفات البلاستيك كمرحلة أولى، ثم يقوم الحاقن بوضع مصهور البلاستيك خلال قالب للحصول على الشكل المطلوب.
- **طريقة النفخ:** وينتج من خلالها المنتجات البلاستيكية المفرغة، مثل كرة القدم.
- **طريقة البفق:** لإنتاج المنتجات البلاستيكية مثل الخراطيم، وكابلات الكهرباء.
- **التبريد:** يتم ذلك بمرور المنتج على حوض به ماء.

ومن ميزات تدوير البلاستيك مايلي:

- تقتل أكياس البلاستيك وغيرها من منتجات البلاستيك الملقاة في المحيط مليون مخلوق بحري سنوياً.
- تدوير رطل واحد (الرطل = 0.4536 كغ) من البلاستيك (code=pet) يوفر طاقة تقارب 12.000 (btus).

قوارير البلاستيك تحتاج أكثر من 200 سنة لتتحلل في المطمر.

ونشير إلى أن صناعة تدوير البلاستيك توصف بأنها الاستثمار المضمون، لأن الطلب يزداد عليها يوماً بعد يوم، حيث أنه يدخل في معظم الصناعات، ويناسب جميع المستويات الاقتصادية، فعملية تدوير البلاستيك تطرح فرصاً استثمارية عديدة للأفراد.

الفصل الثامن

التحويل إلى محسنات التربة (الكنمبوست)

Composting

هو تحلل حيوي للمواد العضوية في النفايات الصلبة متحكم فيه بوجود الأكسجين تحت ظروف معينة. ويتم اختيار تقنية التحويل إلى كمبوست المناسبة اعتمادا على نوعية النفايات (خضراء أو منزلية) وكميتها وكذلك مساحة الأرض المتوفرة وقربها وبعدها عن المباني السكنية. ويؤثر مدى توافر التقنية في البلد عاملاً مهماً في الاختيار، حيث تفضل التقنيات المغلقة في حالة القرب من المباني السكنية وعدم توفر مساحات الأراضي الكبيرة،بعد اختيار تقنية التخمير الملائمة من حيث التكلفة والنواحي البيئية يتم وضع مخطط لسير العمليات ضمن المحطة.

8-1- تعريف التحويل إلى محسنات التربة (الكمبوست)

هو تحلل حيوي للمواد العضوية في النفايات الصلبة متحكم فيه بوجود الأكسجين (تحت ظروف هوائية)، والدفء (التسخين الذاتي للنفايات)، وإعادة المواد إلى دورتها الطبيعية. هذه الطريقة تساعد على تقليل حجم النفايات إلى 75% عن طريق التخمر الذي تُحدثه البكتيريا والكائنات الحية الدقيقة الأخرى، ويُفضّل استعمال هذه الطريقة مع أنواع معينة من النفايات وليس النفايات أخرى كالنفايات الطبية. تساعد عملية التحويل إلى محسنات التربة على تقليل المخاطر الصحية المصاحبة للتخلص من نفايات قابلة للتحلل الحيوي وتلك المحتوية على جراثيم ممرضة عبر تطهيرها تحت تأثير درجة الحرارة.

8-2- تصنيف عناصر النفايات الصّلبة المستخدمة لصناعة الكمبوست:

تُصنّف عناصر النفايات الصّلبة عند صناعة الكمبوست إلى أربعة أقسام وهـــي[92]:

أ- **عناصر ضرورية:** أي مادة مصدرها النباتات يمكن استخدامها لصنع الكمبوست، كالأوراق اليابسة أو الخضراء، والعشب، ومخلفات الحدائق، وبقايا الخضروات والفواكه عند تحضير الطعام، والمواد العضوية سهلة التحلل الحيوي.

ب- **عناصر مقبولة:** كنشارة الخشب، وقطع الأخشاب صغيرة الحجم بحيث يكون حجمها أقل من 1سم^3، وروث الحيوانات وذرق الدجاج.

ج- **عناصر قابلة للاسترجاع:** كالورق، والزجاج، والمعادن، والمنسوجات، واللدائن، وهذه العناصر يمكن تدويرها.

د- **عناصر مرفوضة:** قد تكون من المواد القابلة للاسترجاع أو خاملة وغير مفيدة، ولا تفيد في عملية التحويل إلى كومبوست، كالأتربة والرماد.

ونشير هنا الي أن هناك مواد كاللحوم، والعظام، والأطعمة الدّسمة، لا ينصح باستخدامها لصناعة الكمبوست لأنها تجذب القوارض والأفاعي وغيرها.

تتحول المواد العضوية بعد أن تجمع في وعاء ما إلى مواد عضوية بسيطة. حيث تعمل البكتيريا على تحليل النفايات إلى دبّال ومواد مغذية متاحة للاستخدام من قبل النباتات المزروعة، وتكون تلك المواد محتوية على نسبة معينة من الكربون والنتروجين.

إن نشارة الخشب مثلاً تحتوي على نسبة 500 جزء من الكربون مقابل كل جزء واحد من النيتروجين. أمّا مخلفات الطعام فتحتوي على 15 جزءاً من الكربون مقابل كل جزء واحد من النيتروجين. المهم في ذلك هو أن نعرف المواد الغنية بالنيتروجين وتلك الغنية بالكربون. إن البكتيريا الهوائية تعمل بشكل جيد فإذا كان ناتج الخلطة المعدة للتحويل فيه 30 جزء من الكربون مقابل كل جزء واحد من النيتروجين (1:30) ويمكن تحقيق ذلك عن طريق خلط مواد غنية بالنيتروجين مع المواد الغنية بالكربون.

- **من المواد الغنية بالنيتروجين:** الخضراوات، وفضلات الطعام، والأعشاب، وروث الحيوانات ...إلخ.

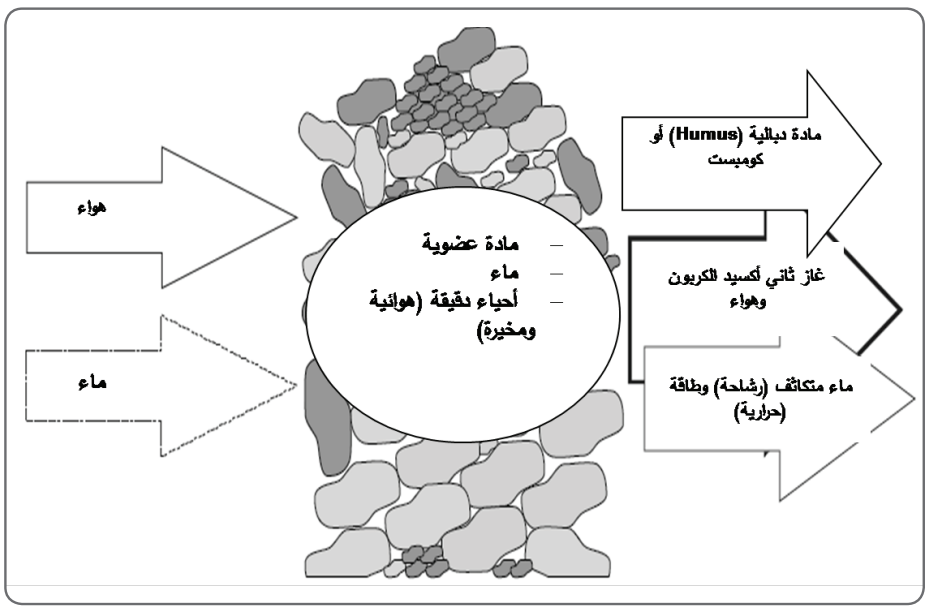
- **ومن المواد الغنية بالكربون:** الأشجار، والقش، والورق العادي، قطع الخشب الصغيرة، ونشارة الخشب ... إلخ.

تتم عملية التحويل للمواد العضوية الموجودة ضمن النفايات بواسطة أحياء دقيقة، حيث تقوم هذه الأحياء الدقيقة بوجود الأكسجين والماء بتحويل المادة العضوية المنحلة في الماء إلى مادة عضوية قابلة للامتصاص من قبل النباتات، وينطلق عن عملية التحلل الهوائي غاز ثاني أكسيد الكربون وحرارة التفاعل نتيجةً لنشاط الأحياء الدقيقة المسؤولة عن التحلل كما يظهر في الشكل (8-1)، وينتج عن

عملية التحويل منتج شبه ترابي ذو كتلة حجمية منخفضة نسبياً، ويحتوي على تركيز ضعيف نسبياً من عناصر مخصبة كالنتروجين والبوتاسيوم والفوسفور، لكن يمكن أن يضاف هذا المنتج إلى التربة لتحسين خواصها الزراعية.

الشكل 8-1:

مبدأ المعالجة بطريقة التحويل إلى محسنات التربة.



تتألف المواد العضوية الموجودة ضمن النفايات من مجموعة من المواد الطبيعية السهلة التفكك ومن مواد غير عضوية. وتصنف المواد العضوية حسب درجة التفكك كما يلي:

- **المواد سهلة التفكك (ساعات وأيام):** السكريات والنشويات، البروتينات والدهون.
- **المواد متوسطة التفكك (أسابيع وشهور):** السيللوز والليغنين.
- **المواد صعبة التفكك:** الجلود، المطاط، البلاستيك.

8-3- أقسام محطات تحويل النفايات إلى كمبوست وسير العمليات فيها

يعد تحويل النفايات إلى كومبوست أحد الصناعات العضوية والحيوية، وهناك إمكانية لإنتاج الكمبوست يدوياً بدون استخدام تجهيزات ميكانيكية وذلك على مستوى الحدائق الخاصة باللجوء إلى صناديق صغيرة الحجم مفتوحة من الأسفل يتم وضعها على الأرض الترابية المرصوصة مباشرة في الحديقة أو في الحقل، وتكون هذه الصناديق حرة الحركة من أحد جوانبها لتسهيل عملية تحريك النفايات وتقليبها، ويمكن أن يتم إنتاج الكمبوست بشكل نصف آلي تدخل المكننة في بعض مراحله، حيث تكون كمية المخلفات الزراعية والحيوانية المعدة للتحويل كبيرة نسبياً، وبالتالي تصعب عملية التقليب اليدوي ويلجأ إلى التهوية القسرية للنفايات في الصناديق قسرياً إما عبر التحريك أو عبر ضخ الهواء بمنافيخ لاتمام عملية التحلل الهوائي بدون الحاجة إلى إخراج الكتلة الحيوية لتقليبها، وقد ينتج الكمبوست انطلاقاً من النفايات البلدية العضوية بإنشاء معامل متطورة فيها الكثير من التجهيزات الميكانيكية وتنتج كميات كبيرة من الكمبوست القابل للتسويق.

نميز في معمل تحويل النفايات البلدية إلى محسنات التربة عدة أقسام[93]:

أ - وزن النفايات الواردة.

ب - تفريغ وتخزين النفايات الخام.

ج - فصل المواد غير القابلة للتحلل الحيوي (المرفوضات) وخاصة المعادن والزجاج والمواد اللدنة القابلة للاسترجاع.

د- فرم النفايات القابلة للتحلل الحيوي بهدف زيادة السطح النوعي للمواد العضوية وبالتالي تسهيل وتسريع مهمة الأحياء الدقيقة في تفكيك المادة العضوية.

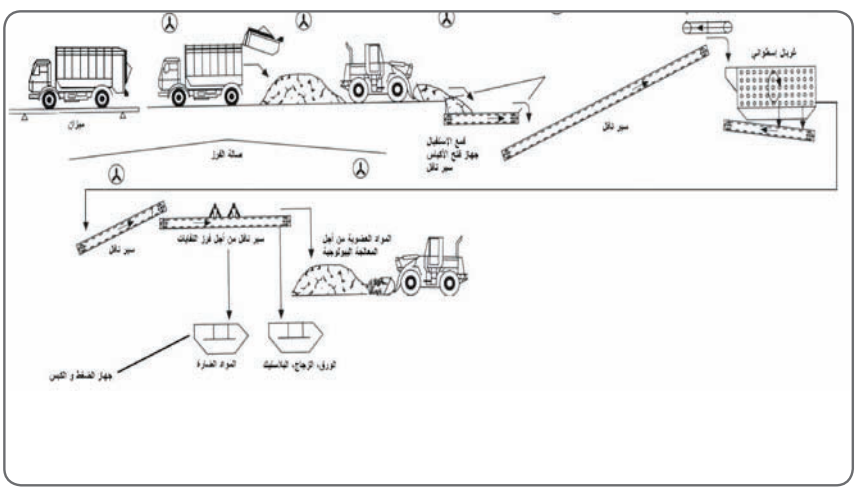
هـ- التخمير الهوائي للنفايات المفرومة، ويتم بتأمين الهواء اللازم وأحياناً الماء حتى تتمكن الأحياء الدقيقة من انجاز عملية التحلل بكفاءة عالية.

و- انضاج نهائي لمحسنات التربة الناتجة (الكمبوست) لإيصالها إلى استقرار في درجة الحرارة والتخلص من الروائح ولتحويل كامل الأمونيوم إلى نترات، ولخفض حاجتها للأكسجين.

- تخزين الكمبوست الناتج وقد يتم فرز المادة الناتجة (الكمبوست) بالنخل والجزء ذو الأبعاد الكبيرة يعتبر منتوج من الدرجة الثانية، ويبين الشكل (8-2) مراحل سير العمل في معمل تحويل النفايات إلى كومبوست.

الشكل 8-2:

مراحل سير العمل في معمل تحويل النفايات إلى كومبوست.



أ-استقبال النفايات ووزنها

يتم استقبال النفايات أو تخزينها على الأرض مباشرة بعد رص التربة وتعبيدها في حالة التغذية تلقيم اليدوي إلى مرحلة الفرز والتقطيع أو توضع في خزان أو مستودع سطحي أو مستودع عميق (تحت الأرض) في حالة كون النفايات ذات رطوبة عالية والتغذية تلقيم الآلي للنفايات إلى مرحلة الفرز والتقطيع.

ويجهز قسم استقبال وتخزين النفايات بحيث يحد من التأثيرات السلبية على البيئة المحيطة كانبعاثات الغبار والروائح وتسربات العصارة. وفي حالة المعامل

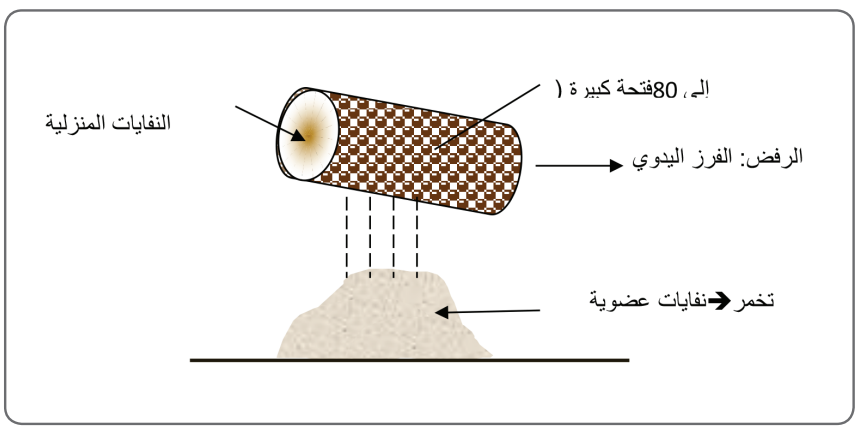
الكبيرة الحجم والمؤتمتة يتم استقبال وتخزين النفايات في صالة مغلقة تشمل أيضاً منشآت فرز وتقطيع النفايات، ويكون الضغط في هذه الصالة أقل من الضغط الجوي عن طريق سحب الهواء منها ليتم استخدامه في قسم التحلل الهوائي للنفايات المفرومة، أو يتم ضخه إلى مرشح حيوي لتنقيته.

ب - فصل وفرز المرفوضات

يتم فصل المرفوضات غير القابلة للتحلل الحيوي كقطع المعادن والبلاستيك والزجاج أو قطع الحجارة الكبيرة عن طريق الغربلة باستخدام غرابيل بفتحات أكبر من 100 ملم ، كما يظهر في الشكل أدناه.

الشكل (8-3):

فصل النفايات الجافة القابلة للتدوير عن طريق الغربال



وقد تتم عملية الغربلة بعد تقطيع المواد وقبل عملية التخمير أو بعد عملية التخمير الرئيسي وقبل الانضاج، ويتم التخلص من المحجوزات الخشنة ضمن الغرابيل في المطامر. وقد يتم فصل المرفوضات إما آلياً بوساطة فرازات، أو يدوياً عن طريق عمال يقفون بجانب السيور المتحركة يقومون بإزالة النفايات المعدنية والزجاج والبلاستيك، وفي المحطات الكبيرة تنفذ عملية استرجاع المواد الحديدية بالمغناطيس الكهربائي.

ج-فرم النفايات وتقطيع الكتل الكبيرة

إن النفايات كبيرة الحجم صعبة التفكك كجذوع وجذور الأشجار يجب تقطيعها قبل إدخالها مرحلة التحلل الهوائي مما يساعد على كبر المساحة السطحية (زيادة السطح النوعي)، وبهذا تسرع مهمة الأحياء الدقيقة وتزيد كفاءة المعالجة الحيوية للخشبين صعب الهضم، ومن أجل تأمين البنية والمسامية اللازمة لضمان وصول الأكسجين والماء للبكتريا. ومن هذا المنطلق يكون حجم الحُبيبات في حدود 25 إلى 50 ملم. أما السحق الشديد لتكوين حُبيبات أدق فيحد من النشاط الحيوي، إذ يُقلل من كمية الهواء في التجاويف بالإضافة إلى أنه باهظ التكلفة.

د-مزج المواد ومجانستها وإضافة المواد المساعدة عند اللزوم

تؤمن عملية المزج والمجانسة النسب المطلوبة من الكربون/النتروجين C/N والرطوبة وحجم المسام، حيث يتم على سبيل المثال خلط النفايات الخضراء ذات البنية والتركيب الجيدين مع النفايات المنزلية ذات البنية المتوسطة الجودة بالنسبة لعملية التحويل إلى كومبوست.

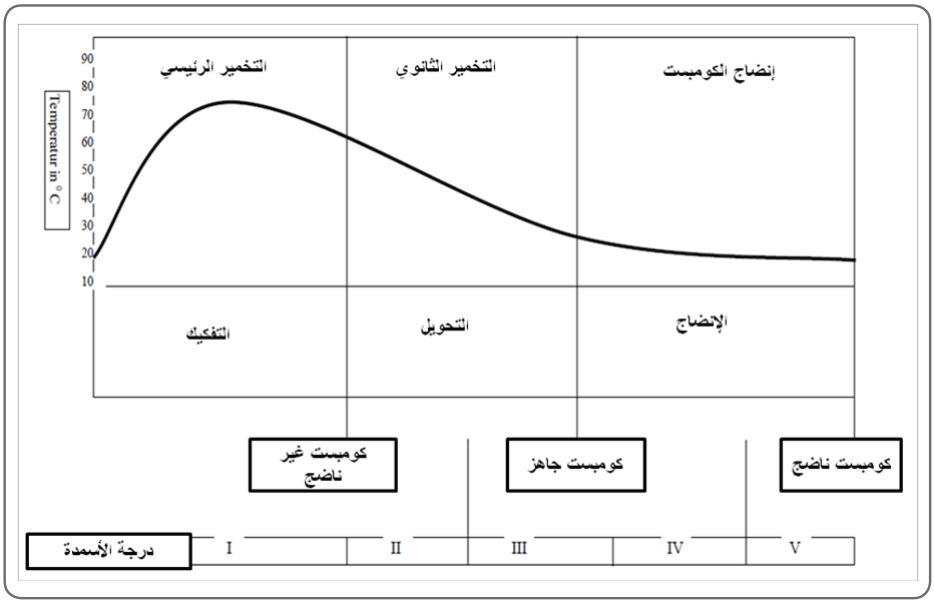
يتم خلط المواد ومجانستها باستخدام تقنيات وأدوات التقليب كالجرافات، واسطوانات الخلط الدوارة التي تتصف بميزة إضافة المواد المساعدة والماء في نفس الوقت مع تغذية تلقيم المواد إلى داخلها .

هـ-تفكيك وتحلل المواد العضوية

تقوم بعملية التفكيك والتحليل البكتريا الهوائية، ويمكن تجزئة عملية التفكيك والتحلل إلى مرحلتين تتمايزان من خلال تطور درجات الحرارة في كتلة النفايات، هما مرحلة التحلل الرئيسي ومرحلة الانضاج، كما يظهر في الشكل (8-4)[94].

الشكل 8-4:

تطور درجة الحرارة في مرحلة التحلل الرئيسي ومرحلة الانضاج



وفي نهاية كل مرحلة نحصل على كمبوست ذي نوعية وجودة معينة يتم تحديدها بالمقارنة مع سلم درجات جودة الكمبوست بالعلاقة مع درجة الحرارة المقاسة ودرجة التحلل كما في الجدول (8-1)

الجدول 8-1:
مراحل عملية التحويل إلى محسنات التربة وبارامتراتها المميزة مع درجة الحرارة

طور عملية التحويل إلى كمبوست	طور البدء	طور التفكيك (ترموفيليك)	طور التحويل (ميزوفيليك)	طور الانضاج
الأحياء الدقيقة	البكتريا والفطريات المحبة للحرارة المعتدلة	الحرارة ≤ 45 مئوية، تسود البكتريا الحرارية الحرارة ≤ 60 مئوية تسود بكتريا الأبواغ البكتريا ذات أبواغ الحرارة ≤ 75 مئوية تسود البكتريا ذات الأبواغ المقاومة للحرارة	البكتريا واالفطريات والطحالب التي تعمل على تفكيك المواد الصعبة	تسود الحيوانات الدقيقة كالعناكب وديدان الأرض والبعوض
عوامل (بارامترات) التحويل				
توفر المغذيات	وسط	عال	-	متناقص
الـ pH	حمضي	متصاعد أكبر من 7	أكبر من 7	ثابت أكبر من 7
الحرارة العظمى	حتى 60° مئوية	حتى أكثر من 70°	من 40°-45 مئوية	20° مئوية
التفكيك	يتم تفكيك المواد سهلة التفكيك	المواد سهلة التفكيك إضافة إلى السيللوز	السيللوز والمواد الصعبة كاللجنين	توقف عملية التفكيك وبداية عملية التمعدن
الدلالة	شروط مناسبة للبدء	تعقيم كامل للمواد خلال 3 أسابيع	تواصل عملية التفكيك	إنضاج
درجة نضج الكمبوست في نهاية المرحلة	مواد في بداية التخمير	كمبوست خام	كمبوست متخمر	كمبوست ناضج
درجة جودة الكمبوست		I	II-III	IV-V

8-4- العوامل المؤثرة في عملية تحويل النفايات إلى كومبوست:

العوامل المؤثرة في عملية تحويل النفايات إلى كومبوست مبينة في الجدول (8-2) يمكن الاستنتاج من هذا الجدول أن الإعدادات لعملية التحويل إلى كومبوست ليست بالأمر السهل، خاصة إذا كان المطلوب الوصول إلى منتجات ذات نوعية ممتازة، لهذا السبب فإن أكثر عمليات التحويل التجارية إلى كومبوست، التي تطورت تتصف بأنها ذات ميكانيكية عالية وتتم بوساطة وسائل تصميمية خاصة، وعوامل التصميم التي ذكرت في الجدول (8-2) يمكن ضبطها بفعالية.

الجدول 8-2:

العوامل المؤثرة في تحويل النفايات الصلبة إلى محسنات التربة

العامل اللازم	الشروط
أبعاد المواد	للحصول على نوعية كومبوست ممتازة فإن أبعاد النفايات الصلبة يجب أن تكون بين 25 و50 ملم
نسبة الكربون إلى النتروجين C/N	يكون التحلل الهوائي ممكناً في النفايات التي تكون فيها النسبة الوزنية C/N ضمن المجال من 20 إلى 40، وفي النسب المنخفضة يخرج NH3، وفي النسب الأعلى تكون كفاءة التحويل غير جيدة نتيجة لنقص النتروجين.
درجة الرطوبة	درجة الرطوبة المثالية تقع ضمن المجال من 50 إلى 60%.
درجة الحرارة	ترتفع درجة الحرارة خلال الأيام الخمسة الأولى لتصل إلى حوالي 65° و70° مئوية، ويفضل أن لا تزيد درجة الحرارة على 70° مئوية حتى لا تنخفض الفعالية البيولوجية.
القضاء على الأحياء الممرضة	إذا وصلت درجة الحرارة في كتلة النفايات أثناء التحويل إلى 60° و70° مئوية لمدة تزيد على 24 ساعة فإن ذلك يؤدي للقضاء على الجراثيم الممرضة وبذور الأعشاب الضارة.
الرقم الهيدروجيني	الرقم الهيدروجيني المثالي يقع ضمن المجال من 5.5 إلى 7.5.
الاحتياج للهواء	نقص الأكسجين يؤدي لحصول تحللات لاهوائية.

وسنشرح العوامل المؤثرة في تحويل النفايات إلى محسنات التربة:

أ- أبعاد مواد النفايات المعدة للتحويل:

معظم المواد التي تمثل المكونات العضوية للنفايات الصلبة البلدية غير منتظمة الشكل، يمكن أن يقلل من عدم انتظام الشكل باللجوء إلى فرم المواد العضوية قبل تحويلها. تؤثر أبعاد المادة المعدة للتحويل في الكثافة والاحتكاك الداخلي وخصائص الجريان وقوى مقاومة المواد. الأكثر أهمية من كل ذلك أن تصغير الأبعاد يزيد من سطوح التماس مع الهواء وبالتالي يزيد من معدل التفاعل البيوكيميائي خلال عملية التحويل إلى كومبوست الهوائية. الأبعاد المرغوبة في عملية التحويل هي أقل من 5 سم، لكن يمكن تطبيق التحويل على مواد ذات أبعاد أكبر من 5 سم، والذي يحدد الأبعاد هو متطلبات المنتج النهائي، والاعتبارات الاقتصادية.

ب- معدل الرطوبة:

إن الرطوبة ضرورية لفعالية المعالجة البيولوجية للنفايات فهي تؤمن انتقال الغذاء إلى الأحياء الدقيقة.

تتراوح درجة الرطوبة المثلى بين 0 5% و 60%. إذا كانت رطوبة النفايات أدنى من 40% فيلزم رفعها حتى لا يصبح معدل التحويل بطيئاً، وتتوقف عمليات التحلل الهوائي للنفايات عند معدل رطوبة 20%، ويمكن زيادة الرطوبة إما عن طريق رش الماء أو إضافة الحمأة الناتجة عن محطة تنقية مياه المجاري، بينما إذا زادت نسبة الرطوبة عن 70% فإن المياه تطرد الهواء الموجود في كتلة النفايات وبالتالي لا تتوافر كمية الأكسجين الكافية لإنجاز عملية التحلل الهوائي ولا ترتفع درجة الحرارة ضمن كتلة النفايات إلى الحد الذي يقضي على الجراثيم الممرضة الموجودة في النفايات.

الكمية الصحيحة من الرطوبة التي ينبغي إضافتها (سواء كانت من حمأة محطات معالجة مياه الصرف أو أي مصدر آخر من مصادر المياه) إلى

المواد الصلبة في النفايات للحصول على محتوى الرطوبة اللازم لعملية التحويل إلى محسنات التربة يمكن حسابها من موازنة الكتلة كما هو مبين في العلاقة (1-8).

$$M_p = \frac{M_a X_a + 100 X_s}{X_s + X_a} \quad (1-8)$$

حيث:

M_p: درجة الرطوبة في خليط الكومة لبدء عملية التحويل إلى محسنات التربة، (%).

M_a: الرطوبة في النفايات والقمامة المفتتة والمغربلة، (%).

X_a: كتلة الجوامد، (طن رطب).

X_s: كتلة مياه الصرف أو حمأة مياه الصرف، (طن). (تفترض في هذه المعادلة أن تركيز المواد الصلبة في الحمأة قليل جداً ويمكن إهماله، عادة أقل من 1% مادة صلبة في الحمأة المنشطة).

مثال (8-1): خليط من الأوراق والصحف ومواد قابلة للتسميد كتلتها 6 طن ، مقدار محتوى الرطوبة بها 5%. والمطلوب عمل خليط لعملية التحويل إلى محسنات التربة محتواه الرطوبي 50% رطوبة. احسب كمية مياه الصرف الواجب إضافتها إلى هذه النفايات للحصول على محتوى الرطوبة المطلوب في الكومة لبدء عملية التحويل إلى محسنات التربة (50%).

الحل:

المعطيات:

$$X_a = 6\text{ton},\ M_p = \%50\ ,\ M_a = \%5$$

لإيجاد كمية مياه الصرف المطلوبة X_aمن المياه العادمة نستخدم العلاقة:

$$M_p = \frac{M_a X_a + 100 X_s}{X_s + X_a}$$

$$50 = \frac{[illegible] + 100 X_s}{X_s + 6}$$

ينتج: كمية مياه الصرف الواجب إضافتها إلى هذه النفايات للحصول على درجة تركيز محتوى الرطوبة هو $X_x = 5.4 \text{ ton}$ $X_s = 5.4\ Ton$.

ج-نسبة الكربون إلى النتروجين في النفايات المعدة للتحويل:

لنسبة الكربون إلى النتروجين تأثير أساسي في عملية التحويل فالكائنات الحية الدقيقة بحاجة النتروجين لتكاثرها وتستخدم الكربون الحيوي كمصدر للطاقة وحتى تكون فعالية التحويل إلى محسنات التربة جيدة يجب أن تتراوح نسبة C/N بين $\frac{53}{kg}$ و $\frac{53}{kg}$.

في حمأة محطات معالجة مياه الصرف الصحي تكون نسبة الكربون للنتروجين C/N قليلة نسبياً وقريبة من (6:1)، في حين أن نفايات الحدائق والساحات المكشوفة مثل أوراق الأشجار والجرائد فيها نسبة الكربون للنتروجين C/N مرتفعة. مع الانتباه إلى أن نسبة الكربون للنتروجين C/N المعطاة في الجدول (5-4) تعتمد على الوزن الجاف الكلي للكربون والنتروجين وليس على الوزن الجاف للجزء القابل للتفكك الحيوي في النفايات العضوية.

بشكل عام كل النتروجين العضوي الموجود في معظم المواد العضوية سيصبح متوفراً في حين أن الكربون العضوي ليس قابلاً للتفكك بشكل كامل (مثال الخشبين في النفايات الورقية لا يتحلل حيوياً بسهولة). إذا كانت نسبة الكربون إلى النتروجين مرتفعة فيمكن عندها اللجوء إلى إضافة مياه الصرف أو حمأة مياه الصرف الصحي والتي تملك نسبة كربون إلى نتروجين (6:1). النسب المفضّلة لتحويل النفايات المنزلية إلى محسنات التربة تتراوح بين 1:20 و 1:40، وإذا قلت نسبة الكربون إلى النتروجين عن 1:20 فهناك خطورة من ظهور الروائح نسبة لتطاير

الأمونيا على شكل غاز النشادر، وهذا يفرض ضرورة إضافة مصادر غنية بالكربون كالورق والقش.

إذا مُزجت نفايات منزلية مفتتة وحمأة مياه صرف صحي فإن مقدار الكربون في الخليط يمكن إيجاده من العلاقة (8-2).

$$C_p = \frac{C_r X_r + C_s X_s}{X_s + X_r} \quad (2\text{-}8)$$

حيث:

Cp C_p: درجة تركيز الكربون في الخليط قبيل التحويل إلى محسنات التربة، (%) من الكتلة الكلية للخليط الرطب.

Cr C_r: درجة تركيز الكربون في النفايات، (%).

Cs C_s: درجة تركيز الكربون في حمأة مياه الصّرف الصّحي، (%).

Xs X_s: الكتلة الكلية لحمأة مياه الصّرف الصّحي، (طن رطب/ يوم).

Xr X_r: الكتلة الكلية للنفايات، (طن رطب/ يوم).

د- الرقم الهيدروجيني:

إن جراثيم النفايات المنزلية الصلبة تُفضّل قيمة وسطى لـ pH (أي بحدود 7) وسط معتدل، يُستحسن أن تكون قيمة الـ pH للمواد العضوية في النفايات من 6 إلى 7.5 لمعظم البكتريا، وللفطريات من 5.5 إلى 8، ونشير أنه خارج هذا المجال يضعف نشاط الأحياء الدقيقة المحللة، لذلك يُفضّل ألاّ تحتوي المواد العضوية على مركبات حامضية أو قاعدية.

يُعد الرقم الهيدروجيني من معايير تقويم البيئة الميكروبية في الكمبوست، ويتغير الرقم الهيدروجيني مع زمن عملية المعالجة. وهو مؤشر ممتاز لدرجة التحلل الحادث.

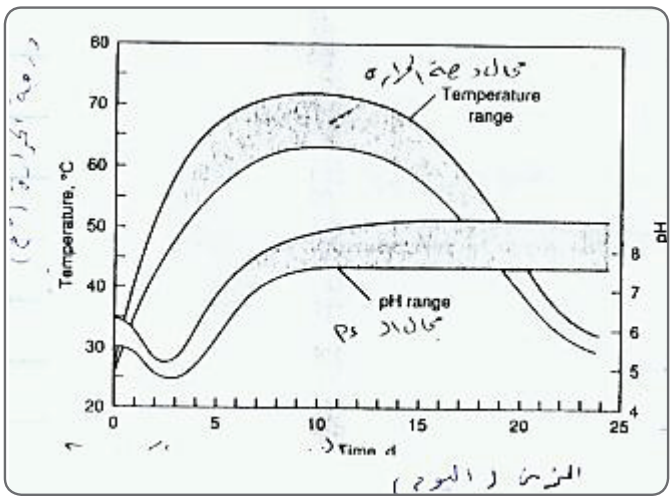
ينخفض الـ pH في الأيام الثلاثة الأولى إلى حوالي 5 كما يظهر في الشكل (8-5) نتيجة لتشكل حموض عضوية بسيطة، وعند بدء نشاط البكتريا الأليفة لدرجات الحرارة العالية تزداد قيمة الـ pH في كتلة النفايات إلى حوالي 8. وإذا لم تكن التهوية كافية ستحدث ظروف لا هوائية وستنخفض قيمة الـ pH إلى حوالي 4.5 وبالتالي ستتأخر عملية التحويل إلى كومبوست.

هـ- درجة الحرارة:

يتصف تفكيك وتحليل المادة العضوية هوائياً بعملية التسخين الذاتي الناتجة عن التفاعلات البيوكيميائية، وتُعد درجة الحرارة من أنسب المعايير المستخدمة لمعرفة نوع الأحياء المجهرية الموجودة، ومؤشر لمراحل العمليات البيوحرارية، ففي البداية (في اليومين الأولين) تكثر الأحياء المجهرية كالبكتريا الأليفة لدرجات الحرارة المعتدلة (mesophilic) التي تعيش في درجة حرارة متوسطة تتراوح بين 25 إلى 45 درجة مئوية، ويُعزى إليها معظم التفاعلات الحيوية الحادثة حيث تقوم بأكسدة الكربون الموجود إلى ثاني أكسيد الكربون. وبازدياد هذه الكائنات بعد حوالي أسبوع فإن درجة حرارة الكمبوست تزداد، مما يُحِد من نمو هذه الكائنات لِتحل محلها الأحياء المجهرية كالبكتريا الأليفة لدرجات الحرارة العالية (Thermophilic) التي تعيش في درجات حرارة عالية (أكبر من 45 درجة مئوية)، هذا التغير في درجات الحرارة يتأثر لدرجة عالية بكمية الأكسجين الهوائي. ومن ثم فإن درجة الحرارة عادة تدل على النشاط الحيوي الحادث. وعندما تهبط درجة الحرارة فإنها عادة تعني أن الكمبوست يحتاج لتهوية، أو لماء، أو أن التحلل قد اكتمل، انظر الشكل (8-5).

الشكل (8-5):

تغير درجة الحرارة والأس الهيدروجيني تبعاً لزمن التحلل الهوائي.



بشكل عام، فمن المستحب الوصول إلى درجة حرارة بين 60 إلى 70 درجة مئوية لإتمام عمليات التحلل كما مبين بالعلاقة (8-3).

مواد عضوية معقدة+O2 + تحليل هوائي بالأحياء المجهرية

مركبات عضوية أقل تعقيداً

$$\text{حرارة} + SO4^{--} + NO3^{-} + H2O + CO2+ \qquad (8-3)$$

غالباً توجد ثلاثة أنواع من الأحياء المجهرية داخل عملية المعالجة وهي البكتريا والفطريات والأكتينومايسيتس (Actinomycetes)، وتعمل على تحطيم وتحليل المواد العضوية لتأتي بناتج ثابت، أمّا انبثاق الحرارة فبسبب نشاط البكتريا الهوائية، وعندما ترتفع درجة الحرارة إلى 70 درجة مئوية تسود البكتريا المكونة للأبواغ، ويؤدي ارتفاع درجة الحرارة لقتل البكتريا المرضة، وبيوض الديدان، والأكياس الغشائية cysts، ويعتبر ارتفاع درجة الحرارة من الظروف الهامة لإزالة خطورة النفايات المنزلية الصلبة، وعندما يبدأ التحلل في التباطؤ فإن درجة

الحرارة تتناقص وتعود البكتريا الاليفة لدرجات الحرارة المتوسطة (mesophilic) والفطريات (fungi) للظهور. وفي المراحل المتأخرة توجد الأحياء الدقيقة والدودة الخيطية (nematode)، والدودة الألفية (millipede) وديدان أخرى. وقد يصل تركيز الأحياء المجهرية الميتة إلى 25% في الكمبوست الناتج ذي رائحة التراب.

إن القضاء على الأحياء الممرضة وبذور الأعشاب الضارة مطلوب في التحويل إلى كومبوست. إن موت الأحياء الممرضة يتبع لدرجة الحرارة ولمدة التعرض لهذه الدرجة من الحرارة. كمثال بكتريا السالمونيلا التيفية لا تنمو عندما تزيد درجة الحرارة على 46 درجة مئوية، وتموت خلال 30 دقيقة عندما تتعرض لدرجة حرارة بين 55 و 60 درجة مئوية، ويقضى عليها خلال عشرين دقيقة فقط عندما تزيد درجة الحرارة على 60 درجة مئوية، وبكتريا الأشيرشيا الكولونية تموت خلال ساعة في درجة حرارة 55 درجة مئوية وتموت خلال عشرين دقيقة في درجة حرارة 60 درجة مئوية. أما بيوض ديدان الأسكاريس فإنها تموت خلال مدة أقل من ساعة عند تعرضها لدرجة حرارة أكثر من 50 درجة مئوية.

إن معظم الأحياء الممرضة يقضى عليها بسرعة عندما تتعرض النفايات أثناء التحويل إلى درجة حرارة قريبة من 55 درجة مئوية. ويمكن القضاء على الأحياء الممرضة نتيجة وصول درجة الحرارة في النفايات إلى حوالي 70 درجة مئوية لمدة ساعتين فقط.

ونشير إلى أنه يتم الحفاظ على درجة الحرارة عند اختيار ظروف جيدة لتأمين الأكسجين اللازم للنفايات، وذلك بضخ الهواء الساخن عن طريق إمداده إلى اسطوانات ذات المحور الدوار أو تنظيم تقليب النفايات وتحريكها عند انخفاض درجة حرارتها.

و- المعادن الثقيلة:

إن وجود معادن ثقيلة (رصاص نيكل، كادميوم....) يحد من كفاءة عملية التحلل ويوقف نشاط الأحياء الدقيقة، لذلك لا يسمح بإضافة النفايات الصناعية

إلى المنزلية. إذا تسربت المواد السامة إلى محسنات التربة الناتجة فقد يؤدي ذلك إلى انتقال هذه المواد إلى النبات وبالتالي إلى الإنسان عن طريق السلاسل الغذائية.

ز- احتياجات الهواء:

في العمليات المصحوبة بتهوية قسرية مثل الأكوام الساكنة المهواة والمفاعلات الأسطوانية الدوارة، يكون احتياج الهواء الكلي ومعدل تدفق الهواء معاملين أساسيين في التصميم. وسنبين طريقة تحديد احتياج الهواء في التحويل إلى محسنات التربة.

بإهمال وجود الكبريت فإن المواد العضوية المعدة للتحويل إلى كومبوست تعطى بالصيغة CaHbOCNd، وباعتبار أن المنتوج النهائي يعطى بالصيغة CwHxOyNz فإن كمية الأكسجين اللازمة لتحقيق التثبيت الهوائي للمكونات العضوية في النفايات الصلبة البلدية يمكن تقديرها باعتماد المعادلة التالية:

$$CaHbOCNd + 0.5(ny+2s+r-c)\ O2 \longrightarrow CwHxOyNz$$

$$+ s\ CO2 + r\ H2O + (d-nx)\ NH3$$

حيث: $r=0.5(b-nx-3(d-nz))$

$$s=a-nw$$

إذا تم التحويل الكامل للمادة العضوية فإن الصيغة الموافقة هي:

$$CaHbOCNd + (a+0.25b-0.5c-0.75d)\ O2 \longrightarrow a\ CO2$$

$$+ (0.5b-1.5d)\ H2O + d\ NH3$$

في كثير من الحالات يتأكسد النشادر الناتج إلى نترات وتدعى هذه العملية بالنترجة Nitrification .

مثال (8-2):

احسب الهواء اللازم لأكسدة 1ton طن من النفايات ذات الصيغة الكيميائية التقريبية C50 H100 O40 N أكسدة كاملة لتحويلها إلى كومبوست.

علماً أن نسبة الأكسجين إلى الهواء هي 23.15% وأن كثافة الهواء 1.2928 Kg/m3.

الأوزان الذرية للعناصر هي: N=14 O=16 H=1 C=12

الحل:

$$C50\ H100\ O40\ N + 54.25\ O2 \longrightarrow 50\ CO2 + H2O + NH3$$

1354 1736 17

1000 X Y

وينتج: $NH3 = Y = 12.56 Kg/ton$ ، $O2 = X = 1282\ Kg/ton$

حساب الأكسجين اللازم لأكسدة الأمونيا:

$$NH3 + 2\ O2 \longrightarrow HNO3 + H2O$$

64 17

Z 12.56

وينتج: $O2 = Z = 47.3\ Kg/ton$

حساب حجم الهواء اللازم-كمية الأكسجين اللازمة:

$$1282 + 47.3 \longrightarrow 1329.3\ Kg/ton$$

كمية الهواء اللازمة:

$$M = \frac{1329.3 \times 100}{23.15} \approx 5742\ Kg/ton$$

حجم الهواء اللازم:

$$V = \frac{5742\ (\mathrm{Kg/ton})}{1.2928\ (\mathrm{Kg/m^3})} = 4442\ \mathrm{m3/ton}$$

8-5- تقنيات التخمير المستخدمة حالياً في محطات التحويل إلى كومبوست

على مستوى العالم تنتشر حالياً عدة أنظمة وتقنيات للتخمير الرئيسي والثانوي في محطات التحويل إلى كومبوست متوسطة وكبيرة الحجم.

ولا يمكن القول إن أحداً من التقنيات المنتشرة حالياً في العالم هو الأمثل لعملية التحويل إلى كومبوست في كل الشروط والظروف.

ويوجد عدة تصنيفات لهذه الأنظمة والتقنيات، حيث يمكن تصنيفها تبعاً لوصف مكان إجراء عملية التحويل إلى كمبوست إلى:

- الأنظمة المفتوحة: (Open or Outdoor Systems)
- الأنظمة المغلقة وتسمى في المراجع المختلفة بعدة أسماء هي:

(Enclosed، In-Vessel Systems Contained)

كما تصنف ايضاً تبعاً لمستوى التكنولوجيا المستخدمة في عملية التحويل إلى كومبوست إلى:

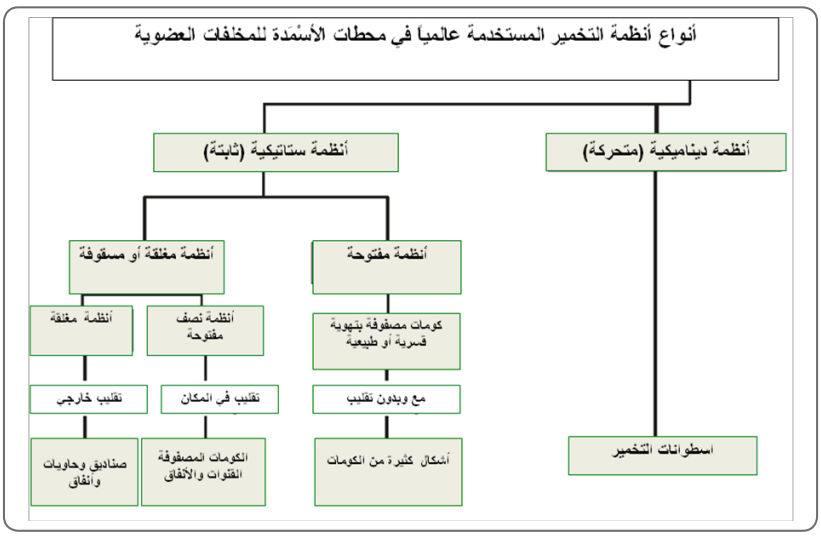
- أنظمة منخفضة التكنولوجيا (Low - Tec) كالأكوام المصفوفة المهواة طبيعياً وبالتقليب.
- انظمة نصف تكنولوجية (Mid -Tec) كالأكوام المنعزلة المهواة قسرياً.
- أنظمة عالية التكنولوجيا (High-Tec) كالحاويات والصناديق والقنوات والأنفاق والاسطوانات الدوارة.

ويوجد أيضاً تصنيف وفقاً لحركة ووصف مكان إجراء عملية التحويل إلى كومبوست وفق المخطط في الشكل (8-6)[95]..

الشكل 8-6:

مخطط يبين أنظمة التخمير المتبعة

في محطات تحويل النفايات العضوية إلى كومبوست.



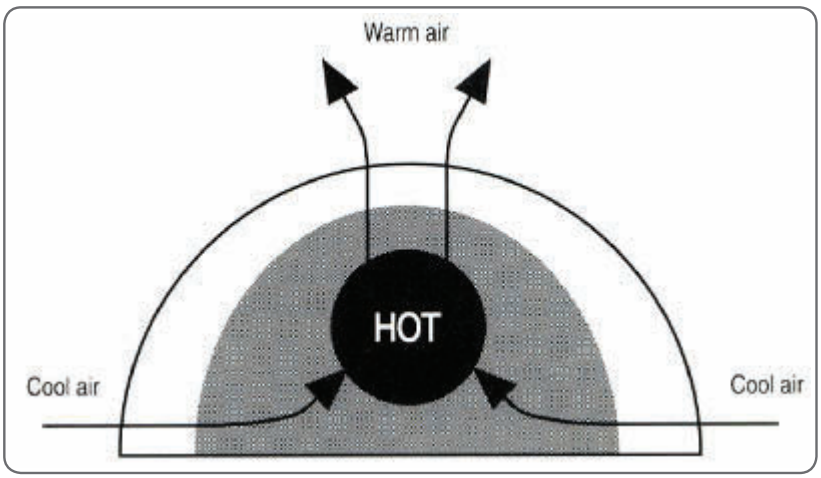
8-5-1- تحويل النفايات البلدية إلى محسنات التربة بالتقليب المفتوح أو بالأكوام الطويلة (Open or windrow composting)

تعتبر طريقة الأكوام الهرمية المصفوفة المهواة طبيعياً عبر حركة انسياب الهواء من أقدم وأبسط الطرائق المستخدمة في تحويل النفايات العضوية لكومبوست وأقلها كلفة أيضاً، وتعتبر الطريقة السائدة في المناطق الريفية والمزارع، في هذه الطريقة يتم استقبال النفايات في مستودع سطحي على الأغلب ومن ثم يتم نقلها إلى منطقة التحضير الأولي بوساطة جرافات أو آلات خاصة، حيث يتم فرزها وتقطيعها ومجانستها وفق النسب المثالية للرطوبة والـ pH و الـ C/N. توضع النفايات الناتجة عن مرحلة التحضير الأولي بواسطة الجرافات أو آلات أخرى مباشرة على أرض حقل معد مسبقاً لهذا الغرض وذلك على شكل اكوام هرمية مكشوفة أو تحت

سقف من أجل التخفيف من تأثير العوامل الجوية. يتم تهوية هذه الأكوام طبيعياً عن طريق تسرب الهواء النقي البارد إلى داخل الكومة وخروج الهواء الساخن من داخلها بالاعتماد على مبدأ فروق تركيز ثاني أكسيد الكربون CO2 والاكسجين O2 داخل وخارج الكومة (الشكل 8-7).

الشكل 8-7

التهوية الطبيعية لأكوام النفايات.



ويعد الزمن اللازم لانجاز التخمير الأساسي كبيراً يتراوح بين 12 و 36 أسبوع، كما يظهر في الجدول أدناه.

الجدول 8-3:

خصائص تقنية ونظام أكوام النفايات المهواة طبيعياً.

مدة التخمير الأولية	12-36 أسبوعياً
مدة الانضاج	لا يمكن تمييزها هنا
حجم المواد الداخلة	6000 - 40000 طن / سنة
المساحة اللازمة	1 – 2.2 م 2/ طن سنة
إمكانية التوسع	جيدة جداً عن طريق إضافة كومات جديدة في حالة زيادة معدل إنتاج النفايات
نوع النفايات المعالجة	نفايات خضراء ومنزلية، ونفايات الأسواق ونفايات مختلطة

إمكانية التحكم بالعمليات (الرطوبة، O2 ، الحرارة)	ضخ الأكسجين إلى القنوات يتم عبر التسرب والتقليب والتحريك ، الترطيب والتحكم بالحرارة يتم من خلال تحسين البنية والتقليب.
الإنبعاثات الصادرة وكيفية التحكم	معالجة الروائح غير ممكنة، يمكن فقط التقليل من انبعاثها عبر الإجراء الجيد لعملية الكومبست والتقليب الجيد، ويمكن أيضاً تغطية الكومة بواسطة العشب أو الكومبست الناضج للتخفيف من انبعاث الروائح.
	العصارة يمكن التحكم بها عن طريق تجهيز أرضية الحقل إما بتغطيتها بالإسفلت أو الخرسانة أو رص تربة الحقل بشكل جيد يخفف تسرب العصارة، ومن ثم تجهيز قنوات صغيرة لتجميع هذه العصارة في حفرة ليتم معالجتها.
فترات التقليب	في حالة استخدام التقليب لتعزيز التهوية يتم تقليب الكومة كلما انخفضت درجات الحرارة وعادة في الأسبوعين الأولين يجري التقليب كل ثلاثة أيام وبعد ذلك أسبوعياً
الكلفة	أقل تقنيات الأسمدة كلفة لكنها الأكبر من حيث تكلفة الأرض، وتحدد بحسب كل بلد وحسب حجم المواد الداخلة.

وفي هذه الحالة يجب أن تتمتع الكومة ببنية ومسامية ورطوبة جيدة وألا يزيد ارتفاعها عن 1.5 م كي تتم عملية وصول الأكسجين إلى البكتريا وبالتالي منع حدوث التخمرات اللاهوائية وانطلاق الروائح المزعجة والعصارة الملوثة.

أما عرض قاعدة الكومة فيفضل ألا يزيد عن 3م، والطول يبقي اختيارياً.

في حالة الأكوام التي يزيد ارتفاعها عن 1.5 م وعرض قاعدتها عن 3 م يتم تعزيز ودعم التهوية من خلال تقليب الأكوام بوساطة الجرافات وآلات التقليب بشكل دوري لمنع تشكل بؤر لاهوائية في قلب الكومة وبالتالي انتشار الروائح المزعجة.

يجري تقليب الأكوام الطويلة مرة يومياً في بداية وضع الكومة، ومن ثم مرة أسبوعياً، وفي مرحلة الإنضاج مرة كل أسبوعين أو أكثر. يمكن إضافة الماء أثناء التقليب في حال وجود مؤشر على نقصان الرطوبة عن الحدود المثلى.

النظم المفتوحة بسيطة ولا تحتاج إلى رأسمال ولا تتطلب طاقة كبيرة لكن تحتاج لمساحات كبيرة. أنجز التقليب فيما مضى يدوياً، بيد أن ذلك يتطلب أيدي عاملة كثيرة، لذلك يمكن تنفيذ عملية التحويل إلى كومبوست في المناطق الريفية والمدن الصغيرة بتقليب الأكوام الطويلة، ويستخدم في التقليب آلية صغيرة وجرار، كما في الشكل (8-8).

الشكل 8-8:

آلية تقليب صغيرة (خلف جرار).

- أساليب تقليب أكوام النفايات

لتقليب النفايات يُتبع إمّا أسلوب التقليب الطولي أو التقليب العرضي كما مبين في الشكل (8-9)، وتحسب المساحات اللازمة لتشكيل أكوام النفايات مع الأخذ بعين الاعتبار المساحة الأساسية التي تحدد تبعاً للحمولة المسموحة في واحدة المساحة، وللمساحات الفارغة بين الأكوام، وتترك مساحة للطريق اللازم للحركة حول الأكوام من جميع الجهات.

وأخيراً يخصص طول إضافي يلزم بحالة اعتماد التقليب الطولي، وتخصص مساحات إضافية تلزم في حالة اعتماد التقليب العرضي.

الشكل 8-9

طرائق تقليب الأكوام الطويلة في طريقة تحويل النفايات إلى محسنات التربة.

ميزات وعقبات التحويل إلى كمبوست عن طريق الأكوام الطويلة مع التقليب

من ميزات الكمبوست الناتج كونه متجانساً، ومشبعاً بالأكسجين. لكن من سلبيات التهوية بالتقليب حاجتها إلى مساحة كبيرة من الأراضي قد تكون غير متوفرة في المدن، وتستغرق عملية إنتاج محسنات التربة بالتهوية بالتقليب فترة زمنية تتراوح بين شهرين وستة أشهر تبعاً لدرجة حرارة الطقس والمناخ، كما يفقد أثناء عملية التقليب قسم كبير من الحرارة الناتجة عن عملية التحلل الحيوي، تلك الحرارة الضرورية للقضاء على الجراثيم الممرضة وبذور الأعشاب.

8-5-2- الأكوام المنعزلة المهواة قسرياً (Active Aerated Pile)

تختلف الأكوام المنعزلة المهواة قسرياً عن تلك المهواة طبيعيا بان الهواء يتم ضخه إلى داخل الكومة من خلال نافث هواء (Blowers) موضوعة في أسفل الكومة وتعمل بطريقتين إما بسحب الهواء أو ضخه. يتم اللجوء إلى هذا النوع من أنظمة

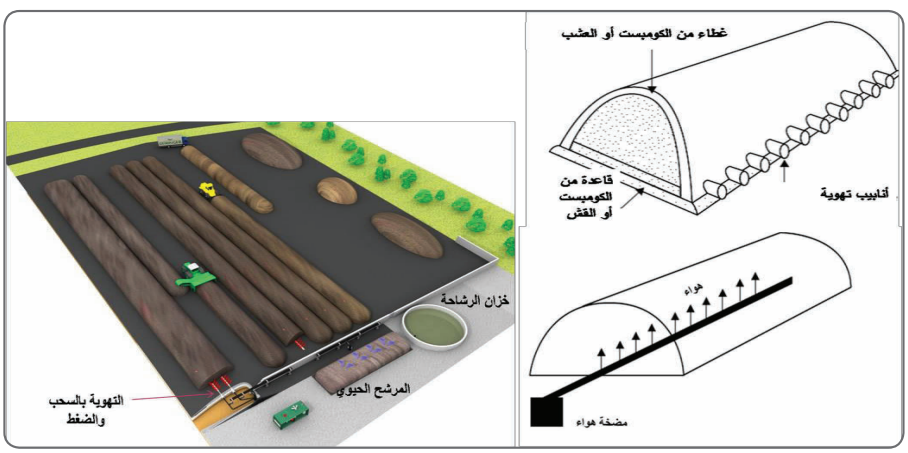
الأكوام عندما يكون حجم النفايات كبيراً والمساحة المتوفرة صغيرة وعند ما يكون استخدام التقنيات الأخرى مكلفاً.

هناك عدة أنماط من الأكوام المنعزلة المهواة قسرياً يمكن إيجازها بما يلي:

- الأكوام المصفوفة المهواة بالسحب (تفريغ الهواء) أو ضخ الهواء كما في الشكل (8-10)، مع أو بدون تقليب والمفتوحة أو تحت سقف.

الشكل 8-10:

نظام الأكوام المهواة قسرياً والمفتوحة في الخارج.



- الأكوام المنعزلة النشطة المهواة بالسحب (شفط الهواء) و/أو الضغط (ضخ الهواء والموضوعة ضمن صالة مغلقة وتكون بشكل شبه منحرف أو بشكل قوالب متوازية المستطيلات.

في طريقة الأكوام المنعزلة الثابتة المهواة قسرياً دون تقليب (Aerated Static Pile) والموضوعة في الخارج، كما في الشكل (8-11)، تعتبر طريقة سحب الهواء أفضل من ناحية التحكم بالروائح. حيث يتم سحب الهواء من الأكوام الموضوعة حديثاً وضخه في قاعدة أكوام الكومبست الناضج، حيث تعمل الأخيرة كمرشح حيوي يخفف من انبعاثات الروائح وغيرها، لكن من مساوىء طريقة التهوية بالسحب بأنه

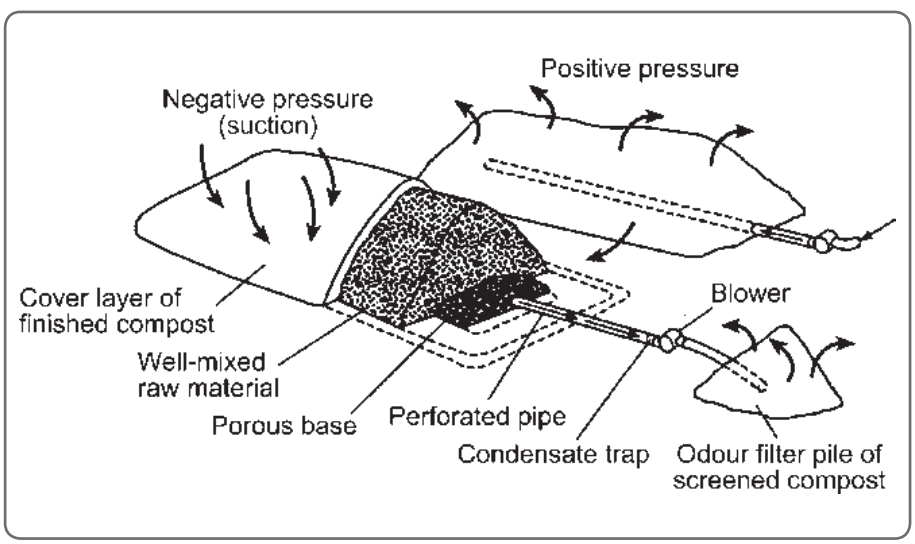
لايمكن دفع الهواء إلى داخل الكومة بنفس الكمية التي يتم تأمينها عبر التهوية بالضخ.

إن نافثات الهواء (Blowers) لا تستخدم فقط للتهوية وإنما أيضاً لتبريد الكومة في حال أردنا إنهاء فترة التحويل إلى كمبوست. ويمكن تشغيل هذه النافثات إما بشكل مستمر أو بشكل متقطع. حيث إنه عند تشغيلها بشكل متقطع يتم الاستناد في ذلك إما على درجة الحرارة أو على فترات زمنية منتظمة. حيث تتوقف المنافث المرتبطة بدرجات الحرارة عن العمل آليا في حالة انخفاض درجات الحرارة عن درجة معينة، ويسمح ذلك بفعالية تحكم أكبر بكافة عوامل عملية التحويل إلى كمبوست.

من أجل توزيع الهواء بشكل أفضل داخل الأكوام المنعزلة المهواة ومن أجل منع الانبعاثات من الروائح والعصارة وغيرها توضع طبقة من نشارة الخشب أو القش في أسفل الكومة، وطبقة من الكومبست الناضج أو الرماد في أعلى الكومة، كما في الشكل (8-11).

الشكل 8-11:

الأكوام الثابتة المهواة قسرياً بسحب الهواء أو ضخه أو كليهما.

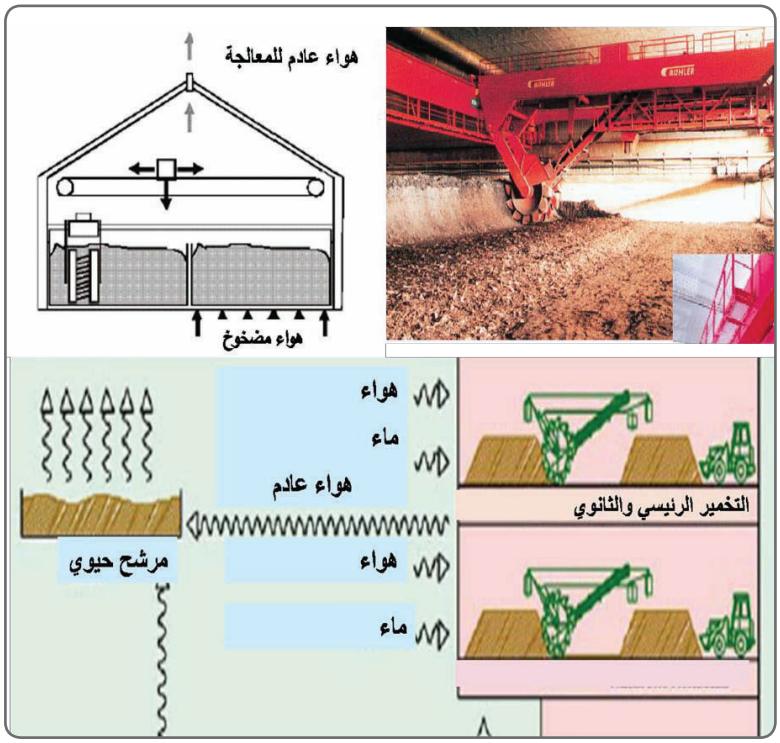


في طريقة الأكوام المنعزلة الموضوعة في صالات كبيرة مغلقة يتم استخدام طريقة السحب والضخ عبر الثقوب الموجودة في الأرضية الخرسانية، حيث يتم تهوية الأكوام وكذلك الصالة بأكملها، وقد يتم تقليب الأكوام التي تكون في الأغلب على شكل متوازي مستطيلات باستخدام آلات تقليب عملاقة تقوم أيضاً بطحن ومجانسة المواد ضمن الصالة، كما في الشكل (8-12).

كما في كل طرائق التحويل إلى كمبوست يجب تامين إعداد جيد للمواد الداخلة في عملية التحويل من حيث الرطوبة والمسامية والقلوية وغيرها. ولقد ظهرت تقنيات خاصة كثيرة للتحويل إلى كمبوست، منها الأكوام المهواة المغطاة برقائق نصف منفذة والتي طورت من قبل العديد من الشركات والعاملين في مجال التحويل إلى كمبوست.

الشكل 8-12:

نظام الأكوام المهواة قسرياً والموضوعة في صالة مغلقة مع أنظمة تقليب.

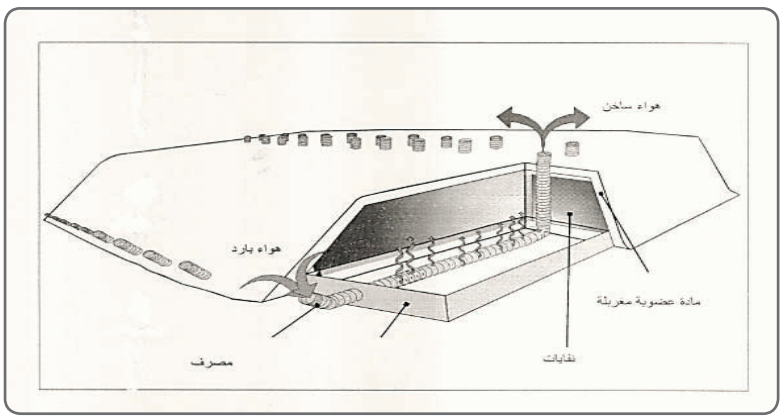


8-5-3-الأكوام المهواة المغطاة برقائق (Aerated Covered Pile)

يمكن أن يتم تغطية الأكوام برقائق لدنة أو بقنب مطلي بالزفت وهذا الغطاء نصف نفوذ يعمل كحماية من تأثيرات الطقس ويحفظ الدفء والروائح والجراثيم، بالإضافة إلى أغلب الرطوبة داخل الأكوام، كما في الشكل التالي.

الشكل (8-13):

تهوية قسرية لأكوام النفايات المغطاة.



وتقوم رقائق التغطية بحفظ المواد من تأثير الأمطار ومنع انتشار الروائح. يمكن استخدام هذه الطريقة في حالة كانت الكمية المتوفرة من المخلفات العضوية صغيرة وفي حالة وجود منطقة التحويل إلى كومبوست قريبة من التجمعات السكنية.

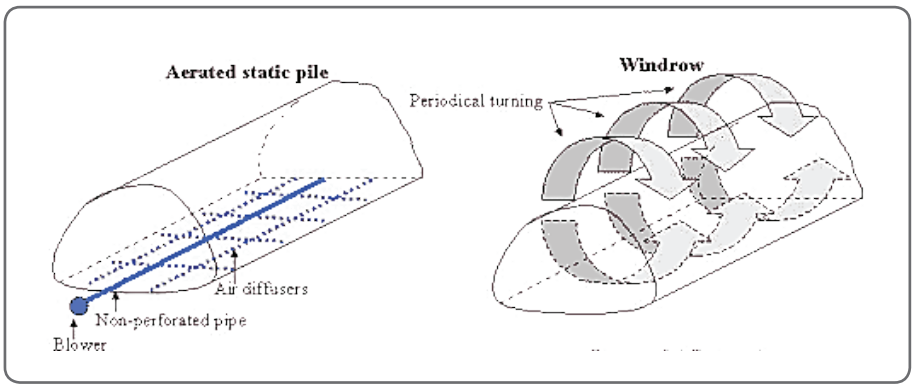
8-5-4-جمع التهوية القسرية مع التقليب:

بغية الاستفادة من ميزات التقليب (مجانسة النفايات وإلغاء ممرات أفضلية للهواء ضمن كتلة النفايات المفرومة) ومن ميزات التهوية القسرية (مراقبة دقيقة لحركية التحلل). تنفذ عملية التقليب والتهوية القسرية ضمن نفس النظام.

وينفذ هذا الأسلوب ضمن ساحات مزودة بشبكة من خطوط التهوية لتزويد أكوام النفايات المفرومة بالهواء وتبقى النفايات في الساحة لمدة تزيد على 20 يوماً، وتقلب خلالها كل عدة أيام بوساطة آليات تقليب خاصة كما في الشكل أدناه.

الشكل (8-14):

تحويل النفايات إلى كمبوست بالتهوية والتقليب.



يتميز هذا الأسلوب والذي اعتمد في معمل التحويل إلى كومبوست في دمشق بالمحاسن الرئيسية التالية:

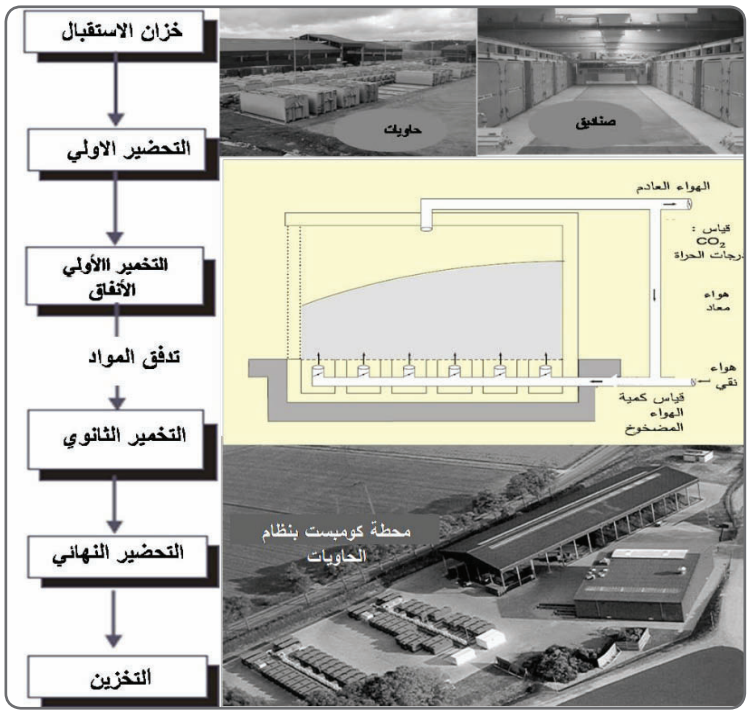
- لا توجد طرق مفضلة للهواء في الأكوام
- لا يوجد طبقة جافة فوق الأكوام
- إنتاج سماد متجانس.

8-5-5- التحويل إلى كومبوست في الصناديق والحاويات Boxes and Container Composting

يتشابه نظاماً الصناديق والحاويات في محطات التحويل إلى كمبوست من حيث مخطط سير العمليات (الشكل 8-15)، حيث تنجز مرحلة التحلل الرئيسي في حجرات مغلقة مع تهوية قسرية ويتم سحب الهواء المضخوخ ليعاد استخدامه ثانية أو تنقيته عبر المرشح الحيوي أو بطرائق أخرى.

الشكل 8-15:

نموذج تقنية الصناديق والحاويات لمحطات التحويل إلى كمبوست مع مخطط سير العمليات وكيفية التهوية



تتراوح سعة الحاوية أو الصندوق الواحد بين (20-60) متر مكعب. حيث يتم إدخال النفايات التي تم تحضيرها في مرحلة التحضير الأولي إلى هذه الحاويات والصناديق بواسطة جرافات، وقد يتم إدخالها آلياً [96]. بعد ملء الحاويات أو الصناديق يتم تهوية المواد عبر عمليات ضخ/أو سحب الهواء من خلال أنابيب أو أرضيات مثقبة تثبت فيها نافثات للهواء (Blowers) موضوعة في أرضية أو سقف كل منها، ومن ثم سحبه من الأعلى أو من الأسفل ليذهب بعدها إلى المرشح الحيوي أو يعاد استخدامه وذلك عبر نظام تهوية متكامل لكل المحطة.

تستمر مرحلة التحلل الرئيسي من 7 إلى 14 يوماً، يجب أن يتم فيها تفكيك الجزء الأكبر من المواد العضوية والوصول إلى درجة معينة من تعقيم المواد عبر درجات الحرارة العالية. تمتاز هذه الطريقة بإمكانية المراقبة والتحكم الكاملين في عوامل عملية التحلل (درجة الحرارة، رطوبة المواد، محتوي CO_2والـ O_2 في الغاز العادم المسحوب من كل حاوية أو صندوق)، وأيضاً تمتاز بإمكانية التحكم بكمية الهواء المضخوخ وبالتالي بدرجة تفكيك المواد.

في نظام الصناديق والحاويات لا يتم تقليب المواد، ويختلف النظامان عن بعضهما فقط في كيفية تغذية تلقيم إدخال المواد إلى مرحلة التخمير الرئيسي أو الثانوي وكيفية تفريغهما، حيث يتم ملء الصناديق عادة باستخدام جرافة أو عبر سيور ناقلة في محطات كاملة الأتمتة، ويتم إخراج المواد من الصندوق أيضاً بنفس الأساليب، في الحاويات يتم نقل الحاوية بعد ملئها بالمواد المحضرة بواسطة رافعة أو شاحنة إلى منطقة التخمير، ويتم استخدام الرافعة أو الشاحنة من أجل تفريغها.

يعد نظام الحاويات والصناديق نظام مرناً يمكنه استيعاب زيادة المخلفات مع الزمن عبر إضافة وحدات جديدة (صندوق أو حاوية)، كما أنه يحتاج إلى مساحات أقل بكثير من تلك التي تحتاجها أنظمة الأكوام المصفوفة. ومن أهم مزايا هذه الطريقة تخفيف الانبعاثات الصادرة عن المحطة كالروائح والعصارة والغبار وذلك من خلال إمكانية تجميع الهواء الملوث والعصارة الملوثة ومعالجتهما.

بعد انتهاء مرحلة التحلل الرئيسي في الصناديق والحاويات فإننا نحصل على كومبست من الدرجة الأولى (I) أو الثانية (II). في حالة أردنا الحصول على كومبست ذي جودة أعلى فإنه يجب إجراء مرحلة الإنضاج في أكوام مصفوفة أو قد تعاد المواد إلى الصناديق والحاويات ونتابع عملية التحلل. ويبين الجدول (8-4) أهم مزايا نظام الصناديق والحاويات المغلقة لتحويل النفايات إلى كومبوست.

الجدول 8-4:

مزايا تقنية الصناديق والحاويات، في محطات التحويل إلى كمبوست

مدة التخمير الاولي	التخمير في الصناديق 6-7 يوم	التخمير في الحاويات 10-14 يوميا
مدة التخمير الثانوي	لا يتم هنا التمييز بين التخمير الثانوي والرئيسي	8-12 أسبوعاً في كومات مصفوفة مهواة طبيعيا موضوعة تحت سقف
حجم القنوات والانفاق	1500-1000 طن/سنة لكل قناة	1500-1000 طن/سنة لكل نفق
المساحة اللازمة	المتوسط 0.6-0.7 م ^{2}/طن سنة	المتوسط 0.6-0.7 م ^{2}/طن سنة
امكانية التوسع	جيدة جدا عن طريق إضافة قنوات جديدة في حالة زيادة معدل إدخال النفايات	جيدة جداً عن طريق زيادة عدد الانفاق
نوع النفايات المعالجة	نفايات خضراء ومنزلية ،ونفيات الأسواق ومختلطة	نفايات خضراء ومنزلية ، ونفايات الأسواق ومختلطة
امكانية التحكم بالعمليات (الرطوبة، O2 ،الحرارة)	ضخ الأكسجين بناء على نسبة CO_2 في الهواء الخارج من الصندوق يتم آلياً، الترطيب والتحكم بالحرارة ممكن	ضخ الأكسجين بناء على نسبة CO_2 في الهواء الخارج من الصندوق يتم آلياً، الترطيب والتحكم بالحرارة ممكن
الانبعاثات الصادرة وكيفية التحكم	الروائح تعالج عن طريق تحويل تيار الهواء الخارج إلى المرشح الحيوي، ويتم تجميع الرشاحة وإعادة تدويرها ضمن النظام ومعالجتها	الروائح تعالج عن طريق تحويل تيار الهواء الخارج إلى المرشح الحيوي، ويتم تجميع الرشاحة وإعادة تدويرها ضمن النظام ومعالجتها
الكلفة	كبيرة نوعا ما وتحدد بحسب كل بلد وحسب حجم المواد الداخلة	كبيرة نوعا ما وتحدد بحسب كل بلد وحسب حجم المواد الداخلة

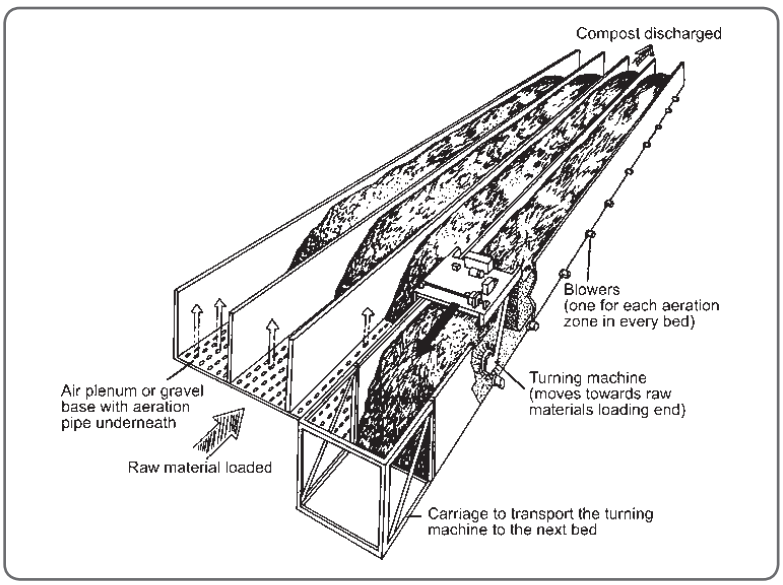
8-5-6- التحويل إلى كومبوست في القنوات والأنفاق (Channel/Tunnel Composting)

يتم التخمير الرئيسي والإنضاج للنفايات العضوية ضمن نظام القنوات (Channels) في قنوات مفتوحة من الأعلى مفصولة عن بعضها بجدران، كما في

الشكل (8-16). يتم فيها إدخال وتقليب المواد في بالات خاصة تتحرك على الجدران الجانبية للقناة. يتم تهوية كل قناة بشكل منفصل تهوية قسرية من خلال فتحات تهوية في قاعدة كل قناة عبر عمليات الضخ مع التقليب حتى يتم الحصول على درجة الكومبست المطلوبة، من أجل التخفيف من انبعاث الروائح والغازات الخطرة/ الضارة من المحطة يتم عادة وضع القنوات في صالات كبيرة مغلقة، تخضع هذه الصالات للتهوية وتجديد الهواء. ويتم إعادة تدوير الهواء فيها بين أقسام المحطة المختلفة، والهواء العادم من جميع أقسام المحطة يتم جمعه وتوجيهه إلى مرشح حيوي غالباً ليتم تنقيته بهدف التقليل من الانبعاثات الغازية الخطرة/الضارة والروائح المزعجة.

الشكل 8-16:

نموذج لنظام القنوات لتحويل النفايات إلى كمبوست.



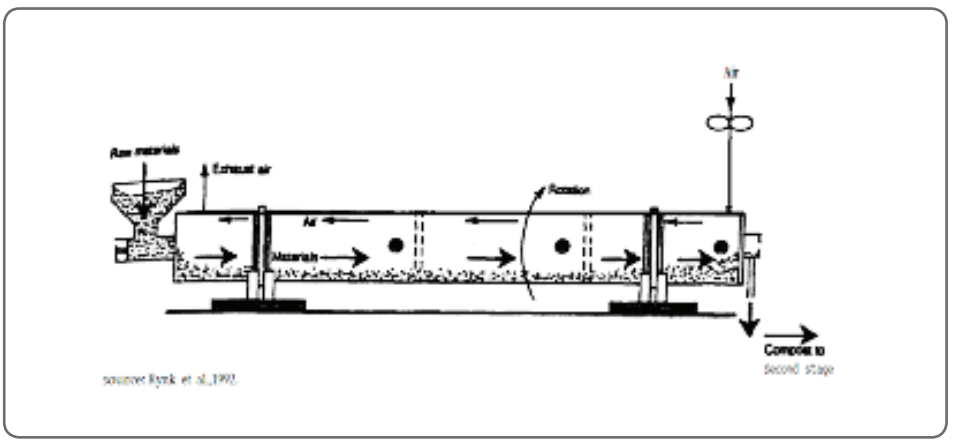
يختلف نظام الأنفاق (Tunnels) عن القنوات بأن الأنفاق مغلقة من الأعلى وتتشابه مع الحاويات والصناديق لكنها أكثر طولاً، حيث يعالج كل نفق كمية من النفايات تزيد عن 5000 طن في السنة. يتم تهوية الأنفاق قسرياً عبر سحب الهواء

أو ضخه من خلال نافثات الهواء (Blowers) كما في الشكل (8-17)، ويعاد استخدام الهواء عدة مرات حتى يتحول إلى هواء عادم تتم تنقيته عبر اجهزة تنقية الهواء.

تبقى المواد في النفق من أسبوع حتى ثلاثة أسابيع حسب الدرجة المطلوبة من الكمبوست. في حالة الطلب على كمبوست ناضج فإنه يجب وضع المواد في مرحلة الإنضاج على شكل أكوام مصفوفة. يتم ملء الأنفاق وإفراغها بواسطة الجرافات الصغيرة (تراكس).

الشكل 8-17:

نموذج لنظام الأنفاق لتحويل النفايات إلى كمبوست.



ويتم ضبط العمليات آلياً عن طريق التحكم بدرجات الحرارة ومحتوى الأكسجين والضغط. رطوبة الهواء المضخوخ وكميته تبقى اختيارية، ويتم تصحيح الأعطال الحاصلة عبر التحكم بمضخات الهواء ومضخات المياه.

ويعرض الجدول أدناه ميزات وخصائص نظام القنوات والأنفاق في محطات التحويل إلى كمبوست.

الجدول (8-5):
ميزات وخصائص نظام القنوات والأنفاق في محطات التحويل إلى كمبوست.

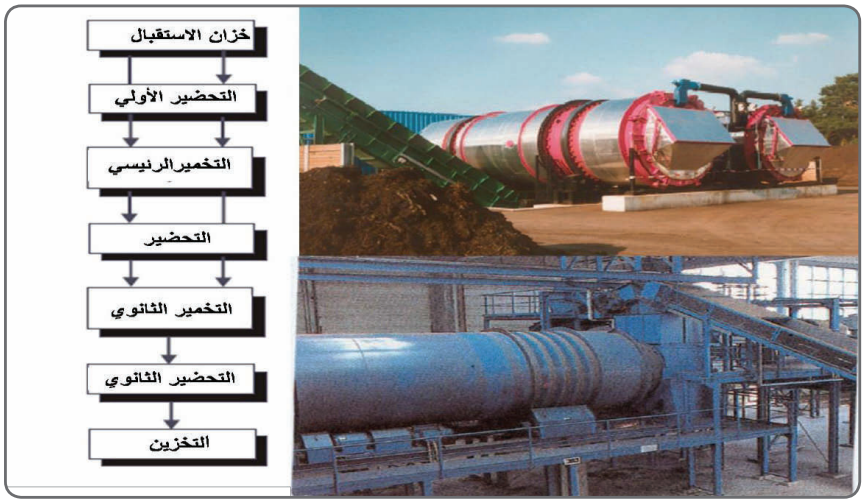
	القنوات	الانفاق
مدة التخمير الأولي	9-11 أسبوعاً	10-14 يومياً
مدة الإنضاج	لا يتم هنا التمييز بين التخمير الثانوي (الإنضاج) والرئيسي	8 - 12 أسبوعاً في كومات مصفوفة مهواة طبيعياً موضوعة تحت سقف
استطاعة المعالجة	1000-1500 طن/سنة لكل قناة	1000-1500 طن/سنة لكل نفق
المساحة اللازمة	متوسط 0.6-0.7 م2/طن سنة	متوسط 0.6-0.7 $م^2$/طن سنة
امكانية التوسع	جيدة جداً عن طريق إضافة قنوات جديدة في حالة زيادة معدل النفايات	جيدة جداً عن طريق زيادة عدد الانفاق
نوع النفايات المعالجة	نفايات خضراء ومنزلية، ونفايات الأسواق ومختلطة	نفايات خضراء ومنزلية، ونفايات الأسواق ومختلطة
امكانية التحكم بالعمليات (الرطوبة، O2 ، الحرارة)	ضخ الأوكسجين بناء على نسبة CO_2 في الهواء الخارج من الصندوق يتم آلياً، الترطيب والتحكم بالحرارة ممكن	ضخ الأوكسجين بناء على نسبة CO_2 في الهواء الخارج من الصندوق يتم آلياً، الترطيب والتحكم بالحرارة ممكن
الانبعاثات الصادرة وكيفية التحكم	الروائح تعالج عن طريق تحويل تيار الهواء الخارج إلى المرشح الحيوي، ويتم تجميع الرشاحة وإعادة تدويرها ضمن النظام ومعالجتها	الروائح تعالج عن طريق تحويل تيار الهواء الخارج إلى المرشح الحيوي، ويتم تجميع الرشاحة وإعادة تدويرها ضمن النظام ومعالجتها
الكلفة	كبيرة نوعاً ما وتحدد بحسب كل بلد وحسب حجم المواد الداخلة	كبيرة نوعاً ما وتحدد بحسب كل بلد وحسب حجم المواد الداخلة

8-5-7-التحويل إلى كومبوست في الاسطوانات الدوارة (Rotary Drum Composting)

ينتشر استخدام أسطوانات التخمير بشكل رئيس في التحويل إلى كومبوست للنفايات المختلطة غير المفروزة. من خلال الحركة الدورانية لاسطوانات التخمير، يتم خلط النفايات ومجانستها وحتى أحيانا تقطيعها وبنفس الوقت يتم تهويتها إما قسرياً في حالة المحطات الكبيرة أو طبيعيا من خلال ثقوب في الأسطوانات في حالة المحطات ذات الكميات الصغيرة. يمكن استخدام أسطوانات التخمير فقط للتخمير الرئيسي، حيث تستمر فترة بقاء المواد في الأسطوانة من 1 إلى 7 أيام. أسطوانات التخمير ذات مدة البقاء الصغيرة تؤدي عادة مهمة تحضير أولي للنفايات، حيث تتم عملية تعقيم المواد في هذه الحالة فقط في مرحلة الإنضاج. يبين الشكل (8-18) نموذج من نظام الأسطوانات الدوارة في محطات التحويل إلى كومبوست [97]. ويمكن أن تسير العمليات وفق خطين مختلفين حتى مرحلة الإنضاج وذلك تبعاً للشركات المصممة لهذا النموذج.

الشكل 8-18:

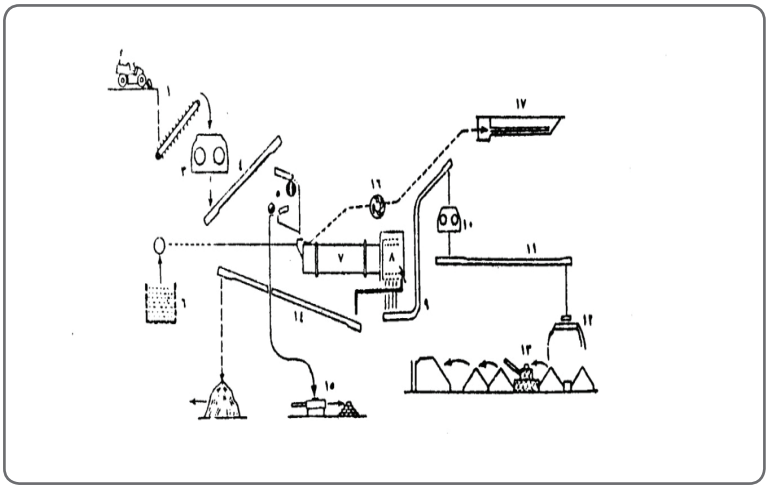
نموذج لنظام الاسطوانة الدوارة لتحويل النفايات إلى كومبوست، مع مخطط سير العمليات



كما تضاف في بعض الحالات الحمأة الناتجة عن محطات تنقية مياه المجاري إلى النفايات المعدة للتحويل إلى كمبوست، كما في الشكل أدناه.

الشكل 8-19:

المكونات الأساسية لمحطة تحويل النفايات إلى كمبوست بنظام الأسطوانة الدوارة.



1. محطة الاستلام 2. ناقل ذو عوأرض 3. مطحنة مطرقية بمحورين 4. ناقل جنازير 5. مزيل المعادن المغناطيسي 6. خزان لحمأة مياه المجاري 7. الأسطوانة الدوارة 8. غربال محوري 9. جنازير 10 . مطحنة مطرقية بمحورين 11. ناقل جنازير 12 . ناقل حزامي 13. مازج هوائي دوار 14. جنزير للمرفوضات 15 ضاغط المواد الحديدية 16 مروحة 17 مصفاة

ويبين الجدول (8-6) ميزات نظام الأسطوانات الدوارة لتحويل النفايات إلى محسنات التربة.

الجدول 8-6:

ميزات نظام الاسطوانات الدوارة لتحويل النفايات إلى محسنات التربة.

مدة التخمير الأولية	1-10 أيام
مدة التخمير الثانوية (الانضاج)	8-10 أسابيع في كومات مصفوفة مهواة طبيعيا أو قسرياً
الاستطاعة الإنتاجية	1300-3000 طن/سنة لكل أسطوانة
المساحة الازمة	وسطياً 0.6-0.7 م2/(طن. سنة)
إمكانية التوسيع	جيدة جداً عن طريق إضافة أسطوانات جديدة في حالة زيادة معدل إنتاج النفايات
نوع النفاية المعالجة	.....
إمكانية التحكم بالعمليات (الرطوبة، الحرارة، O2)	في الهواء الخارج يتم آلياً، CO_2 ضخ الأكسجين بناء على نسبة الترطيب والتحكم بالحرارة ممكن
الإنبعاثات الصادرة وكيفية التحكم	الروائح تعالج عن طريق تحويل تيار الهواء الخارج إلى المرشح الحيوي، ويتم تجميع الرشاحة وإعادة تدويرها ضمن النظام ومعالجتها
الكلفة	الكلفة الكلية الكبيرة نوعاً ما لكن كلفة التشغيل أقل وتحديد بحسب كل بلد وحسب حجم المواد الداخلة

8-6- ضبط الرائحة في مصانع التحويل إلى كمبوست (محسنات التربة):

تنتج أغلب مشاكل الرائحة في عمليات التحويل إلى كومبوست بسبب تطور ظروف لا هوائية ضمن كتلة النفايات أثناء تحللها. ومن الشائع وجود قطع من المجلات أو الكتب، وبلاستيك في النفايات المعدة للتحويل. هذه المواد تحتاج إلى فترة طويلة حتى تتحلل، وعلاوة على ذلك فإن الأكسجين يكون غير كاف في مركز هذه المواد وستنشأ ظروف لا هوائية يرافقها إنتاج أحماض عضوية العديد منها له رائحة قوية. لتقليل مشاكل الرائحة يلزم تقليل أبعاد المواد المعدة للتحويل وإزالة البلاستيك والمرفوضات الأخرى غير القابلة للتحلل.

8-7- المراقبة الدورية لعملية التحويل إلى كمبوست (محسنات التربة):

إن عملية التحويل إلى محسنات التربة سهلة وطبيعية، غير أن بعض المشاكل

قد تظهر حال وجود ظروف غير صحيحة، لذا فإن المراقبة الدورية لعملية التحويل إلى محسنات التربة ضرورية خاصة عند مزج مكونات نفايات مختلفة فيها، ويُبين الجدول (8-7) موجهات عامة لمراقبة عمليات التحويل إلى كمبوست (محسنات التربة)، ونوع المراقبة حسب المشاكل الواقعية.

الجدول 8-7:

موجهات عامة لمراقبة عمليات التحويل إلى كمبوست (محسنات التربة).

المنشط	المراقبة المطلوبة	زمن المراقبة	الحالة والطريقة
محتوى الرطوبة	التهوية	كلما تم التقليب	أخذ عينة باليد وعصرها ليدل الانتفاخ البسيط في الكرة المتكونة في اليد على رطوبتها (مؤشرة إلى 50% رطوبة) عند عصر كفة اليد الممتلئة تنبثق قطرات بسيطة من الماء.
درجة الحرارة	تهوية كافية	كل يوم	درجة الحرارة على عمق المتر الواحد لا تتجاوز (6 م°) أقل من عمق 0.3 متراً.
	نشاط التحويل إلى محسنات التربة	كل يوم أثناء فترة التحويل إلى محسنات التربة النشط	يُستخدم قضيب خشبي أو معدني ويوضع داخل الكومة لمدة 15 دقيقة. وتد من المعدن أو الخشب حوالي 300 إلى 600 ملم يُدخل في الكومة ويُترك لمدة 15 دقيقة. بعد ذلك الجزء المغمور من الوتد في الكومة يشعر بأنه ساخن جداً غير أنه يمكن إمساكه كما ويجب أن يظهر أنه رطب. يُستخدم ثيرمومتر كحولي مع ثيرمومتر زئبقي.
الأمونيا	تهوية كاملة	أثناء عملية التحويل إلى محسنات التربة	وجود رائحة النشادر. اكتشاف روائح كبريتية أو من مركبات كبريتية وغيرها من الروائح ذات الصلة بالرائحة المتعفنة في المراحل الأولى من التحويل إلى محسنات التربة تدل على فشل ابتدائي منه في استخدام التسخين الأمثل للنظام ويمكن التأكد منه باستخدام الثيرمومتر.

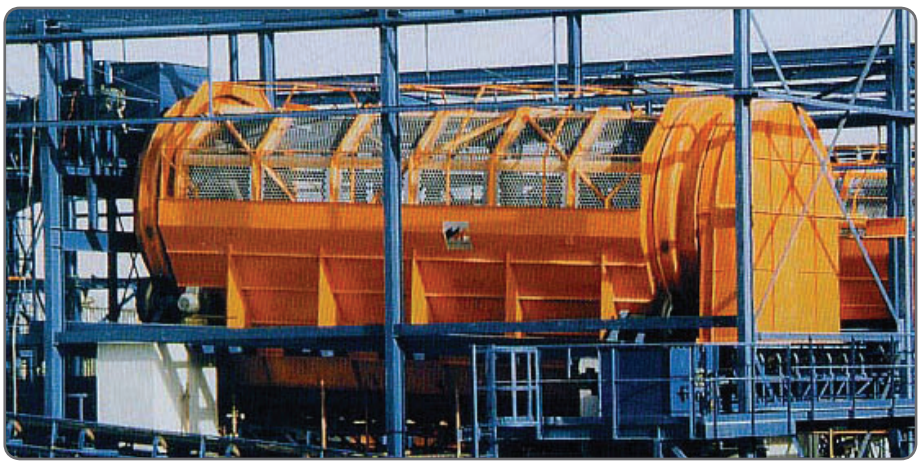
الجراثيم	سِجل درجة الحرارة	كل يوم	4 أيام لدرجة حرارة 65 درجة مئوية، أو 15 يوماً متتالية لدرجة حرارة 55 درجة مئوية.
	إدارة الإمداد والسماد	أثناء عمليات الشحن والمعالجة	تُستخدم أجهزة منفصلة، وأدوات نظيفة.
الحجم	مستوى التحلل الهوائي	أثناء فترة التحويل إلى محسنات التربة النشط	قلة الحجم تدل على حدوث التحلل الهوائي.
الذباب	نشاط التحويل إلى محسنات التربة	أثناء الفترة الأولى من التحويل إلى محسنات التربة النشط	يرقات الذباب يمكن أن تظهر في المناطق الباردة من كومة التحويل إلى محسنات التربة وعلى السطح في البداية.
درجة تفتت المواد العضوية	اللون	أثناء عملية التحويل إلى محسنات التربة	أصفر/بني:لم تتفتت بعد. بني داكن: تفتت جزئي. أسود بني داكن: مواد عضوية متفتتة.
استقرار السماد	سِجل درجة الحرارة	أثناء فترة النضج والمعالجة	تتناقص درجة الحرارة في كتلة التحويل إلى محسنات التربة إلى ما يقارب المستويات المحيطة.

8-8- التحضير النهائي للكمبوست (محسنات التربة):

يتم التحضير النهائي للكمبوست بعد الانتهاء من مرحلة الانضاج، وقد يتم التحضير في مرحلة التحلل الرئيسي بعد مراعاة شروط وعوامل (بارامترات) التحلل الهوائي من رطوبة ودرجة حرارة وغيرها. والهدف الأساسي من هذه المرحلة هو تصنيع الكمبوست اللازم لكافة الاستخدامات، وإزالة الأجزاء التي لم يتم تفكيكها من الكمبوست كبقايا الأخشاب والحجارة والمواد البلاستيكية والزجاجية المتبقية من عمليات التحضير الأولى. يتم ذلك عبر المناخل مختلفة الأقطار، الشكل (8-20)، وأيضاً باستخدام فرازة النايلون والحجارة والزجاج، ومن ثم فرامات ومطاحن لتامين أنواع الكمبوست للاستخدامات المختلفة.

الشكل 8-20:

أحد نماذج الغرابيل الدوارة المستخدمة لازاله الشوائب من الكمبوست.



تنشأ عن عملية التحضير النهائي للمواد المخمرة روائح وغبار بالدرجة الأولى، إضافة إلى الضجيج الصادر عن عمل الأليات. يتم التحكم بهذه الانبعاثات عبر إجراء العمليات في طقس جيد قليل الرياح أوعن طريق وضع هذه المنشآت ضمن صالة مسقوفة أو مغلقة وتهوية هذه الصالة ومن ثم ضخ الهواء الملوث إلى مرشح حيوي أو مبادل غاز لتنقيته.

8-9- تخزين الكمبوست (محسنات التربة):

يتم تخزين الكمبوست في محطات التحويل في مكان يجهز لهذا الغرض. ويشغل مكان تخزين الكمبوست مساحة واسعة من المحطة تأتي بالمرتبة الثانية من حيث توزيع المساحات المطلوبة للأقسام المختلفة بعد المساحة المخصصة للتخمير.

إن الغاية من تخزين الكمبوست الناتج هو إعطاء السماد فترة إضافية لمتابعة عملية تثبيت المواد من أجل الحصول في أي وقت على كمبوست صحي للتربة وبدون رائحة تذكر، يخدم تخزين الكمبوست أيضاً تغطية حاجة السوق في كل الأوقات، وخصوصاً في الفترات الموسمية التي يقل فيها إنتاج المحطة بسبب قلة النفايات الأولية الداخلة إلى المحطة.

يجب أن يجهز المخزن بحيث يؤمن حماية الكمبوست من تأثير الملوثات وتغيرات الطقس كالأمطار والرياح، وأيضا للحماية من أشعة الشمس القوية التي قد تؤذي إلى حرق الكمبوست وغير ذلك، وبالتالي يحافظ على الكمبوست ضمن الجودة المطلوبة.

للحفاظ على جودة الكمبوست المخزن فإنه من الأفضل تخزينه ضمن صالة مغلقة كما في المحطات الضخمة، أو وضعه تحت سقف في المحطات متوسطة الحجم والصغيرة. كما يجب تجهيز أرضية المخزن بحيث تكون كتيمة (غير منفذة) ومائلة من أجل منع تجمع أي سوائل عليها، تستمر فترة تخزين الكمبوست من يوم واحد إلى عدة أشهر حسب مطالب السوق، يوضع خلاله الكمبوست ضمن أكوام لا يتجاوز ارتفاعها (1.5م) من أجل ضمان عدم تشكل بؤر لاهوائية داخل الكمبوست تؤدي إلى نشوء الروائح حيث إن عملية إنضاج الكمبوست قد تستمر خلال فترة التخزين.

تكون الانبعاثات الصادرة عن قسم تخزين الكمبوست قليلة مقارنة مع بقية الأقسام، وتصدر رائحة غير قوية في حالة الكمبوست الناضج. وأثناء عملية تعبئة الكمبوست من أجل تسويقه ينبعث الغبار.

يمكن التقليل من تأثير هذه الانبعاثات على الوسط المحيط عن طريق بناء سقف وجدران للمخزن.

8-10- مردود عملية التحويل إلى كمبوست (محسنات التربة):

يعرف مردود التحويل بأنه نسبة كمية الكمبوست إلى كمية النفايات الواصلة للمصنع بما فيها المرفوضات غير القابلة للتحلل.

ويتأثر مردود التحويل بعاملين أساسيين هما:

- الأول: تركيب النفايات الواصلة لمصنع التحويل وخاصة نسبة المرفوضات والمواد البطيئة التحلل.

- الثاني: نوعية السماد المطلوب إنتاجه إذ ينتج عن تحلل المواد العضوية انطلاق لغاز ثاني أكسيد الكربون وماء يتبخر بسبب درجة الحرارة العالية في كتلة النفايات.

بفرض أن كتلة المرفوضات تعادل 25% من كتلة النفايات الواصلة لمعمل التحويل، وأن النسبة المتوسطة للفاقد نتيجة انطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون وتبخر الماء الناتج عن التحلل تساوي 50% من نسبة المواد العضوية فيكون مردود التحويل إلى كومبوست 37.5%.

8-11- تحديد أبعاد منشأة تحويل النفايات إلى كمبوست بالأكوام الطويلة[98]:

تتألف منشأة التحويل بشكل أساسي من حفرة استلام النفايات، ومن أجهزة فرم النفايات ومن سطوح التخمر والإنضاج النهائي.

أ-سعة تخزين حفرة استلام النفايات:

تصمم حفرة استلام النفايات لتستوعب من ضعف إلى ضعفي حجم النفايات الواصلة يومياً من البلدة. إذا لم تتوافر حفرة طبيعية فيمكن إنشاء وعاء بحجم يصل إلى 150 م3، أو تنشئ حفرة خرسانية مع آلية للنقل.

ب- تدفق المنشأة:

للأخذ بعين الاعتبار عدد ساعات العمل الأسبوعية في مصنع تحويل النفايات إلى محسنات التربة نحدد أقل تدفق النفايات الواصلة في الساعة الواجب معالجته في المنشأة خاصة في أجهزة الفرم.

نحصل على أقل تدفق في الساعة اعتماداً على كمية النفايات الواصلة أسبوعياً وفق العلاقة (8-4):

$$QH = 1.2 \, X \frac{tm_s}{DS} \quad (4-8)$$

حيث:

Tms: كمية النفايات الواصلة أسبوعياً (طن).

DS: عدد ساعات تشغيل المصنع أسبوعياً وتحسب من العلاقة (8-5):

$$DS = 8M.N \qquad (8-5)$$

حيث: M: عدد أيام العمل في الأسبوع.

N: عدد ورديات العمل يومياً.

أما العامل 1.2 فيمثل مختلف التوقفات المحتملة (أعطال في جهاز الفرم... إلخ)، بينما في حالة التوقفات الطويلة المدة، فيلجأ إلى تفريغ النفايات في مطمر مُنشَأ بجوار مصنع الكمبوست ويستلم المطمر أيضاً في حالة التشغيل الفعلي للمصنع، المرفوضات غير القابلة للتحلل الحيوي، والتي لم تسترجع لإعادة استغلالها، والتي تتراوح نسبتها بين (20-40)%ومن كتلة النفايات الواصلة.

ج- مساحة الاسطح اللازمة للتخمير والإنضاج في حالة الأكوام الطويلة:

تتبع مساحة الاسطح اللازمة لأسلوب التهوية، وعدد السكان، وكمية إنتاج النفايات للشخص الواحد باليوم، كمية المواد العضوية التي تخضع للتحويل، الكتلة الحجمية للنفايات القابلة للتحلل يومياً، عرض الكومة، الحمولة المسموحة للنفايات في واحدة المساحة (متر مربع واحد) من مساحة التخمير، ولزمن المكوث على السطح.

تتراوح مدة التحلل في حالة التهوية الطبيعية للخطوط الطولية للنفايات بين شهرين وستة أشهر.

تعطى مساحة سطح التخمير بالعلاقة (8-6):

$$S = \frac{m \times n}{Q} \quad (6-8)$$

حيث:m :كتلة النفايات اليومية المعدة للتحويل إلى محسنات التربة (طن).

n: عدد أيام مكوث النفايات في ساحات التخمير.

Q: الحمولة المسموحة (طن/م2).

في حالة التهوية الطبيعية تأخذ Q قيمة مساوية (0.75)طن/م^2 أثناء مرحلة التخمير، وفي مرحلة الانضاج تقبل حمولة مسموحة قدرها (1.5) طن/م 2. أما في حالة التهوية القسرية فيتراوح زمن مكوث النفايات بين (4-15) يوماً، وتؤخذ الحمولة المسموحة بقيمة (1)طن/م 2، وفي مرحلة الانضاج فتقبل حمولة مسموحة قدرها (1.5)طن/م^2.

مثال (8-3):

احسب مساحة الساحة اللازمة لاستيعاب أكوام النفايات التي يخلفها سكان بلدة لتنفيذ تحويل النفايات إلى محسنات التربة باعتماد أسلوب التهوية الطبيعية بالتقليب الطولي ثم بالتقليب العرضي، علماً أن عدد سكان البلدة 60 ألف نسمة ويخلف الشخص الواحد 1،25 Kg/day منها 1.00 كيلو غرام في اليوم مواد عضوية تفصل لتخضع للتحويل، الكتلة الحجمية للنفايات القابلة للتحويل 375 Kg/m3، تنفذ أكوام النفايات بعرض 4 m عند القاعدة والحمولة المسموحة للنفايات في وحدة المساحة من مساحة التحلل الهوائي0,75 Kg / m2.

الحل:

لنحسب كمية النفايات القابلة للتحويل والتي يخلفها سكان البلدة يومياً:

$$60000 \times 1 = 60 \text{ ton}$$

المساحة الأساسية اللازمة للأكوام يومياً = كتلة النفايات القابلة للتحلل يومياً / الحمولة المسموحة

$$= \frac{60}{0,75} = 80\ m^2$$

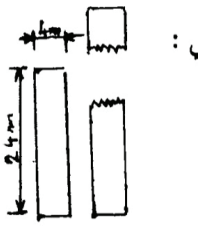
لنحسب ارتفاع الكومة = الحمولة المسموحة بالمتر المربع / الكتلة الحجمية للنفايات

$$\frac{0,75}{0,375} = 2\ m$$

لنحسب طول الكومة الأساسي اللازم يومياً = المساحة اللازمة يومياً / عرض الكومة

$$= \frac{80}{4} = 20\ m$$

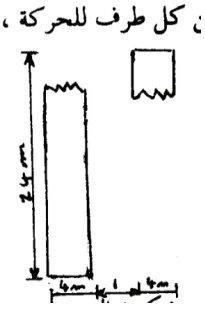
بما أن عرض الكومة في القمة أدنى من عرض الكومة في القاعدة لذلك يجب زيادة طول الكومة الأساسي بنسبة 20% لتعويض هذا الفارق في العرض.



الطول الأساسي يصبح:

$$20 + 0،20 \times 20 = 24\ m$$

أ- حالة التقليب الطولي للاكوام



في هذه الحالة يضاف لطول الكومة 5 أمتار لإنجاز التقليب الطولي. ويضاف أيضاً للطول 7 متر من كل طرف لتسهيل الحركة، وبالتالي يصبح الطول الكلي اللازم للكومة اليومية:

$$24 + 5 + 2 \times 7 = 43\ m$$

لنحسب العرض الكلي اللازم لإنجاز التقليب الطولي للأكوام.

بما أن عرض الكومة الواحدة 4 m ويضاف للعرض مسافة 1 m بين الكومة والأخرى فيصبح العرض اللازم 5 m، وبما أن مدة التخمر في الساحة 30 يوم فيكون العرض اللازم:

$$30 \times 5 = 150 \text{ m}$$

يضاف لهذا العرض مسافة 7 m من كل طرف ليصبح العرض الكلي:

$$150 + 2 \times 7 = 164 \text{ m}$$

أي أن المساحة اللازمة لساحة التخمير في حالة التقليب الطولي:

$$43 \times 164 = 7052 \text{ m2}$$

ب- حالة التقليب العرضي للأكوام:

- طول الكومة الكلي = طول الكومة الأساسي 24 m + 7 أمتار من كل طرف للحركة، أي طول الكومة الكلي:

$$24 + (2 \times 7) = 38 \text{ m}$$

- عرض الكومة الكلي = عرض الكومة الأساسي + المسافة بين الكومتين، أي عرض الكومة الكلي:

$$4 + 1 = 5 \text{ m}$$

بما أن مدة المكوث للتخمر في الساحة 30 يوم فيلزم إذن 30 كومة ويضاف 4 مساحات لتحقيق التقليب العرضي. فيكون العرض:

$$34 \times 5 = 170 \text{ m}$$

ويضاف للعرض مسافة 7 m من كل طرف لسهولة التشغيل فيصبح العرض الكلي:

$170 + 2 \times 7 = 184$ m

فتكون المساحة اللازمة لساحة التخمير في حالة التقليب العرضي:

$38 \times 184 = 6992$ m2

8-12- تصميم محطات التحويل إلى كمبوست

بعد دراسة نوعية النفايات، ومعرفة معدل تولدها وتحديد كميتها يتم البدء بعملية تصميم وتخطيط محطة التحويل إلى كمبوست التي تمر بالمراحل التالية:

1- تحديد الكمية التصميمية ونوعية النفايات التي ستعالجها المحطة (نفايات خضراء، نفايات منزلية، معالجة مشتركة لحمأة مياه الصرف الصحي منزوعة الماء مع النفايات المنزلية أو الخضراء).

2- تحديد ووصف الموقع الذي تم اختياره لإنشاء المحطة ويتضمن (تحضير الخرائط، تحديد البعد عن المباني السكنية).

3- اختيار تقنية التحويل إلى كمبوست المناسبة (من حيث التكلفة والفعالية وبأقل الانبعاثات الممكنة) وتحديد مخطط سير العمليات.

4- تحديد كمية النفايات التي تدخل كل قسم من أقسام المحطة (أي تحديد توازن الكتل) من أجل تحديد المساحة اللازمة.

5- وضع التصاميم اللازمة (معمارية وتقنية وكهربائية وميكانيكية) التي تبين المساحات والأبنية والتكنولوجيا المستخدمة.

6- إجراء التراخيص اللازمة (من مختلف المؤسسات المعنية).

7- وضع الخطة الزمنية اللازمة للإنشاء.

8- إنشاء المحطة.

أ- تحديد نوعية النفايات والكمية التصميمية

يتم تحديد نوعية النفايات وكميتها بالتعاون مع المؤسسات المعنية بجمع النفايات ومعالجتها (حالة النفايات البلدية)، وبالتعاون مع منتجي المخلفات الزراعية والصناعات الغذائية (حالة المخلفات الزراعية)، ومع مؤسسات الصرف الصحي في حالة معالجة حمأة مياه الصرف. يتم حساب الكميات الحالية للنفايات العضوية ومن ثم يتم التنبؤ بمعدل زيادة الكميات بالاعتماد على قوانين محددة تراعي زيادة عدد السكان وتطور المنطقة. تصمم محطات التحويل إلى كمبوست على أساس كمية النفايات القصوى التي ترد إلى المحطة في شهور السنة، حيث تجري دراسة لكمية النفايات اليومية والشهرية والسنوية ثم يتم التصميم على أساس أكبر كمية متولدة في الشهر. وهذه الكمية تختلف من مجتمع لآخر حسب النسيج الاجتماعي وحسب نظام جمع النفايات وزمن الترحيل.

يتم تحديد عمر تصميمي للمحطة يراعي فيه تطور وزيادة كمية النفايات المتولدة، ويجب أن تكون المحطة قادرة على معالجة الكميات المتزايدة من النفايات خلال هذا العمر الذي يؤخذ عادة مابين 15 و 30 عاماً.

ب- ظروف وشروط اختيار موقع محطات التحويل إلى كومبوست

عند دراسة وتصميم منشآت محطات التحويل إلى كمبوست فإنه يجب إجراء عملية مسح أولية وجمع معلومات كاملة عما يلي:

- استعمال الأرض والعوامل الطبوغرافية والجيولوجية
- الظروف المناخية وعوامل الطقس السائدة
- الظروف البيئية والاجتماعية المحلية

ويبين الجدول (8-8) أهمية الحصول على هذه المعلومات في عملية التخطيط والتصميم والبناء والتشغيل لمحطات التحويل إلى كمبوست.

الجدول 8-8:

أهداف المسح الأولي لموقع محطة التحويل إلى كمبوست في مرحلة التخطيط.

العملية	اهداف المسح	المعلومات التي يتم الحصول عليها
المسح الطبوغرافي	الحصول على الأرض اللازمة دعم وضع مخططات	حدود الأرض المفتوحة . خطوط الكنتور
	منشآت وأقسام المحطة	(ارتفاعات الأرض 1 م أو 0.5 م)
		. المساحة المجاورة
		. وضع شبكة الطرق الحالية
		. وجود الكهرباء ووجود الماء
		. مكان مصارف مياه الصرف الصحي والمياه المعالجة
	وضع خطة التحكم بمياه الامطار	. خطوط الكنتور 1 م أو 0.5 م
		. منطقة الصرف
		. موقع تصريف المياه
	دعم أشكال المسح الاخرى	. تحديد موقع الابار
		. تحديد مواقع نقاط اعتيان المياه
		. وضع البدائل والحلول التصميمية
المسح الجيولوجي	تصميم اساسات المنشآت	. خصائص التربة السطحية
		. منسوب المياه
		. تصميم مطمر النفايات
استعمال الأرضي	الحصول على الأرض اللازم	. نماذج استعمال الأرض والمساحات الحالية
	وضع مخططات منشات المحطة	. النماذج المخططة لاستعمال الاراضي والمساحات معدل هطول الأمطار
المسح المناخي	تصميم مصارف منشآت المطرية	السنوي والشهري

	تصميم المباني والمنشآت	معطيات إتجاه الرياح وشدتها
المسح البيئي (اجراء تقييم للأثر البيئي)	تجنب المشاكل البيئية الناجمة عن تشغيل المحطة	. المناطق المحمية والتراثية
		. المسطحات المائية (أنهار، بحيرات، بحار، مستنقعات
		. جودة المياه في الجداول والآبار القريبة
المسح الاجتماعي	تجنب المشاكل الاجتماعية التي قد تنشا عن تشغيل المحطة	السكان، المدارس، المشافي

ج- إختيار تقنية التحويل إلى كمبوست وتحديد المنشآت ووضع مخطط سير للعمليات

يتم اختيار تقنية التحويل إلى كمبوست المناسبة اعتمادا على نوعية النفايات (خضراء أو منزلية) وكميتها وكذلك مساحة الأرض المتوفرة وقربها وبعدها عن المباني السكنية. ويؤثر مدى توافر التقنية في البلد عاملاً مهماً في الاختيار، حيث تفضل التقنيات المغلقة في حالة القرب من المباني السكنية وعدم توفر مساحات الأراضي الكبيرة، بعد اختيار تقنية التخمير الملائمة من حيث التكلفة والنواحي البيئية يتم وضع مخطط لسير العمليات ضمن المحطة.

8-13-التدابير الوقائية لتشغيل معامل التحويل إلى كمبوست

هناك عدة طرق لتخفيض تعرض العمال وتقليل المخاطر الصحية من عملية صنع السماد:

- التدريب ورفع الوعي هو واحد من أفضل الأساليب لمنع المشاكل.

- العمال ومديرو المرفق يجب أن يتلقوا تدريباً مستمراً وتعليماً حول الصحة وقضايا السلامة.
- الأطفال، الكبار، النساء الحوامل والأفراد غير المحصنين يجب أن لا يعملوا في مرافق السماد طالما أنهم الأكثر عرضة للإصابة بالأمراض البكتيرية.
- المواد القابلة لأن تصبح سماداً يجب أن تفصل كذلك في المصدر لتقليل النفايات الخطرة، المعادن والزجاج والذي يمكن ان يسبب أذى للعمال.
- التدابير الوقائية الصحية الإضافية التي يجب أن تنجز في مرافق صنع الكمبوست:
- يلزم تشجيع العمال على المحافظة على مقاييس عالية من الصحة الفردية.
- يجب أن ترش منطقة صناعة السماد دورياً بالماء اثناء الحر، الجو الجاف لتقليل انتشار الغبار.
- يجب علي العاملين اتباع توجيهات السلامة والصحة المهنية الوقائية اثناء العمل.
- يجب على العمال أن يحموا أنفسهم بارتداء القفازات، الأقنعة والأحذية خلال العمليات مثل التصفية، التقليب والتي يمكن أن تتناثر فيها الأبواغ.
- خلال الظروف المعاكسة الجوية العمال يجب أن يشجعوا ليرتدوا الأقنعة والكمامات أو بعض المواد الأخرى لتغطية الفم أو الأنف لكي يتجنبوا استنشاق الغبار.

يجب أن يحقق تشغيل المرفق المتطلبات التشغيلية التالية:

- يجب أن يكون هناك موظف واحد في الموقع في كل الأوقات لمعاينة كل

المواد المسلمة لعملية صنع السماد، والذي سيرفض المواد التي فرزت بشكل غير مضبوط ليمنع دخول المواد غير المرخصة.

- يجب ان يكون الوصول إلى المرفق متحكماً به تماماً عبر التسييج مع بوابة تقفل في حال كان المرفق مغلقاً ولا يسمح بدخول الاشخاص غير المخول لهم بذلك.
- يجب أن يتموضع المرفق ويشغل بطريقة آمنة لمنع الظروف المؤذية القوية وخطر النيران. عندما تتواجد هذه الظروف فإن المشغل سوف يبادر فوراً لإلغائها.
- يجب أن لا تطبق أو تدمج مبيدات الفطريات، مبيدات الأعشاب، مبيدات الحشرات أو أية مبيدات أخرى في المواد المعالجة.
- يجب أن يؤسس المشغل وفقاً لمقاييس المعادن الثقيلة، وأن يُفحص دورياً درجة حرارة كتلة السماد، تراكيز الأوكسجين في كتلة السماد، محتوى الرطوبة، حجم الجزيئات، نضج السماد.
- يجب أن يتلقى العمال ومديري المرفق تدريباً مستمراً وتعليماً حول الصحة وقضايا السلامة والبيئة.
- يجب أن لا تقل درجة الحرارة في كتلة النفايات أثناء عملية الهضم عن 50 درجة مئوية لمدة خمسة عشر يوماً أو 60 درجة مئوية لمدة أربعة أيام.

8-14-مواصفات المواد الناتجة عن المعالجة:

أ- الكمبوست:

يجب أن يكون الكمبوست المنتج من المعمل ذا نوعية تحقق المواصفات والتوصيات الموضوعة من قبل الجهات الوطنية المختصة، أو من قبل منظمة الصحة العالمية (WHO) فيما يخص الحمل الجرثومي، وتركيز المعادن الثقيلة، وبحيث تتم مراقبة نوعية المنتج بشكل دوري من قبل لجنة تحددها الإدارة ضمن برنامج موضوع لهذه الغاية.

- يجب أن يحقق الكمبوست المنتج المعايير العالمية والمواصفات والمقاييس المتفق عليها، والتي منها:
- أن يكون المنتج انسيابياً ولونه بني مائل للسواد .
- يجب أن يمر (95%) منه على الأقل من خلال منخل قطر فتحته 12 مم .
- أن لا تكون له رائحة كريهة .
- أن يكون خالياً من أية مواد تسمم النبات، وأن لا يحتوي على بذور أو حشائش أو أعشاب أو أجزاء نباتية قد تنمو، أو بيوض الحشرات.
- أن لا يقل محتوى المادة العضوية به 50% بالكتلة ونسبة الكربون للنتروجين C/N لاتزيد عن 35/1 وأن لا يزيد محتواه من العناصر الثقيلة الملوثة عن المستويات المسموح بها حسب المواصفات.
- أن تتراوح قيمة الأس الهيدروجيني بين 6.5– 7.5.
- يجب أن لا تزيد نسبة الأملاح عن 1.5 %
- يجب أن لا يزيد محتواه من قطع المعادن والزجاج عن 1% بالكتلة على أساس وزن المادة الجافة
- يتراوح الوزن الحجمي للسماد الناتج بين (400–500) كغ/م ^{3}
- يعبأ المنتج في عبوات تتحمل ظروف النقل والتداول والتخزين مثل الأكياس البلاستيكية أو مواد صناعية مناسبة، ويفضل تزويدها بعدد من الثقوب لتسيير تبادل الغاز عند اللزوم
- أن تكون سعة العبوة على أساس الكتلة (كغ) أو الحجم (لتر) حسبما يتفق عليه بين الصانع والموزع
- أن يحفظ المنتج في أماكن جافة وجيدة التهوية ومزودة بوسائل صرف جيدة
- يسمح بتداول المنتج غير المعبأ داخل شاحنات مغلقة مع أخذ الاحتياطات اللازمة لعدم تعرضه للتلوث .

الفصل التاسع

الهضم الميكروبي اللاهوائي وتحويل النفايات الصلبة إلى غاز حيوي

Anaerobic digestion of solid waste

هو تفاعل كيمياحيوي بمعزل عن الهواء وتقنية بسيطة نسبياً، وملائمة لظروف الريف إذ يمكن أن تلبي متطلباته الأساسية من الطاقة (الغاز الحيوي)، كما أنها توفر سماداً عضوياً جيداً لرفع الإنتاجية الزراعية، مع إمكانية استخدامها في عمليات هضم الجزء العضوي من النفايات الصلبة البلدية، الأمر الذي تنامى مؤخراً نتيجة الحصول على فائض طاقة على شكل غاز حيوي.

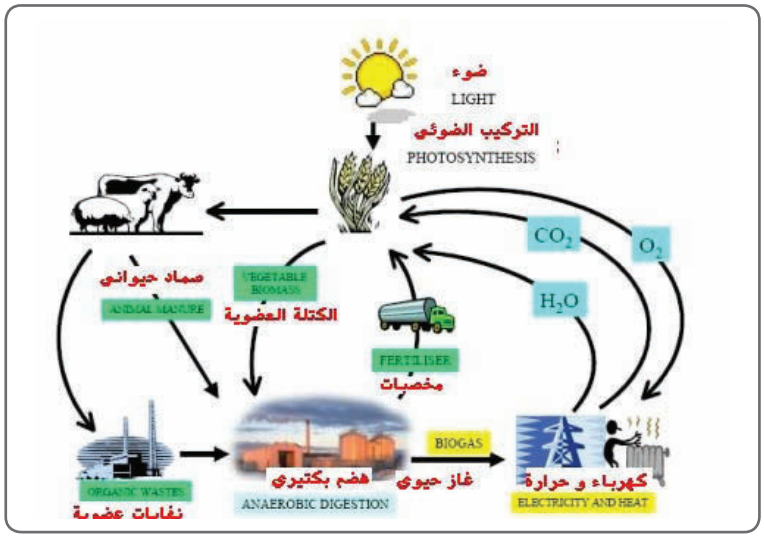
9-1- مبدأ الهضم اللاهوائي للنفايات

يمكن معالجة النفايات العضوية الموجودة في النفايات الصلبة البلدية هوائياً مع استهلاك للطاقة، لكن إزالة كل كيلوغرام من التلوث الكربوني تتطلب حوالي 2 كيلوغرام من الأكسجين، بيد أن معالجة النفايات العضوية بالهضم الميكروبي اللاهوائي Anaerobic Digestion الذي هو تفاعل كيمياحيوي بمعزل عن الهواء ينتج أيضاً مادة جافة تستخدم كمحسنات للتربة، إضافة لإنتاج فائض من الطاقة متمثلة في الغاز الحيوي .

وبشكل عام فإن دورة الغاز الحيوي في الطبيعة مبينة في الشكل (9-1)، وتقنية الهضم اللاهوائي بسيطة نسبياً وملائمة لظروف الريف في معظم الحالات، ويمكن أن تلبي متطلباته الأساسية من الطاقة كما أنها توفر سمادا عضوياً جيداً لرفع الإنتاجية الزراعية، كما يمكن استخدامها لهضم الجزء العضوي من النفايات الصلبة البلدية.

الشكل 9-1:

دورة الغاز الحيوي في الطبيعة.



لقد تنامى في السنوات الأخيرة استعمال عملية الهضم اللاهوائي للمحتوى العضوي للنفايات الصلبة، وذلك نتيجة الحصول على فائض طاقة على شكل غاز حيوي.

النواتج الغازية للهضم اللاهوائي نسبتها الأكبر هي الميثان وثاني أكسيد الكربون، كما مبين في العلاقة (9-1).

$$\text{Organics} + \text{microorganisms} \longrightarrow \text{microorganisms} + CH_4 + CO_2 \quad (9-1)$$

يشكل الغاز الحيوي خليط من الميثان (50-70)% وثاني أكسيد الكربون (25-20)% مع مجموعة غازات أخرى مثل كبريتيد الهيدروجين والنيتروجين تتراوح نسبتها بين 5%-10، والبيو غاز عديم اللون وله رائحة البيض الفاسد بسبب احتوائه على كبريتيد الهيدروجين، وليس هناك مخاطر سلامة عند استخدامه، إذ يحترق تماماً بدون دخان بعكس ما يحدث في حرق النفايات، وبذلك يتم تلافي أمراض العيون والجهاز التنفسي. وتتراوح القيمة الحرارية للغاز الحيوي بين6625-3170 كيلو كالوري/ م^3 تبعاً لمحتواه من غاز الميثان والذي تختلف نسبته بالمخلوط الغازي تبعاً لنوع المواد المتخمرة وكفاءة تشغيل وحدة البيو غاز. يتبقى بعد إنتاج الغاز الحيوي سماد عضوي جيد غني في محتواه من المادة العضوية والعناصر المغذية الكبرى والصغرى وبالكميات الملائمة للنبات فضلاً عن احتوائه على الفيتامينات ومنظمات النمو ويكون خالياً من الميكروبات الممرضة واليرقات وبيوض الديدان وبذور الحشائش حيث تهلك تماماً أثناء تخمر النفايات العضوية مما يجعله سماداً نظيفاً لا يلوث البيئة ولا خطورة من استخدامه في تسميد جميع المحاصيل[99].

يوجد عدد كبير من منشآت الهضم اللاهوائي في الكثير من دول العالم كألمانيا وفرنسا وبلجيكا وفنلندا والدنمارك والنمسا وبريطانيا وأمريكا وهولندا، لكن العدد الأكبر من هذه المنشآت موجود في الصين والهند حيث يوجد اليوم حوالى 20 مليون منشأة صغيرة لتوليد الغاز الحيوي في الصين، وحوالى 200 ألف في الهند. إن تطبيق الهضم اللاهوائي في معالجة النفايات الصلبة البلدية يتطلب فرزاً خاصاً للنفايات لتأمين عدم احتواء النواتج على ملوثات سامة.

9-2 -مراحل تكوين غاز الميثان في الهضم اللاهوائي:

ينتج غاز الميثان عن الهضم اللاهوائي بفضل تعايش تكافلي بين عائلتين من الأحياء الدقيقة هما البكتريا الصانعة للأحماض(Acidogenesis) والبكتريا الصانعة للميثان(Methanogens)، كما يظهر في المعادلة (9-2).

بكتريا ميثانية بكتريا حمضية

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 3\,CH_3COOH \longrightarrow 3\,CH_4 + 3CO_2 \quad (9-2)$$

ينفذ الهضم الميكروبي اللاهوائي ضمن أوعية معزولة عن الهواء تدعى هاضمات. ويضر كل خلل في التوازن بين سرعتي تصنيع الأحماض العضوية الطيارة وتفكيكها بالتشغيل الجيد للهاضمة خاصة وأن البكتريا الصانعة للميثان حساسة جداً للشروط الحامضية، ويتم الحفاظ على التوازن بين هاتين السرعتين بتوفير شروط دقيقة ومناسبة للوسط البيولوجي.

يوصف التعايش التكافلي بين هذين النوعين من الأحياء الدقيقة بمرحلتي تطور أساسيتين[100].

أ- حل المواد العضوية وتشكيل الحموض العضوية:

يتم في البداية حل المادة العضوية بوساطة أنزيمات بكتريا خاصة فتتحول السكريات العديدة إلى سكريات أحادية وثنائية وتتحول البروتينات إلى أحماض أمينية وتتحول الدهون إلى حموض دهنية، بعد ذلك تقوم البكتريا الصانعة للأحماض Acidogenesis بتحويل المواد المنحلة إلى أحماض عضوية طيارة (حامض النمليك، حامض الزيدة، حامض الخليك ...) وبعد ذلك تدخل مرحلة تحويل مختلف الأحماض إلى حامض الخليك.

ب- مرحلة تكوين الميثان:

تستخدم الحموض العضوية الطيارة كركيزة (Substrate) للبكتريا الصانعة للميثان(Methanogenesis) وينتج غاز الميثان.

9-3- العوامل المؤثرة في الهضم الميكروبي اللاهوائي:

تتعلق فعالية الهضم الميكروبي اللاهوائي وكثرة إنتاج الغاز الحيوي الغني بالميثان. بنشاط البكتريا الموجودة في الهاضمة وهذا النشاط هو رهين وجود ظروف ملائمة أهمها:

آ - **نسبة حموضة الوسط إلى قلويته:** بما أن الأحماض العضوية تحول من قبل البكتريا الميثانية لذا فإن انخفاض تركيزها يخفض من إنتاجية الميثان ، بيد أن تركيز الحموض العضوية يجب ألا يتجاوز حدود معينة تساوي 50%من قلوية الوسط مقدرة بالمكافئات الغرامية وإلا فيلزم رفع قلوية الوسط بإضافة إحدى مركبات الهيدروجينو كربونات HCO_3^- .

ب - **درجة حرارة الوسط:** تؤثر درجة حرارة الوسط على فعالية الهضم فدرجات الحرارة المنخفضة تثبط نشاط البكتريا ونصادف- تبعاً لدرجة حرارة الوسط نوعين من البكتريا:

- البكتريا الأليفة لدرجات الحرارة المعتدلة mesophile وتتواجد في درجات الحرارة بين 40 °C – 20 درجة مئوية بينما تكون في نشاطها الأقصى في درجات حرارة قريبة من 35°C – 30 درجة مئوية
- البكتريا الأليفة لدرجات الحرارة العالية Thermophile وتتواجد في درجات الحرارة بين 50 و 70 درجة مئوية بينما تكون في نشاطها الأقصى في درجات حرارة قريبة من 55°C درجة مئوية.

تتأثر البكتريا بشدة بالتغير السريع لدرجة الحرارة(4 C° درجة مئوية) فلقد لوحظ أن تغيراً غير كبير ولكن سريع يكفي لتثبيط نشاط

البكتريا لمدة طويلة وبالتالي إنتاج الغاز الحيوي، وتثير مسألة التحكم في درجة الحرارة داخل الهاضمة مشاكل تقنية وزيادة في نفقات الهاضمات وخاصة الكبيرة منها.

جـ - **التخفيف بالماء:** تخفف مادة النفايات العضوية بالماء لأسباب بيولوجية ومقتضيات تقنية، فالهضم اللاهوائي ونشاط الأحياء الدقيقة يحتاج إلى الماء كما أن الحاجة إلى جريان المادة الداخلة إلى الهاضمة والخارجة منها تتطلب إضافة كمية كبيرة من الماء إلى المادة العضوية الأصلية. ويستحسن أن يستعاض عن الماء العذب بمياه المجاري لأنها غنية بالمادة العضوية والبكتريا، وفي غالب الأحيان تكون كمية المادة الصلبة في الخليط داخل الهاضمة بين 5 -10 %، هذا في الهضم اللاهوائي الرطب، أما في الهضم الجاف فتكون كمية المادة الصلبة بين 20%-35%.

د - **عملية التقليب:** تساعد عملية التقليب على خلق حالة من التوازن الحراري للمادة داخل الهاضمة، وتساهم في تكسير الخبث الذي يتكون على سطح المادة المهضومة. وتعتبر تغذية الهاضمة يومياً بالمادة الجديدة وإخراج المادة المكافئة لها نوعاً من التقليب ولكنه غير كافٍ في كثير من الأحيان حيث تقتضي الحاجة تصميم محرك يقلب المادة المعالجة في الهاضمة.

9-4- طرائق هضم النفايات العضوية لاهوائياً:

من الطرائق المستخدمة لهضم النفايات العضوية لاهوائياً ما يلي:

9-4-1-الهضم اللاهوائي الرطب (محتوى منخفض من المواد الصلبة):

تتم عملية الهضم في هاضمات محكمة الإغلاق، حيث يضاف الماء بكمية كافية لتخفيض نسبة المواد الصلبة إلى حوالي 5% - 10% ويعدل الرقم الهيدروجيني إلى حوالي 6.8 – 7.5 ليتم التحلل اللاهوائي يلزم فترة أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع. وتتطلب العملية خلطاً جيداً لمنع تكون رغوة وطفو المواد على السطح. تتراوح كمية الغاز الحيوي الناتج من كل كيلوغرام من المادة الصلبة الجافة في النفايات ما بين

0.5 إلى 0.75 م^3. أمّا الحمأة الناتجة من عملية الهضم فيجب نزع الماء منها قبل التخلص أو الاستفادة منها، ومن ثم معالجة المياه الناتجة من عملية النزع.

9-4-2- الهضم اللاهوائي الجاف (محتوى عال من المواد الصلبة):

وهذه الطريقة شبيهه بالطريقة السابقة إلاّ أنها لا تتطلب إضافة كمية كبيرة من المياه وذلك لجعل تركيز المواد الصلبة الجافة أثناء عملية التحلل ما بين 20% إلى 35%. تتميز هذه الطريقة بإنتاج كمية أكبر من الغاز تصل إلى 1.0 م3 لكل كغ من المواد الصلبة، ولكنها تحتاج لفترة أطول (3 إلى 4) أسابيع لإتمام عملية التحلل. ولكن ونتيجة لقلة نسبة الماء فإن تأثير تغير ظروف التشغيل على فاعلية العملية يكون أكثر حدة مقارنة بالطريقة السابقة.

9-5- أشكال منشآت توليد الغاز الحيوي:

يُستخدم اليوم شكلان من أشكال منشآت توليد الغاز الحيوي، وهما:

1. المنشآت التي تستعمل فقط المخلفات الزراعية وبقايا الإنتاج الزراعي.
2. المنشآت التي تستخدم المخلفات الزراعية، بالإضافة إلى النفايات العضوية من النفايات الصلبة البلدية. هذا وينبغي التمييز بين المنشآت الريفية والمنشآت في المدن الكبيرة والصغيرة.

إن منشآت الغاز الحيوي الموجودة في القطاع الزراعي تستخدم روث حظائر الأبقار والعجول و الدواجن وفضلاتها كمادة أساسية. كذلك، هناك حوالي 93% من المنشآت تعتمد على دمج المواد العضوية وتخميرها. ومن الجدير ذكره هنا أنّ كلاً من بقايا الحصاد والفضلات النباتية، الخبز اليابس، بقايا الأطعمة، المخلَّفات العضوية، الحشائش وبقايا الأعلاف، بقايا معامل الأغذية، بقايا الخضار والفاكهة، بقايا مصانع الألبان والأجبان، وفضلات مصانع معالجة قصب السكر والشوندر السكري، تُعتبرَ جميعاً مواداً قابلة للدمج.

إنّ الاتجاه السائد اليوم في بناء منشآت توليد الغاز الحيوي واستثمارها يهدف إلى خلط على الأكثر من مادتين مختلفتين، بكميات ثابتة ومدروسة، وبتدفق منتظم إلى حوض التخمير. هذا الإجراء يقود إلى عمليات تخمير أكثر استقراراً وإلى نواتج طاقة أعلى مردوداً وأكثر تجانساً. إلاّ أنَّ هذا الشكل للتخمير يتطلب مراقبة وإدارة جيدين، كما يحتاج إلى اهتمام كبير بالشروط الحدِّية للهضم.

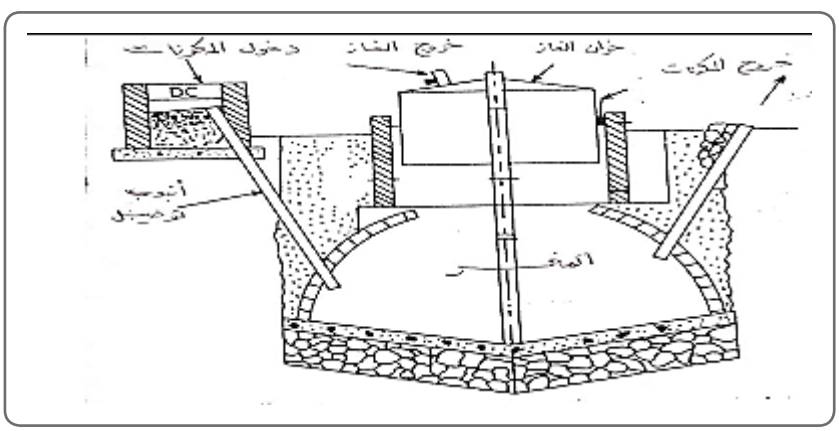
9-5-1-النظام التقليدي الصيني:

تتكون الهاضمة من حجرة تبنى تحت سطح الأرض وتحتوي على فتحتين مرتبطتين بحوض دخول وخروج المادة العضوية. أما الغاز الحيوي المتشكل فيخرج من أنبوب صغير مثبت في قمة الاسطوانة، الشكل (9-2)[101].

عند ازدياد كمية الغاز الحيوي المتشكل فإنه يضغط على المادة المهضومة ويزداد ضغط الغاز الحيوي المتولد، لكن رغم ذلك فإن النظام التقليدي الصيني ذو السقف الثابت كثير الانتشار في انحاء العالم لبساطة هندسته وقلة تكلفته نتيجة لغياب عمليات التسخين والخلط الميكانيكي.

الشكل 9-2:

أحد نماذج الهاضمات وفق النظام الصيني التقليدي



9-5-2- النظام التقليدي الهندي كافيك (Kivic):

تتكون الهاضمة كافيك من بئر مبني يعلوه غطاء معدني مستدير يقوم بمهمة خزان للغاز الحيوي فهو يعلو ويهبط تبعاً لكمية الغاز الحيوي المجمعة فيه وهو طافٍ فوق الخليط المهضوم مكوناً في نفس الوقت حاجزاً بين الغاز الحيوي والهواء الخارجي.

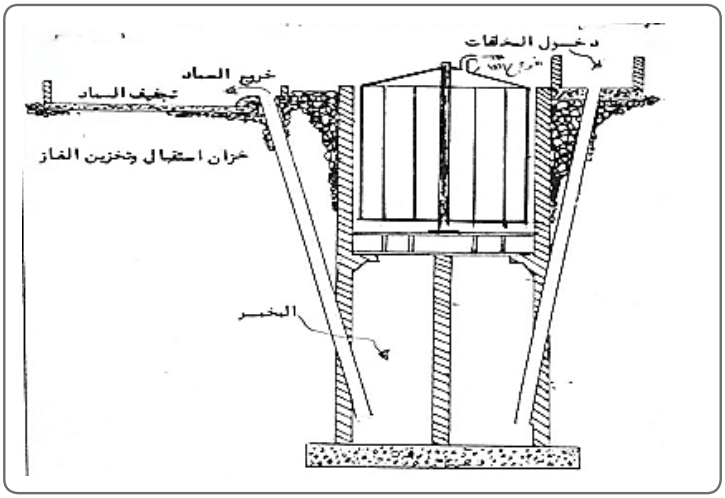
وتدخل النفايات العضوية إلى الهاضمة عن طريق ماسورة تفتح على حوض التغذية ثم تخرج بطريقة هيدروديناميكية.

ويبنى وسط الهاضمة حائط عمودي ينصف البئر حسب قطر دائرة حيث يقسمه إلى قسمين متساويين ووجود هذا الحائط يكيف مسار الخليط داخل الهاضمة مما يؤدي إلى تحديد مسار الخليط أي أنه عندما يدخل الخليط عبر الماسورة يرتفع ليصل فوق الحائط ثم ليهبط ضمن القسم الثاني حيث يسحب جزء من المادة المهضومة عبر ماسورة الخروج كما في الشكل (9-3).

ويتميز هذا النظام من الهاضمات بأن ضغط الغاز خلال الاستعمال لا يتغير كثيراً لأن مقداره مرتبط أساساً بثقل الخزان وقطره.

الشكل 9-3:

المكونات الرئيسية للهاضمة كافيك



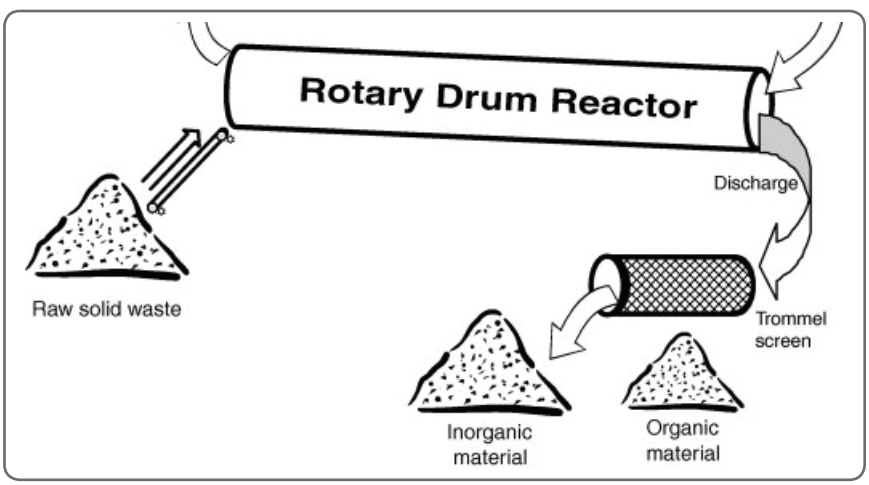
إن وجود خزان معدني في وسط مائي يؤدي إلى صدأ وتآكل ويعرضه إلى الحاجة للصيانة المتواصلة وحتى لتغييره مع مرور الزمن وتفادياً لهذا فلقد اتجه البعض إلى تبديل المعدن بمادة بلاستيكية أخف وزناً وأكثر مناعة ضد التآكل. وهاضمات كافيك لاتحتوي على تجهيزات للتسخين والتقليب الميكانيكي.

9-5-3- الهاضمات ذات الأحواض الأفقية مع خلط للمحتويات:

يتألف مفاعل الهضم اللاهوائي من حوض افقي قابل للدوران كما في الشكل (9-4)، أو مجهز بخلاطة ميكانيكية، كما يتم الحفاظ على درجة حرارة ثابتة داخل الهاضمة.

الشكل 9-4:

الهاضمة ذات الحوض الأفقي



ومن هذه الهاضمات نموذج دراشتادرويش الألماني حيث عولج ضمن نظام دراشتادرويش نفايات مكونة من روث الأبقار والتبن بنسبة ثلاثة إلى واحد، وانجز خلط المواد المهضومة عشر مرات في اليوم، وتستمر كل عملية خلط دقيقة واحدة وبسرعة ست دورات في الدقيقة. وتبين أن كل كيلوغرام من هذه النفايات ينتج حوالي 300 ليتر من الغاز الحيوي.

استخدم 15 % من الطاقة الحرارية الناتجة عن الغاز الحيوي كاستهلاك ذاتي للتجهيزات اللازمة لإنتاج الغاز (خلط، تسخين،) في نظام دراشتادرويش أما الفائض أي 85% فيستعمل للانارة وللحرق في سخانات المياه[102].

9-6- الفوائد البيئية والاقتصادية الناتجة عن الهضم اللاهوائي للنفايات:

- إستخدام الحرارة الناتجة لأغراض التدفئة في المنازل وفي الزراعات المحمية وبعض عمليات التجفيف الصناعي والزراعي، مثل تجفيف الحبوب ومعالجة النفايات. بالإضافة إلى ذلك، فإنّ جزءاً من الحرارة يتم استخدامه لعملية الهضم اللاهوائي، وذلك للمحافظة على درجة حرارة الهضم المطلوبة.
- توليد التيار الكهربائي وربْطه بالشبكة الكهربائية العامة، وبذلك يمكن توليد الكهرباء بالدرجة الأولى في المناطق النائية والبعيدة.
- يُعتبرَ السماد الناتج عن عملية الهضم اللاهوائي سماداً ذا مواصفات ممتازة وقيمة غذائية عالية للتربة، كما يتميز بتركيب متجانس، يسهِّل إستهلاك النباتات له، وعدم جاذبيته للحشرات والذباب. ونتيجة لعمليات الهضم اللاهوائية، يتم استهلاك الكربون والأكسجين والهيدروجين من النفايات العضوية، وتبقى العناصر الغذائية المهمة للنبات، مثل الفوسفور والنتروجين، كما يتم القضاء أيضًا على الديدان الخطرةالضارة وبذور الحشائش والنباتات الموجودة عادة في السماد غير المعالج.
- تعادل كمية السماد العضوي الناتجة عن عملية الهضم اللاهوائي نسبة 90% من كمية النفايات العضوية الواردة إلى حوض الهضم. وتلعب نوعية السماد دوراً هاماً في تحسين بنية التربة، وينعكس ذلك إيجاباً على مردودية الإنتاج الزراعي والوضع الصحي العام لبرامج تربية المواشي.
- تتناسب تقنية إنتاج الغاز الحيوي مع الخبرات الفنية والتقنية، ومع الموارد المحلِّية المتوفرة في البلدان النامية، ويمكن استخدامها بتكاليف منخفضة ووسائل تكنولوجية بسيطة.

- يمكن تكييف بناء وحدات توليد الغاز الحيوي بحسب احتياجات أيٍّ مجتمع (مدينة، بلدة، قرية)، بغضِّ النظر عن درجة تطوره، مما يساهم في إدخال اللامركزية إلى سياسة إدارة المخلَّفات وعدم وجوب نقلها إلى المطامر والمحارق، حيث إن تكلفة التخلص من أطنان النفايات المتزايدة يوماً بعد يوم عالية جدّاً، ناهيك عن أن المطامر والمكبَّات الموجودة لم تعد قادرة على سدِّ الحاجة، كما أن إقامة مطامر جديدة ليس هو الحل الصحيح، بالإضافة إلى الأضرار البيئية الناجمة عن إطلاق الغازات السامة (غاز الميثان) إطلاقاً عشوائيّاً إلى الغلاف الجوي لتمارس دورها التخريبي في المناخ.
- يساهم التخلص الآمن من النفايات المنزلية باستخدام منشآت الغاز الحيوي مساهمة كبيرة في حماية المياه الجوفية من التلوث، كما يساهم في تحقيق المساندة الذاتية للمَزارع البيئية التي تسير في طريق التوجُّه نحو الزراعات البيئية والحيوية.
- يساهم إنتاج الطاقة الخضراء واستخدامها مساهمة كبيرة في حماية البيئة، وخاصة الغلاف الغازي، من التلوث بالغازات الضارة التي تصدر عن تخمُّر المواد العضوية تخمرًا عشوائيّاً، بالإضافة إلى مساهمته الفعَّالة في تقوية الاقتصاد الزراعي وتأمين فرص عمل، مما له كبير الأثر في تخفيض الكثافة السكانية في المدن عن طريق توفير فرص عمل في الأرياف، بالإضافة إلى تحسين الوضع الصحي العام وخلق حالة من الفهم البيئي في البنية التحتية.

9-7- آفاق تطور تكنولوجيا إنتاج الغاز الحيوي والمشكلات الراهنة:

هناك الكثير من الأبحاث الجارية لتطوير مردودية منشآت الغاز الحيوي، ولإيجاد طُرُق أكثر اقتصادية لتسريع استخراج الغاز الحيوي عن طريق تسريع العمليات البيولوجية والتحكم فيها، وتأمين مردودية عالية في أثناء تفكيك المادة العضوية وتطوير تجهيزات تقنية للتحكم بعملية تغذية الهاضم.

هناك بحوث لتطوير أساليب أكثر فاعلية لتنقية الغاز الحيوي وتنظيفه بغية الوصول إلى جودة تُعادِل جودة الغاز الطبيعي. وبهذا يمكن حقنه إلى شبكة الغاز العامة، ونقله في نهاية المطاف إلى محطات توليد الطاقة الكهربائية.

هناك دراسات قائمة أيضاً بهدف نزع محتوى الغاز الحيوي من مركب كبريتيد الهيدروجين H_2S الذي يوجد بتركيز 100 ملغ في المتر المكعب الواحد من الغاز العضوي. فهذه النسبة، على الرغم من ضآلتها، تتسبَّب في إحداث أضرار في المنشأة، وخاصة في المحركات والتمديدات المستخدمة.

إن إشكالية تقنية تغذية شبكة الغاز الطبيعي بالغاز الحيوي ما تزال في حاجة إلى المزيد من الدراسات والأبحاث لإيجاد الحلول التقنية العملية بأسعار مناسبة، وكذلك لإيجاد الحلول واللوائح القانونية التي تضبط هذه العملية.

مازال هناك نقصٌ في الدراسات المتعلقة باستعمال الغاز الحيوي كوقود للمواصلات وفي المخططات الهادفة إلى الاستثمار الأمثل للطاقة الحرارية الناجمة عن تفاعلات المادة العضوية، حيث إن الحرارة تصل إلى حوالي 90 درجة مئوية.

وكنقطة انطلاق من أجل تطبيق تقنية إنتاج الطاقة الناجمة عن هضم المخلَّفات العضوية واستخدامها في مناطق الريف في الدول النامية، لا بدَّ من إجراء بعض الدراسات الأولية للحصول على المعلومات التالية: كمية النفايات العضوية اليومية، أماكن وجودها، صلاحيتها للمعالجة والاستثمار، إمكانية جمع النفايات الموجودة ونقلها وفرزها، اللوائح القانونية التي تضبط النفايات، إمكانية تسويق الطاقة الناتجة، طُرُق تخطيط المنشآت، إمكانية الدعم المادي لتأسيس هذه المنشآت.

إن دمج مبادرات القطاع الحكومي والخاص والمجتمع المدني في تخطيط إدارة النفايات على مستوى المدن والأرياف هو البداية الصحيحة لحلٍّ مشكلات النفايات التي تتزايد كمياتها، مهدِّدة بوقوع كوارث بشرية وبيئية. كما أن المبادرة إلى تشجيع إنشاء جمعيات أهلية محلِّية لإدارة النفايات المنزلية وفرزها هو عمل ذو قيمة بيئية،

حيث من المفترض أن تعمل هذه الجمعيات على الارتقاء بثقافة المواطن البيئية وعلى حثّ المواطنين ومساعدتهم وتشجيعهم على المحافظة على نظافة بيئتهم وعلى فرز النفايات المنزلية اليومية لأجل معالجتها واستثمارها، أو بهدف إعادة تصنيعها من جديد.

الفصل العاشر

ترميد النفايات الصلبة

Incineration of solid waste

هو تفاعل المادة العضوية مع الأكسجين في درجة حرارة عالية، أو هو أكسدة كيماوية حرارية بوجود الأكسجين للنفايات الصلبة بغية الحصول على الحرارة بشكل مباشر من خلال تفكيك النفاية بشكل كامل، وتخفيض حجمها بتحطيم المركبات العضوية التي تحويها إلى عشر الحجم الأولي تقريباً. وتستخدم طريقة الترميد عالمياً وبشكل واسع للتخلص من أنواع عديدة من النفايات، رغم وجود طرائق أخرى متطورة، نظراً لنتائجها التي تؤدي إلى تخلص نهائي من النفاية بتفكيكها، أو تخفيض حجمها إلى الحد الأدنى. وتلعب الظروف المحلية ونوع وحجم النفايات الدور الأكبر في تحديد طريقة المعالجة.

10-1- مقدمـــة:

تستخدم طريقة الترميد عالمياً وبشكل واسع للتخلص من أنواع عديدة من النفايات، رغم وجود طرق أخرى متطورة، نظراً لنتائجها التي تؤدي إلى تخلص نهائي من النفاية بتفكيكها، أو تخفيض حجمها إلى الحد الأدنى، ولا شك أنّ الظروف المحلية ونوع وحجم النفاية يلعب دوراً كبيراً في تحديد طريقة المعالجة. يهدف هذا الفصل إلى تقديم معلومات أساسية خاصة باختيار هذه الطريقة للتخلص من أنواع محددة من النفايات، ولا يجب النظر إليه على أنه وصفة جاهزة يمكن اللجوء لتطبيقها على أي نوع من النفايات، وإنما يجب أن تبقى هناك خيارات أخرى لدى الفنيين ومتخذي القرار للوصول إلى تطبيق الطرق المثلى التي تتناسب مع نوع وحجم النفاية وبناءًا على الإمكانيات الوطنية وحفاظاً على صحة المواطنين وحماية البيئة.

يمكن تعريف ترميد (Incineration) النفايات الصلبة بأنه تفاعل المادة العضوية مع الأكسجين في درجة حرارة عالية وإنتاج الحرارة، أو هو أكسدة كيماوية حرارية بوجود الأكسجين للنفايات الصلبة بغية الحصول على الحرارة بشكل مباشر.

أو بتعريف آخر هو عملية إتمام التفاعل بتحويل المادة المحروقة إلى غازات ومواد صلبة، وهذا يحقق تفكيك النفاية بشكل كامل، وتخفيض حجمها بتحطيم المركبات العضوية التي تحويها إلى عشر الحجم الأولي تقريباً، والاستفادة من الطاقة الناتجة عن الحرق، بالإضافة إلى التخلص من المواد الخطرةالضارة الموجودة فيها.

تعمل تقنية ترميد النفايات الصلبة على تعقيم النفايات والاستفادة من الحرارة الناتجة عنها، مع العلم أن حرق النفايات عُرف قبل 140 عاماً، وتعتبر اليوم طريقة الترميد هامة للتخلص من النفايات التي لا يمكن الاستفادة منها بطرق أخرى. ونشير هنا أنه لابد من التخلص من أغلب المواد العضوية المتبقية في المصانع عن طريق الحرق، ولكن من الضروري التغلب على مشكلة الرماد الناتج.

سابقاً كانت تستخدم المحارق المفتوحة بغية إحراق المواد القابلة للاحتراق غير المرغوبة مثل الورق والأخشاب والبلاستيك والمنسوجات والمطاط و نفايات الزيوت في الهواء الطلق أو في مواقع النفايات المفتوحة حيث ينطلق الدخان والانبعاثات الأخرى مباشرة للهواء بدون المرور في مداخن. ويمكن أن تشمل محارق النفايات المفتوحة أفران إحراق القمامة التي لا تضبط هواء الاحتراق لكي تحافظ على درجة حرارة ملائمة ولا تمنح وقتاً كافياً لإتمام عملية الاحتراق. ويتم استخدام ممارسة معالجة النفايات هذه في العديد من البلدان النامية في حين أنه في البلدان المتقدمة تخضع المحارق المفتوحة للنفايات لضوابط صارمة أو تحدث في مناطق بعيدة عن التجمعات السكانية.

كان الحرق أو الترميد للنفايات أحد الحلول الفعّالة، ولكنه حلٌ مُكلِفٌ بالنسبة إلى أي نوع من النفايات، كما أنّه أكثر تكلفة في حال النفايات التي تحتوي على نسبة عالية من الخضراوات والمواد العضوية القابلة للتحلل الحيوي، لاحتوائها على نسبة عالية من الرطوبة إلى جانب انخفاض قيمتها الحرارية، ونورد فيما يلي أنواع النفايات التي يُفضل أو لا يُفضل معالجتها بالحرق.

وبشكل عام فإنّ اتخاذ القرار المناسب باستخدام هذه الطريقة للتخلص من نفاية معينة يجب أن يكون بناءاً على دراسة تفصيلية تتضمن حجم النفاية المطلوب التخلص منها، طبيعتها الفيزيائية والكيميائية، الخيارات الممكنة الأخرى للتخلص، معدل حجم النفاية التي يتم دخولها للترميد، الإحراق المناسب، تحديد شروط ومواصفات تصميم وتشغيل المحرقة، والإجراءات المطلوبة للحماية وتخفيف الانبعاثات الملوثة، وتقييم تأثير النفاية على نوعية الهواء، المشاكل المتعلقة بإدارة والتخلص من المتبقي من الترميد وقابلية تطبيق المراقبة المطلوبة للانبعاثات الناتجة عن عملية الترميد.

10-2- الغاية من تقانة ترميد النفايات وتطور التقانة:

كانت الغاية فيما مضى من حرق النفايات هو التخلص من الأوبئة، وكانت عملية الحرق تتم في الهواء الطلق، وهذا يؤثر سلباً في الصحة العامة وسلامة البيئة لما يرافقها من انطلاق غازات ضارة. وسنبين لاحقاً الأمراض الناجمة عن الغازات المنطلقة عند الحرق المكشوف للنفايات في مكان رميها بدون معالجتها (بدون استخدام أفران الترميد)، لكن منذ عام 1867 بدأ استعمال أفران الترميد في بريطانيا، وتمّ إنشاء أول فرن لترميد النفايات في ألمانيا عام 1893 في مدينة هامبرج بهدف القضاء على الأوبئة المنتشرة، ومنذ ذلك الوقت ازداد استخدام أفران الترميد حتى وصل في أوروبا إلى 2000 فرن في عام 1980، وهو في ازدياد في جميع الدول، وتحاول مراكز الترميد الحديثة تحقيق ثلاثة أهداف وهي:

أ- تقليل حجم النفايات إلى أقل قدرٍ ممكنٍ حيث إن ترميد النفايات يخفض من حجمها بنسبة (85-92) % والحجم المتبقي هو عبارة عن خبث المواد المحترقة ورماد، ويمن الاستفادة منها كطبقات تأسيس في مشاريع الطرق إذا كانت لاتحوي تركيزات عالية من المعادن الثقيلة، وإلا فيمكن التخلص منها بالطمر في المطامر.

ب- تقليل حجم الملوثات الهوائية كالغازات الخطرة والغبار والرماد المتطاير عن طريق معالجة الدخان الناتج عن الترميد.

ج- تحويل الطاقة الحرارية الكامنة في النفايات إلى طاقة يُستفاد منها، حيث يمكن الاستفادة من الطاقة الحرارية الناتجة عن ترميد النفايات بأحد الأساليب الآتية:

- توليد مياه ساخنة أو بخار ماء بضغط منخفض ((أدنى من 20 بار)) لتغذية شبكة التدفئة المركزية للمدينة أو البلدة المجاورة للفرن.
- توليد بخار ذي ضغط عالٍ (أكبر من 35 بار) يُشغّل عنفات منوبة (توربينات) بغية توليد الطاقة الكهربائية التي تنتقل إلى شبكة الكهرباء المحلية، وفي حالة انخفاض كمية النفايات الواصلة لمركز

الترميد يضاف النفط أو الغاز الطبيعي أو الفحم الحجري للاستمرار في إنتاج ثابت للطاقة الكهربائية. وللحصول على مردود حراري جيد يمكن أن يقاد البخار بعد خروجه من العنفات المنوبة (التوربينات) إلى شبكة تدفئة عامة.

10-3- مراحل سير العمل في مراكز ترميد النفايات:

توجد عدة طرق لتشغيل منشآت الترميد، لكن بشكل عام نميز عدة مراحل لسير العمل بمركز ترميد النفايات:

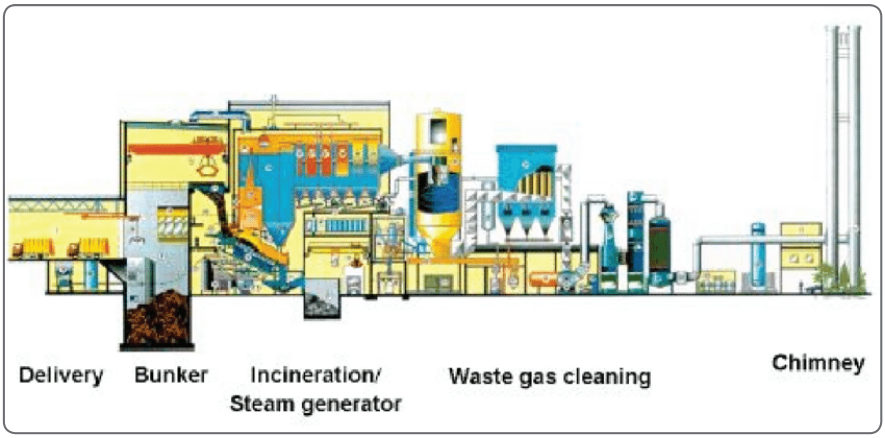
1. وزن النفايات الواصلة.
2. استلام النفايات وتخزينها وفرزها وفرمها.
3. تغذية ونقل مرحلي للنفايات داخل فرن الحرق، والإمداد بكميات الهواء اللازمة للاشتعال الجيد.
4. استخراج الخبث والرماد الناتج عن الترميد والتخلص منه.
5. معالجة الدخان والغازات الناتجة قبل طرحها في الجو.

ويوجد في مراكز ترميد النفايات التي تعتمد استرجاع الطاقة الحرارية مرحلة استرجاع لهذه الطاقة من الغازات الناتجة قبل عملية معالجتها[103].

ويبين الشكل (10-1): مراحل سير العمل في محطة ترميد النفايات.

الشكل 10-1:

مراحل سير العمل في محطة ترميد النفايات



10-4- اختيار المخطط التكنولوجي لمحطة ترميد النفايات(The Choice of Incinerator)

عند اختيار المخطط التكنولوجي لمحطة حرق المخلفات الصلبة، مع الاستفادة من الطاقة الناتجة أو بدونها، يجب مراعاة العوامل التالية:

أ- الطاقة الإنتاجية للمحطة (QT).

ب- محتوى الطاقة للمخلفات المنزلية الصلبة (E).

ج- استمرارية استخدام الحرارة الناتجة عن المخلفات المعرضة للاحتراق (t).

د- ثمن الطاقة الناتجة (PT).

هـ- الانفاق الكلي على المحطة C.

لإجراء البحث التكنواقتصادي من أجل اختيار المخطط التكنولوجي لمحطة الترميد يمكن قبول الحدود التالية لقيم العوامل المذكورة أعلاه:

-(QT=0,5-60t/hour)،

-(E=4200-12600Kj/Kg)،

-(t=2000-8300 hour/year)،

-بخار (PT=2-6 Russ/ton)

أما الانفاق الكلي على المحطة، في حال الاستفادة من الطاقة الناتجة، فيحسب في الحالتين التاليتين، (C,Thousand.Russ):

أ-إذا كانت إنتاجية المحطة (Q=0,5-8 t/hour)

$$C=(648,6-30,13Q+0,676Q2)Q \qquad (1-10)$$

ب-إذا كانت إنتاجية المحطة (Q=8-60 t/hour)

$$C=3670+0,4Q+2,61Q2-0,013\,Q3 \qquad (2-10)$$

تدل التجربة على أن نفقات إنشاء محطة حرق المخلفات مع الاستفادة من الطاقة الناتجة تفوق كلفة إنشائها في حال عدم الاستفادة من الطاقة الناتجة بمقدار (10-30%) ومن هنا يمكن تعيين العامل الذي يحدد العلاقة بين الإنفاق في حال عدم الاستفادة من الطاقة الناتجة (C1) والإنفاق في حال الاستفادة من الطاقة الناتجة (C) ويساوي:

$$(\gamma = C_1 / C = 0,7-0,9)$$

10-5- أنواع أفران ترميد النفايات:

يتبع الاختيار الأمثل لشكل فرن الترميد لكمية النفايات المعدة للحرق ولرطوبتها ولقيمتها الحرارية.

كلما ازدادت نسبة المواد القابلة للاحتراق ارتفعت القيمة الحرارية للنفايات وكذلك إمكانية الاحتراق الذاتي للنفايات دون حاجة لوقود إضافي.

نميز بين القيمة الحرارية العليا (High calorific value) وهي كمية الحرارة المنتشرة من احتراق واحدة الكتلة من المادة، احتراقاً كاملاً وبوجود الهواء وبعد تبريد نواتج الاحتراق إلى الدرجة 20 درجة مئوية، أي إلى أن يتكثف كامل بخار الماء المنطلق من الرطوبة الذاتية للمادة ومن أكسدة عنصر الهدروجين الموجود فيها، أما القيمة الحرارية الدنيا (Minimum calorific value) فهي كمية الحرارة المنتشرة من احتراق واحدة الكتلة من المادة وفي حالة بقاء الماء الناتج عن عملية الاحتراق على شكل بخار مع باقي غازات الاحتراق.

تقاس القيمة الحرارية العليا (HCV) للمادة القابلة للاحتراق بوساطة جهاز كالوريمتر، أما القيمة الحرارية الدنيا (MCV) فتحسب من العلاقة (10-3):

$$MCV = HCV - 2440\ (m1 + 9m2) \qquad (3-10)$$

حيث:

2440 : كمية حرارة تبخر كيلو غرام من الماء عند 20 درجة مئوية بواحدة كيلو جول.

m1 : النسبة المئوية الوزنية للماء في الكيلو غرام الواحد من المادة القابلة للاحتراق.

m2: النسبة المئوية الوزنية للهدروجين في الكيلو غرام الواحد من المادة القابلة للاحتراق.

إن ارتفاع نسبة الرطوبة في النفايات يخفض القيمة الحرارية الدنيا لهذه النفايات ويسرع من تآكل أسطح التبادل الحراري ويزيد من حجم الغازات الناتجة عن الاحتراق وبالتالي منشآت تداولها.

لكل نوع من منشآت ترميد النفايات غاية مطلوبة وهي كما يلي:

1- تأمين معالجة تعطي نواتج صلبة وغازية مقبولة بيئياً حسب المعايير والأنظمة المعمول بها، لهذا قلّ استخدام الرماد الناتج عن ترميد النفايات،

كطبقة توضع تحت طبقة الإسفلت في أشغال الطرق، لأن الرماد يحتوي على معادن ثقيلة تلوث البيئة، أمّا الغازات الناتجة عن الترميد فيجب أن تخضع للتنقية قبل طرحها في الغلاف الجوي، لتخفيض التلوث الجوي بالغبار والغازات الضارة أو الخطرة.

2- امتلاك مركز معالجة مرن ما أمكن للتخفيف من التغيرات المحتملة في كميات النفايات الواصلة وفي القيمة الحرارية لهذه النفايات، حيث أن خلط النفايات ضمن حفرة استقبال النفايات يخفف من عدم تجانس القيمة الحرارية للنفايات، ويؤمن احتراقاً متوسطاً ومتجانساً.

3- تأمين سلامة العاملين في منشأة الترميد.

4- يتطلب في المرمدات المصممة للتخلص من النفايات الخطرة أن تعمل بدرجات حرارة عالية لا تقل عن /1200/ درجة مئوية مع تحقيق زمن بقاء مناسب لتحقيق التفكك المطلوب، وآلية لتبريد الغازات الناتجة، لتجنب حدوث تفاعلات ثانوية تؤدي إلى تشكل مركبات خطرة بالإضافة إلى تطبيق المعالجة اللازمة للتحكم في تركيز الغازات قبل طرحها إلى الجو وفق المواصفات البيئية المعتمدة.

وبالنسبة لمراكز ترميد النفايات الحديثة فهي تجمع بين حرق النفايات واستخلاص الطاقة ولها الوحدات الآتية:

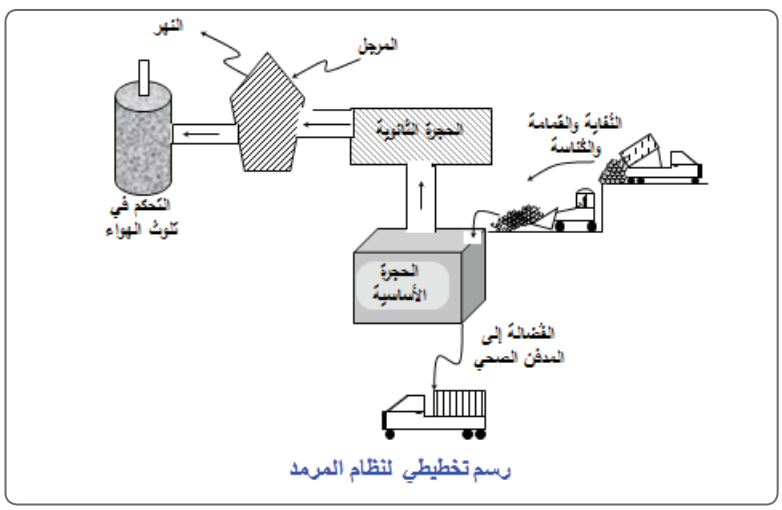
- خزان حفظ لاستقبال النفايات الواصلة وفرزها.
- رافعة شوكية لأخذ النفايات وإدخالها إلى فرن الترميد.
- حجرة الاحتراق قد تكون حاوية على شبكة قضبان حديدية grates سفلية تجري فيها عمليات الحرق، وتصميم هذه الشبكات يحدد نجاح كافة العمليات، ومن مهام شبكة القضبان الحديدية حدوث اضطراب يعمل على ضمان حرق كافة النفايات، ويساعد على تحريك النفايات عبر حجرة الاحتراق بالإضافة إلى توفير هواء الاحتراق. وقد تكون حجرة الاحتراق بقرميد ناري مقاوم للحرارة.

- نظام استخلاص الطاقة المكون من أنابيب تحول ما تحفظه من ماء إلى بخار.
- نظام التعامل مع الرماد.
- نظام تحكم في الملوثات الهوائية.

ويبين الشكل أدناه رسماً تخطيطياً لنظام مرمد مكون من حجرة أساسية وحجرة ثانوية بدرجة حرارة أعلى.

الشكل (10-2):

رسم تخطيطي لنظام المرمد ذي حجرتي الاحتراق.



رسم تخطيطي لنظام المرمد

من أهم أشكال أفران ترميد النفايات المنزلية، الأفران ذات الشبك المتحرك آليا، والفرن الدوار، والفرن ذو السرير المتميع، والفرن الرحوي[104].

10-5-1- أفران الترميد ذات الشبك المتحرك آلياً:

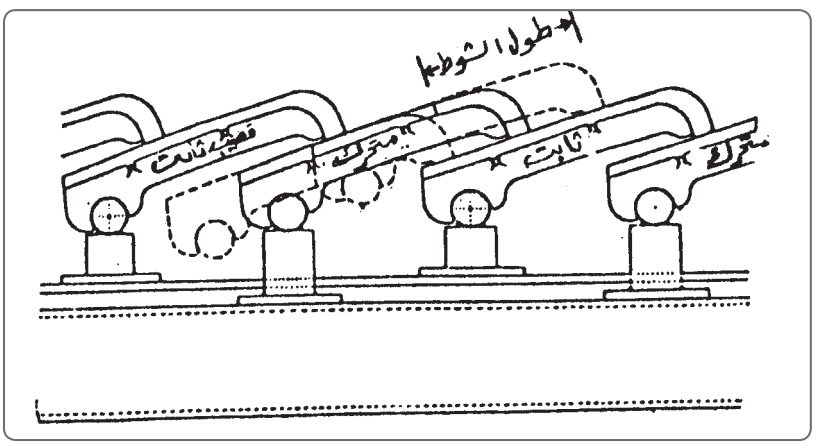
توضع النفايات على الشبك المتحرك آليا بسماكة ضعيفة نسبياً، وهناك عدة أنواع للشبك المتحرك آلياً تبعاً لاتجاه حركته:

أ ـ **الشبك المتحرك نحو الأمام:** يتكون الشبك من عدة قضبان ثابتة وأخرى متحركة تتراكب على بعضها البعض بشكل منتظم وتحرك النفايات بفضل انتقال القسم المتحرك من القضبان. ويؤمن هذا النوع من الشبك نقلا أفقيا للنفايات ويخلطها لرفع كفاءة الاحتراق.

يبين الشكل (10-3) سير الحركة في الشبك المتحرك نحو الأمام.

الشكل 10-3:

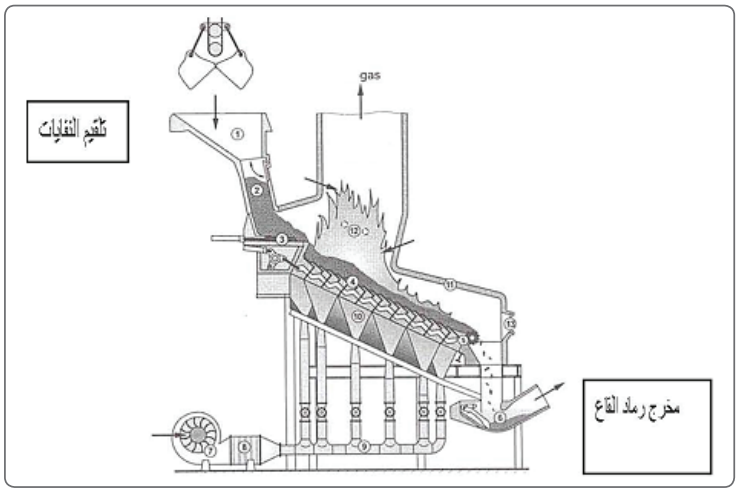
سير الحركة في الشبك المتحرك نحو الأمام



ب ـ **الشبك المتحرك نحو الخلف:** يتكون الشبك أيضا من أقسام ثابتة وأخرى متحركة، وبفضل حركة القضبان المتحركة نحو الأعلى تتساقط النفايات نحو الأسفل تحت تأثير وزنها الذاتي ويتجمع الرماد في النهاية السفلى للشبك ويسقط ضمن وعاء إطفاء الرماد كما في الشكل (10-4).

الشكل 10-4:

الفرن ذو الشبك المتحرك نحو الخلف

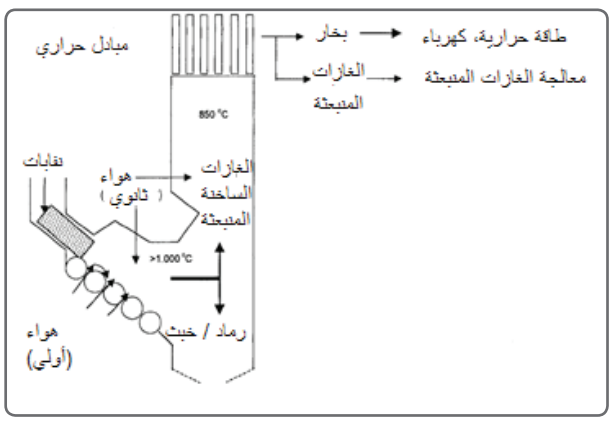


جـ **الشبك الدوار:** يتكون هذا النوع من اسطوانات دوارة، قطر الواحدة منها (1,5م) وتميل بزاوية 30 درجة عن الأفق، تدار الاسطوانات بفضل الطاقة الكهربائية. تؤمن الجيوب الموجودة بين الاسطوانات الدوارة خلطاً جيداً للنفايات.

يبين الشكل (10-5) مخطط لنوع من هذا الشبك الدوار.

الشكل 10-5:

فرن ترميد نفايات ذو الشبك الدوار



لم تَعُد تُستخدم طريقة حرق النفايات في مرمدات النفايات ذات السعة الكبيرة دون استعادة الطاقة نِسبة للمشاكل التي واجهت عمل المرمد (المحرقة) للأسباب الآتية:

- ضعف التصميم.
- الهندسة غير الملائمة.
- التشغيل غير الملائم (inept-operation) لإنتاج رماد تعلو فيه نسبة المواد العضوية، لانبثاق الدخان حتى في زمن التحكم الضعيف للملوثات الهوائية من الصناعة، مما أدى إلى قفل المحارق والمرمد المحرقة .
- بدون استخلاص الطاقة فإنّ الغاز العادم الخارج من هذه الوحدات حار جداً.

يمكن استرجاع الطاقة الحرارية من الغازات الناتجة عن ترميد النفايات باستخدام مراجل تقليدية ذات حزم أنابيب، أو عن طريق جريان ماء على طول أنابيب رأسية تحيط بحجرة الاحتراق (الأفران ذوات الجدران المائية) من كافة جوانبها وتتصل بنظام التدوير للمرجل، وقد حلت هذه الجدران المائية محل القرميد الناري في مناطق درجات الحرارة العالية.

تتمتع الأفران ذوات الجدران المائية بعامل تبادل حراري عالٍ، وتمتص قدراً كافياً من حرارة احتراق النفايات، وبالتالي يمكن تشغيل الفرن مع فائض هواء بنسبة (50-60%) بينما يلزم في الأفران ذوات المراجل التقليدية فائض من الهواء بنسبة (150%-200%) للحفاظ على درجة الحرارة المطلوبة.

بفضل انخفاض نسبة فائض الهواء في الأفران ذوات الجدران المائية تنقص أحجام الغازات الناتجة عن الاحتراق وبالتالي يحصل توفير في أحجام المعدات اللازمة لتداول هذه الغازات كأجهزة تنقية هذه الغازات قبل طرحها ومداخن طرح هذه الغازات بعد تنقيتها في الجو. وبفضل كفاءة التبادل الحراري في الأفران ذوات الجدران المائية تخفض درجة حرارة الغازات الناتجة عن الاحتراق إلى حد يمكن

عنده إمرار الغازات مباشرة على بعض أجهزة تنقية الغازات دون الإضرار بهذه الأجهزة.

إن تكلفة بناء الأفران ذوات الجدران المائية أعلى من تكلفة الأفران ذوات المراجل التقليدية ويتطلب تشغيل الأفران الأولى عمالاً على مستوى عالٍ من التدريب والخبرة، ومن الناحية الاقتصادية يمكن موازنة التكاليف الزائدة في بناء الفرن بما يتم استرجاعه من حرارة وبانخفاض تكاليف معدات تداول الغازات العادمة وأجهزة تنقية هذه الغازات.

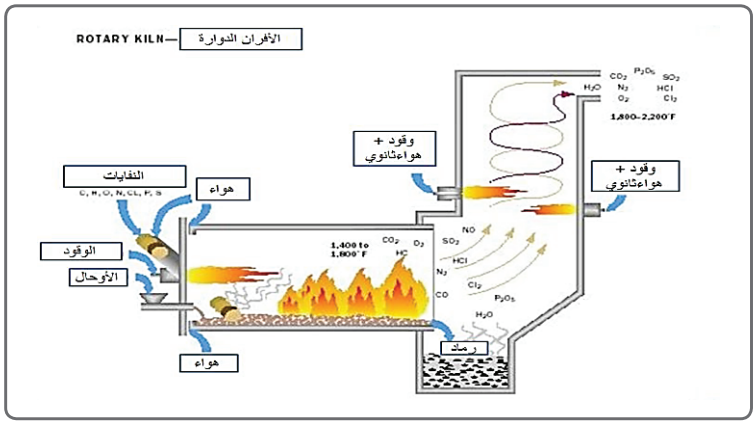
10-5-2- أفران الترميد ذات الأسطوانة الدوارة (Rotary kiln)

محارق ذات أسطوانات حرارية دوارة بسرعة من 2-5 دورة في الدقيقة، الأسطوانة لها ميول بزاوية صغيرة متجهة للأعلى، وتزود بالنفايات بعد ما يتم تقطيعها. الحرارة في هذا النوع قد تزيد على 1200 درجة مئوية والقدرة الاستيعابية تتراوح من 0.5 إلى 3 طن/الساعة. وتحتاج لصيانة دورية منها تغير الأسطوانة الحرارية الدوارة على فترات.

ويبين الشكل (10-6) طريقة الحرق في الأفران الدوارة ،

الشكل 10-6:

ترميد النفايات والأوحال في الأفران الدوارة



10-5-3- أفران الترميد ذات السرير المميع (Fluidized Bed Incinerator)

لقد بدأ ينتشر استخدام الأفران ذات السرير المميع ، التي هي عبارة عن أسطوانة فولاذية عمودية مبطنة بمواد مقاومة حرارياً، ويوجد ضمن هذه الاسطوانة طبقة من الرمل بسماكة من 50 إلى 100 سنتيمتر تتمدد أثناء تشغيل الفرن بفضل حقن هواء من أسفل الاسطوانة وباتجاه الأعلى، يستطيع الفرن ذو السرير المميع ترميد النفايات الصلبة البلدية بما فيها من مواد بلاستيكية ومطاطية، إضافة إلى ترميد حمأة ورواسب محطات معالجة مياه الصرف الصحي Sewage Sludge دون مشاكل انسداد الشبك.

يلزم في الأفران ذات السرير المميع فرم للنفايات الصلبة، وتغذى النفايات للمحرقة على شبكات احتراق يمر من خلالها تيار من الهواء متجهة للأعلى يجعل النفايات في حالة تماس مع رمل التمييع ذي درجة الحرارة العالية مما ينتج عنه احتراق النفايات.

تصرف المواد غير القابلة للاحتراق مع رمل التمييع من خلال مصرف موجود في أسفل المرمد المحرقة، ثم تفصل هذه المواد عن رمل التمييع بوساطة مصفاة، ويعاد تدوير الرمل ضمن الفرن.

يجب أن تزيد درجة حرارة السرير المميع على 650 °م، فإذا كانت النفايات المعدة للحرق رطبة وقيمتها الحرارية دون 3100 كيلو جول/كيلو غرام، فإن الوقود الاضافي ضروري لاستمرار الاحتراق، أما مع النفايات ذات القيمة الحرارية الأعلى فلا داعي للوقود الإضافي.

يمر غاز الاحتراق الموجود في الجزء العلوي من الفرن على مرجل استرجاع الحرارة ثم على أجهزة تنقية الغاز ثم يصرف إلى الهواء الجوي عن طريق المدخنة.

يتميز الفرن ذو السرير المميع ببساطة التصميم فهو لا يملك أجزاء ميكانيكية متحركة. وبما أن الفرن محكم فإنه يحتفظ بالحرارة لفترة طويلة، لذلك يمكن أن

يستخدم الفرن حتى في حالات التشغيل نصف المستمر (8 ساعات عمل أو 16 ساعة عمل في اليوم) ، حيث يحتفظ الفرن بالحرارة لفترة طويلة، وتشغيل الفرن من جديد لا يستهلك طاقة كبيرة[105].

10-6- العوامل المؤثرة في تقانة ترميد النفايات:

توجد عدة عوامل تؤثر في جودة تقانة ترميد النفايات، من أهمها:

10-6-1- درجة حرارة المرمد (المحرقة) :

تعمل معظم المرمدات الحديثة للنفايات على درجة حرارة ضمن المجال (980 إلى 1090) درجة مئوية، والتي تضمن الحرق الجيد، والتخلص من الروائح الكريهة، كما ويتضمن هذا المدى للحرارة حماية مواد البطانة الحرارية داخل حجرة الاحتراق.

درجة الحرارة داخل حجرة الاحتراق حرجة لنجاح العملية، فإن كانت قليلة جداً مثلاً أقل من 770 درجة مئوية، فإن معظم المواد البلاستكية لا تحترق مما ينتج معه حرق ضعيف، وعلى درجة حرارة 1090 درجة مئوية فإن المواد الحرارية الصامدة للصهر داخل المحرقة لا يمكن أن تتحمل هذه الحرارة، مما يحدد مدى التشغيل.

10-6-2- كمية الهواء اللازم للاحتراق:

بما أن حرق النفايات يتم في وسط مغلق (المرمد) فلا بدّ من تأمين كمية هواء مناسبة لتحقيق معادلات الاحتراق المطلوبة، لذا يجب المحافظة على درجة حرارة ضمن حجرة الاحتراق تكفي لإشعال مزيج النفايات والأكسجين، وحيث أن الهواء يحوي على 23.15% وزناً من الأكسجين، وتؤثر كمية هواء الاحتراق المتوفرة في كفاءة الترميد، فإذا كانت كمية الهواء كافية يحصل احتراق كامل ويتحول عنصر الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون كما في العلاقة (10-4).

$$C + O2 \longrightarrow CO2 \qquad (4\text{-}10)$$

12 … 32 … 44

3 …. 8 …. 11

يحتاج الاحتراق الكامل لواحد كيلو غرام ثقلي من الكربون إلى 2.67 =8/3 أي 2.67 كيلو غرام ثقلي من الأكسجين (أي $\frac{8/3}{0.2315} = 11.52$ $\boxed{\frac{8/3}{0.2315} = 11.52}$ كيلو غرام ثقلي من الهواء)، وينتج 3.67 كيلو غرام ثقلي من ثاني أكسيد الكربون مع انتشار حرارة 8050 كيلو كالوري.

أما إذا لم تتوفر كمية كافية من الأكسجين فيتم احتراق غير كامل، ويتحول عنصر الكربون إلى أول أكسيد الكربون كما في العلاقة (10-5):

$$C + 1/2\ O2 \longrightarrow CO \qquad (5\text{-}10)$$

12 … 16 ….. 44

3 …. 4 …… 11

يحتاج احتراق الكيلو غرام ثقلي من الكربون وفق التفاعل السابق إلى 1.33 =4/3 كيلو غرام ثقلي من الأكسجين أي ($\frac{4/3}{0.2315} = 5.74$ $\boxed{\frac{4/3}{0.2315} = 5.74}$ كيلو غرام ثقلي من الهواء)، وينتج 2.33 كيلو غرام ثقلي من أول أكسيد الكربون مع انتشار حرارة 2450 كيلو كالوري أما عنصر الهيدروجين فيحترق منتجاً بخار الماء كما في العلاقة (10-6):

$$2H2 + O2 \longrightarrow 2H2O \qquad (6\text{-}10)$$

4…. 32 ….. 36

1…. 8 …. 9

يحتاج احتراق الكيلو غرام ثقلي من الهيدروجين إلى 8 كيلو غرام ثقلي من الأكسجين (أي $\frac{8/1}{0.2315} = 34.56$ $\frac{8/1}{0.2315} = 34.56$ كيلوغرام ثقلي من الهواء)، وينتج 9كيلو غرام ثقلي من بخار الماء مع انتشار كمية من الحرارة قيمتها 33600 كيلوكالوري.

وإذا كانت كمية الهواء كافية يحصل احتراق كامل، ويتحول عنصر الكبريت إلى ثاني أكسيد الكبريت كما في العلاقة (10-7).

$$S + O2 \longrightarrow SO2 \qquad (7\text{-}10)$$

32 … 32 … 64

1 …. 1 …. 2

يحتاج الاحتراق الكامل لواحد كيلو غرام ثقلي من الكبريت إلى 1 كيلو غرام ثقلي من الأكسجين (أي $\frac{1}{0.2315} = 4.32$ $\frac{1}{0.2315} = 4.32$ كيلو غرام ثقلي من الهواء)، وينتج 2 كيلو غرام ثقلي من ثاني أكسيد الكبريت.

نلاحظ أن كمية الحرارة المنتشرة من حرق كيلوغرام واحد من الكربون تختلف حسب كون الاحتراق كاملاً أو غير كامل، والفارق الكبير 5600 كيلو كالوري دليل مهم على أهمية توفر هواء كاف في كل الأوقات لذلك تشغل أفران الترميد مع فائض من الهواء لضمان الاحتراق الكامل.

لمعرفة فيما إذا كان فرن الترميد يعمل مع كمية فائضة من الهواء أو مع كمية أدنى من تلك اللازمة للاحتراق الكامل، نحلل الغازات الناتجة عن الاحتراق وخاصة الأكسجين وأول أكسيد الكربون، فإذا لم نجد أي أكسجين حر فهذا يعني عدم دخول أي فائض من الهواء، أمّا إذا ظهر أول أكسيد الكربون فهذا دليل على أن كمية الهواء الواصلة غير كافية وهناك عجز في الأكسجين.

مثال (10-1):

احسب كمية الهواء (طن) اللازمة لأكسدة (1 طن) من النفايات الصلبة ذات الصيغة الكيميائية التقريبية C 8H9NO2 أكسدة كاملة في درجة حرارة عالية (ترميد النفايات)، بافتراض تحول كامل الكربون إلى غاز ثاني أكسيد الكربون.

الحـل:

أ- حساب الكتلة الجزيئية للصيغة:

$$= (8\times 12) + (9 \times 1) + (1 \times 14) + (2 \times 16) = 151$$

C H N O

ب- حساب النسبة المئوية لتوزيع العناصر الأساسية في كتلة النفايات الصلبة:

$$\boxed{C = \frac{8 \times 12}{151} \times 100 = 63.6\%}$$

$$\boxed{H = \frac{9 \times 1}{151} \times 100 = 5.96\%}$$

$$\boxed{N = \frac{1 \times 14}{151} \times 100 = 9.3\%}$$

$$\boxed{O = \frac{2 \times 16}{151} \times 100 = 21.2\%}$$

ج- حساب الهيدروجين الحر (غير المرتبط بالماء):

Hfree=Htotal -Hbound

من العلاقة (10-6):

$$_2O + {}_2H2 \longrightarrow 2H2O$$

4 .... 32 36

1 .... 8 9

نسبة الهيدروجين الحر= [نسبة الهيدروجين الكلي] – [نسبة الهيدروجين المتصل مع الأكسجين لتشكيل الرطوبة]

[نسبة الهيدروجين المتصل مع الأكسجين لتشكيل الرطوبة]=[نسبة الأكسجين/8]

$$H_{free} = 5.96\% - \frac{21.2}{8}\% = 3.31\%$$

د- حساب كمية الهواء المطلوبة لأكسدة (حرق) 1 طن من النفايات حرقاً كاملاً:

العناصر القابلة للاحتراق الموجودة في النفايات هما عنصرا الكربون والهيدروجين الحر.

- **احتراق الكربون:** يحتاج الاحتراق الكامل لواحد كيلو غرام ثقلي من الكربون إلى 2.67 كيلو غرام ثقلي من الأكسجين (أي $\frac{8/3}{0.2315} = 11.52$ كيلو غرام ثقلي من الهواء).

$$\frac{63.6}{100} \times 1000 \times 11.52 = 7326.72\ Kg/ton$$

- **احتراق الهيدروجين الحر:** يحتاج احتراق الكيلو غرام ثقلي من الهيدروجين إلى 8 كيلو غرام ثقلي من الأكسجين (أي $\frac{8/1}{0.2315} = 34.56$ كيلوغرام ثقلي من الهواء).

$$\frac{3.31}{100} \times 1000 \times 34.56 = 1143.94\ Kg/ton$$

وبما أن الكتلة الحجمية للهواء1 2928. كيلو غرام/ متر مكعب، وتكون كمية الهواء الكلية اللازمة لحرق الكربون والهيدروجين.

$$7326.72 + 1143.94 = 8470.66\ Kg/ton = 8470.66/1.2928 = 6552.18\ m^3/ton$$

- **مثـال** (10-2):

احسب وزن الهواء اللازم لحرق طن واحد من النفايات الصلبة ذات الصيغة الكيميائية التقريبية $C_{50}\ H_{100}\ O_{40}\ N_4\ S$ وذلك حتى الوصول إلى احتراق كامل للنفايات، بافتراض تحول كامل الكربون إلى غاز ثاني أوكسيد الكربون.

الحل:

أ- حساب الوزن الجزيئي للصيغة:

$$50 \times 12 + 100 \times 1 + 16 \times 40 + 14 \times 4 + 31 \times 1 = 1428$$

ب- حساب النسبة المئوية لتوزيع العناصر الأساسية في كتلة النفايات الصلبة:

$$S = \frac{1*32}{1428}*100 = 2.2\%$$

$$H = \frac{100*1}{1428}*100 = 7\%$$

$$O = \frac{16*40}{1428}*100 = 44.8\%$$

$$N = \frac{4*14}{1428}*100 = 4\%$$

$$S = \frac{1*32}{1428}*100 = 2.2\%$$

ج- حساب الهيدروجين الحر غير المرتبط: الهدروجين الكلي = الهيدروجين الحر + الهيدروجين المرتبط (Hydrogen in bound)

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

4 32 36

1 8 9

فالهيدروجين الحر يحسب بالشكل الآتي: HFree=7-(44.8/8)=1.4%

د-حساب كمية الهواء المطلوبة لحرق طن واحد من النفايات حرقاً كاملاً:

احتراق الكربون $\frac{42}{100} * 10^3 * 11.52 = 4838.4 kg/ton$

احتراق الهيدروجين الحر $\frac{1.4}{100} * 10^3 * 34.56 = 484 kg/ton$

احتراق الكبريت $\frac{2.2}{100} * 10^3 * 4.32 = 95.04 kg/ton$

الكمية الكلية:

4838.4+484+95.04 = 5417.44 kg/ton = 5417.44/1.2928 = 4190 m3/ton

10-6-3- أنواع النفايات التي يمكن ترميدها:

تشتمل أنواع النفايات التي يتم ترميدها على النفايات الصلبة البلدية (MSW)، والنفايات الصناعية، والنفايات الخطرة، والنفايات الطبية، وحمأة محطات معالجة مياه الصرف، ويشيع الآن بشكل أكثر في الدول المتقدمة ممارسات ترميد النفايات الصلبة، في حين يشيع لدى البلدان المتقدمة والنامية على حد سواء ترميد النفايات الطبية.

ففي المملكة المتحدة تحرق محطة إيستكروفت في مقاطعة نتنجهام حوالي 150 ألف طن من النفايات المنزلية سنوياً وتستطيع المحطة تغذية أكثر من 5 آلاف منزل ومبنى عمومي ومكتب بالبخار لتدفئتها على مدار السنة.

وبشكل عام فإن طبيعة وخصائص النفايات التي يمكن حرقها أو ترميدها هي كالآتي:

- نفايات تحوي مواد قابلة للاحتراق فوق 60 % من إجمالي الكمية.
- نفايات تحوي مواد صلبة خشنة غير قابلة للاحتراق بنسبة أقل من 5% من إجمالي الكمية.

- نفايات تحوي مواد ناعمة غير قابلة للاحتراق بنسبة أقل من 20% من إجمالي الكمية.
- نفايات تحوي على نسبة رطوبة أقل من 30 %.

10-6-4- القيمة الحرارية (Calorific value)

أفضل الطرق لقياس القيمة الحرارية هي الاختبار، وأكثر الأجهزة شيوعاً لإجراء مثل هذا الاختبار هو مقياس القنبلة المسعرية حيث تكون العينة المخبرية (1g) ويتم إشعالها في جو من الأكسجين الصافي، وبوجود سلك كهربائي، إنَّ الحرارة الناتجة تستخدم لتسخين حمام مائي يحيط بالقنبلة الأكسجينية وبقياس هذه الحرارة نستطيع تحديد المحتوى الحراري للعينة.

عند التعامل مع النفايات فإنَّ عينة من (1g) لن تكون كافية لتحديد المحتوى الحراري للنفايات ذات التركيب المجهول نسبياً، وتجُرى المحاولات حالياً لبناء أجهزة تستطيع قياس المحتوى الحراري لعينات تتراوح أوزانها من (100gà1kg).

ويمكن تحديد الحرارة المتوافرة في الغازات الناتجة عن الاحتراق بحساب العلاقة التالية= [القيمة الحرارية للنفايات المنتجة يومياً- فاقد الحرارة].

كما يمكن تحديد القيمة الحرارية كقيمة تقريبية بواسطة مقاربة دولونغ حسب العلاقة (10-8).

$$Q = 14.544 \times C + 62.028\,(H_2 - 0.125\,O_2) + 4050 \times S \qquad (8-10)$$

حيث:

Q: القيمة الحرارية.

C: نسبة وزن الكربون.

H: نسبة وزن الهيدروجين.

O: نسبة وزن الأكسجين.

S: نسبة وزن الكبريت.

ومن خلال هذا يمكن عمل جدول يوضح عوامل الاحتراق متضمنةً القيمة الحرارية ونواتج الاحتراق للنفايات العضوية بالاعتماد على مقاربة دولونغ.

مثال (10-3):

احسب الحرارة المتوافرة في الغازات الناتجة عن احتراق ton/d (100) من النفايات الصلبة ذات القيمة الحرارية Kj/Kg (10500)، وذات التركيب الكيميائي العنصري للنفايات المبين في الجدول التالي:

العنصر	C	H	O	N	S	مادة خاملة	ماء
النسبة المئوية	28	5	22	4	1	20	20

علماً بأن:

1. نسبة الكربون غير المحترق في الخبث الناتج عن الاحتراق 5%.
2. درجة حرارة النفايات أثناء الدخول $25\ C^o$ وأثناء الخروج $425\ C^o$.
3. فاقد الحرارة من جدران المفاعل بالإشعاع 0.005 kJ/kg.
4. فاقد الحرارة في الكربون غير المحترق 32789 kJ/kg.
5. الحرارة الأساسية للتبخر 2420 kJ/kg.
6. الحرارة المتوافرة في الناتج الصلب عن الاحتراق 1047 J/kg. k.

الحـــل:

أ- نحسب القيمة الحرارية للنفايات المنتجة يومياً ton/d (100):

$$10500 \times 10^5 = 105 \times 10^7 \text{ kJ/d}$$

ب- حساب الحرارة المفقودة عن الكربون غير المحترق: إن المادة الخاملة 20%، وبإضافة الكربون غير المحترق 5% تصبح نسبة المادة الخاملة من الكتلة الكلية:

21.1% =20/0.95

وبالتالي نسبة الكربون غير المحترق من الكتلة الكلية:

1.1% = 20 – 21.1

وبالتالي الحرارة المفقودة عن الكربون غير المحترق:

حيث فاقد الحرارة في الكيلوغرام الكربون غير المحترق 32789 kJ/kg.

$$\frac{1.1}{100} \times 10^5 \times 32789 = 36 \times 10^6 \text{ KJ/d}$$

ج-الحرارة الموجودة مع الخبث الناتج عن عملية الاحتراق:

حيث الحرارة المتوافرة في الناتج الصلب عن الاحتراق 1047 J/kg. k.

ودرجة حرارة النفايات أثناء الدخول 298 K =273+25= C^o 25 وأثناء الخروج 698 K =273+425= C^o 425.

$$\frac{21.1}{100} \times 10^5 \times 1.047(698 - 298) = 895 \times 10^4 \text{ KJ/d}$$

د- **الفقدان الحراري بالإشعاع:** حيث فاقد الحرارة من جدران المفاعل بالإشعاع 0.005 kJ/kg.

103kJ/dx 0.5 = 105 × 0.005

هـ- الحرارة المفقودة لتبخر الرطوبة الأولية:

$$\frac{20}{100} \times 10^5 \times 2420 = 48 \times 10^6 \text{ KJ/d}$$

و- حسابات الهيدروجين:

الهيدروجين المرتبط

$$\frac{22}{8} = 2.75\% \quad \frac{22}{8} = 2.75\%$$

الهيدروجين الحر $5 - 2.75 = 2.25$

وبالتالي: كمية الماء المرتبط $22+2.75=24.75\ t/d$ $=24.75\ \%$

كمية الماء الناتجة عن أكسدة الهيدروجين الحر:

$2.25 \times 9 = 20.25\% = 20.25\ t/d$

الحرارة المفقودة عن تبخير الماء الناتج عن الهيدروجين بشكليه المرتبط والحر:

$$(20.25 + 24.75) \times 10^3 \times 2420 = 109 \times 10^6 \ KJ/d \quad KJ/d$$

الحرارة المتوافرة في الغازات الناتجة عن الاحتراق:

[القيمة الحرارية للنفايات المنتجة يومياً- ضياعات الحرارة]

$$[1050 - (36+8.95 + 0.0005+48+109)] \times 10^6 = 848 \times 10^6 \ KJ/d \quad KJ/d$$

أي أن المردود الحراري:

$$\frac{848}{1050} = 80\%$$

وبافتراض مردود الفرن 85% **سيكون المردود الإجمالي:**

$$85\% \times 80\% = 68\%$$

10-7- مخرجات ترميد النفايات وطرائق معالجتها:

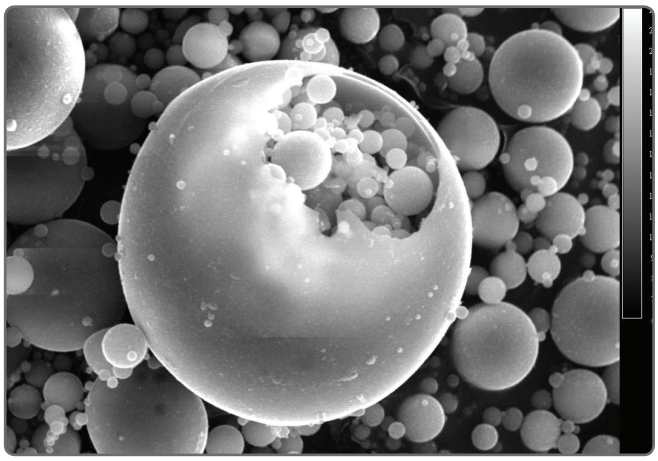
يتم اتخاذ الاحتياطات اللازمة للتقليل قدر الإمكان من كمية الملوثات في نواتج الاحتراق عند ترميد النفايات، ومن نواتج المحارق الرماد المتطاير، والرماد، وغازات العادم.

10-7-1- الرماد المتطاير(fly ash)

هو الرماد المنتشر في محرقة النفايات، والمتجمع في مرجل تجميع الغازات، وفي تجهيزات جمع الغبار ويمثل الحُبيبات المزالة من الغازات الصادرة كما يظهر في الشكل (10-7)، وتتعلق كميته بشكل حجرة الاحتراق والشبكة الموجودة في الحجرة، ويشترط أن تكون المحارق مجهزة بالوسائل التقنية الكافية لمنع تطاير الرماد، أو انبعاث الغازات إلاّ في الحدود المسموح بها.

الشكل 10-7:

الرماد المتطاير تحت المجهر fly ash



10-7-2- رماد القاع (Bottom ash)

عند معالجة النفايات في المحرقة لايبقى إلاّ الرماد (يسمى رماد القاع)، يُبرد الرماد في حوض مائي، ثم ينقل بشكله الرطب إلى خزان تجميع (تكون رطوبته

بشكل وسطي 20%)، ويمكن التخلص من الرماد في مطامر خاصة إذا كان يحتوي على معادن ثقيلة ومواد سامة.

وقد يُستخدم رماد القاع في رصف الطرق إذا لم يحتوي على معادن ثقيلة، أو الحشوات الإنشائية، وتغطية المناجم، وربما خلطه مع الأسمنت لصناعة بلوك البناء.

تكون أجهزة عزل الرماد متينة ومقاومة للصدمات ومن مواد لا تستهلك بسرعة. ونشير أنه عند تبريد الرماد يتبخر جزء من الماء والجزء الآخر يذهب مع الخبث المبلل. ويعوض هذا الضياع بشكل مستمر بإضافة الماء أو رش الخبث بالماء في الحوض.

10-7-3-غازات العادم:

يُعد الترميد والمحارق المفتوحة للنفايات من مصادر انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، مثل أنواع الاحتراق الأخرى. تشتمل الغازات المنبعثة على ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وأكسيد النيتروز (N_2O)، (غازات الاحتباس الحراري) وغازات ينتج عنها الأمطار الحامضية كثاني أكسيد الكبريت SO_2 وثاني أكسيد النتروجين NO_2 وكلوريد الهيدروجين HCl.

وبخصوص تغير المناخ فإنه يتم الإبلاغ عن الانبعاثات الناجمة عن ترميد النفايات دون استعادة الطاقة ضمن محور قطاع النفايات، في حين يتم الإبلاغ عن الانبعاثات الناجمة عن الترميد باستعادة الطاقة ضمن محور قطاع الطاقة، وفي كلتا الحالتين يتم التمييز بين انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الحيوي والأحفوري.

وقد ينتج أول أكسيد الكربون CO نتيجة احتراق غير كامل للنفايات.

ومن الملوثات الهوائية الأخرى الناتجة من حرق النفايات:

- الضباب الدخاني الضوئي الكيمائي.

- المعادن الثقيلة في الغازات الصادرة، فالرصاص الموجود في النفايات عند حرقها يزيد من تركيزه في الغاز الخارج من عملية الحرق.
- الدايوكسينات السامة Dioxins من الدايوكسين الموجود في النفايات ولم يحترق في المحرقة، أو من تكوينه أثناء عملية الحرق (polychlorinated dibenzodioxins) (الدايوكسين مجموعة من العناصر من عائلة مركبات عضوية والتي لها بنية حلقية مكونة من حلقات بنزين مرتبطة مع ذرتين أكسجين. يُستخدم بكثرة كمذيب ومثبت في المذيبات المكلورة، ويُعتبر مسرطن للبشر).

10-7-4- طرائق معالجة الرماد المتطاير وغازات العادم

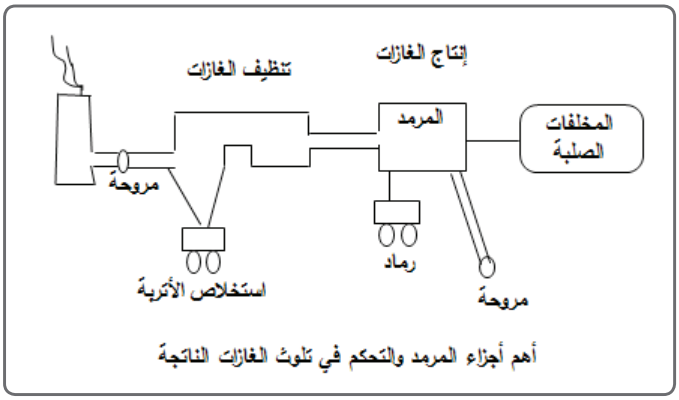
تسن التشريعات والقوانين وجوب التحكم في الملوثات الغازية الجسيمات الصلبة المنبعثة من المصنع الذي يتم فيه حرق النفايات بغية معالجتها، ودرء خروج الأبخرة السامة إلى الجو، ومن أجهزة وطرائق التحكم في الملوثات الغازية والجسيمات الصلبة المعلقة: حجرات الترسيب، الأكياس المرشحة، غاسلات الغازات scrubber، مرسبات الكهرباء الساكنة.

ومن خلال ذلك تضمن معالجة الدخان الناتج عن الترميد مرحلتين مختلفتين. في المرحلة الأولى تُزال الغازات الضارة، وفي الثانية ينفذ إزالة الغبار والجسيمات الصلبة المعلقة.

ويبين الشكل (10-8) أهم أجزاء معمل الترميد مع التحكم في مخرجات الترميد.

الشكل 10-8:

أهم أجزاء معمل الترميد مع التحكم في مخرجات الترميد.



يرتبط اختيار تجهيزات تنقية غازات العادم بتدفق الغازات المعدة للمعالجة، وتركيز الجسيمات الصلبة المعلقة والغبار، ونسبة التنقية المطلوبة، و العوامل (البارامترات) الفيزيائية للتيار الغازي (السرعة، ودرجة الحرارة، والرطوبة، والقدرة على التسبب بالتآكل لهذه الغازات) والخواص الفيزياوكيميائية للجسيمات المعلقة (الكتلة الحجمية، والمقاومة الكهربائية النوعية، والتركيب الكيميائي..الخ).

أ- الطرق المستعملة لإزالة الغازات الضارة:

تعتمد أغلب الطرق المستخدمة لإزالة الغازات الخطرة الضارة على ظاهرتين هما الامتصاص Absorption والادمصاص Adsorption.

نقصد بالامتصاص انحلال جسم غازي في سائل مناسب يعرف على أنه مذيب Solvent وبهذا يتم خلط الجسم المذاب وهو الغاز مع الجسم المذيب السائل، وتتأثر عملية الامتصاص بعدة عوامل فيزيائية وكيميائية، ومن أهم العوامل الفيزيائية المؤثرة نذكر الضغط الجزئي للغاز ودرجة الحرارة لما لهما من أثر على انحلالية الغاز في سائل. أمّا العامل الكيميائي المؤثر فهو تركيز المواد المتفاعلة. نقصد بالادمصاص، ارتباط جزيئات الغاز على سطوح فعالة لجسم صلب كالفحم المنشط أو االكلس الجير وبذلك تزال الغازات الضارة.

يتم امتصاص الغازات الضارة الناتجة عن الترميد إمّا بالطريقة الجافة أو الرطبة أو نصف الرطبة.

يتم في الطريقة الرطبة تبريد الغازات المعدة للمعالجة بوساطة سائل حيث تشبع الغازات بالرطوبة، ومن ثم تمتص الغازات المراد التخلص منها من قبل السائل.

من أهم السوائل المستخدمة الماء لما يتمتع من قدرة على امتصاص حمض كلوريد الهيدروجين ولحرارة تبخره العالية ولقدرته الضعيفة على حل مركبات الكالسيوم المتشكلة ككبريتات الكالسيوم.

في الطريقة نصف الرطبة يؤمن تماس الغازات المعدة للمعالجة مع محلول مائي (هيدروكسيد كالسيوم) لكن في هذه الحالة لن تصل الغازات إلى حد الإشباع بالرطوبة كما في الطريقة الرطبة.

وتنفذ الطريقة الجافة بضخ جسيمات بللورية صلبة تكون عادة قلوية في وسط تيار الغاز الساخن المراد معالجته، ثم تعزل بعد ذلك المواد الناتجة عن تفاعل المادة القلوية مع المواد المراد إزالتها.

- **إزالة الكلور من الغازات الناتجة عن ترميد النفايات**[106]:

ينتج كلوريد الهيدروجين بشكل أساسي عن ترميد نفايات الـ PVC، وفق التفاعل كما في العلاقة (10-9):

$$2\,[CH\,CHI\,]_2\,2\,[CH + 5\,O2 \longrightarrow 2\,HCl + 4\,CO2 + 2\,H2O \qquad (9\text{-}10)$$

ينتج عن تكوين غاز كلوريد الهيدروجين تآكل وتخريش مراجل ومداخن أفران الترميد، لقد أمكن ضبط هذه المشكلة ضمن مصنع الترميد نفسه، لكن يبقى الضرر بعد خروج غاز كلوريد الهيدروجين HCl من مصنع الترميد أي تلويث الغلاف الجوي وتقوية ظاهرة المطر الحامضي.

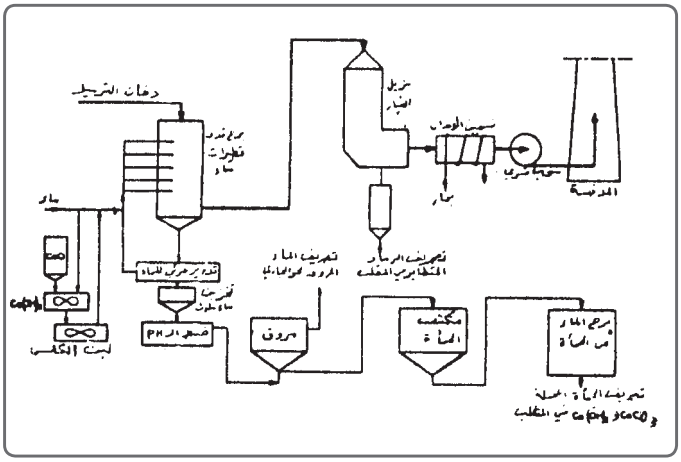
لقد بينت الدراسات في فرنسا أن ترميد طن واحد من النفايات المنزلية ينتج من 5 إلى 10 كيلوغرام من حمض كلوريد الهيدروجين مع الدخان.

يوجد عدة طرائق لالتقاط وحجز غاز كلوربد الهيدروجين من الدخان الناتج عن الترميد، تعتمد على تحويله إلى كلوريد الكالسيوم عن طريق إضافة الجير (الكلس المطفئ)، ثم يستخلص هذا المركب الناتج.

يمكن أن يتم خلط الجير مع غاز كلوريد الهيدروجين بطريقة جافة أو رطبة. أو نصف رطبة إن التفاعل الكيميائي سريع في حالة اتباع الخلط بالطريقة الرطبة لذلك فأبعاد المفاعل اللازم غير كبيرة، كما أن استهلاك الجير يساوي تقريباً الكمية اللازمة نظرياً لتحقيق التفاعل، بيد أن التلوث ينتقل في هذه الحالة من الطور الغازي إلى الطور السائل ويلزم بالتالي معالجة السوائل عالية التركيز الناتجة إضافة إلى أن إشباع الغازات بالرطوبة يخفض درجة حرارتها إلى حوالي 60 درجة مئوية فيلزم إذاً لتسخين الغازات المعالجة ثانية لضمان حماية المدخنة وتشتت الغازات المصرفة في الهواء الجوي. كما مبين في الشكل (10-9).

الشكل 10-9:

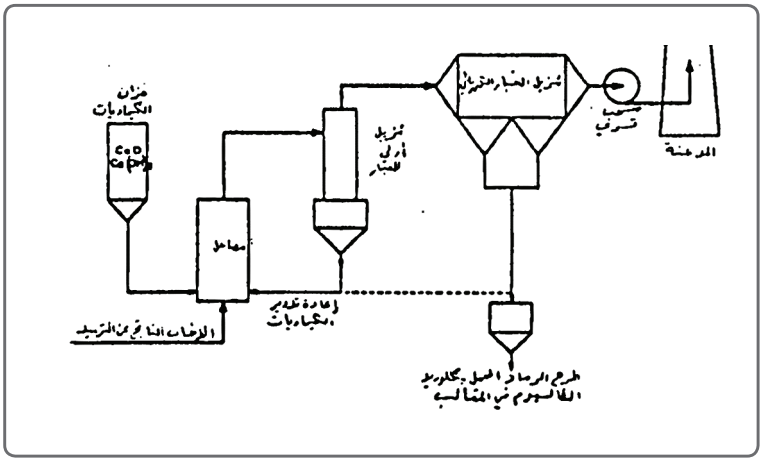
مخطط مبسط لتنقية دخان الترميد من غاز كلوريد الهدروجين بالطريقة الرطبة



أما إجر ونصف الكمية النظرية اللازمة، وذلك على الرغم من إعادة تدوير المادة الصلبة بهدف تخفيض الاستهلاك والهدر، كما أن إعادة التدوير تؤدي إلى زيادة تركيز الجسيمات الصلبة في الغازات وبالتالي يلزم تأمين نظام فعال لإزالة هذه الجسيمات كما مبين في الشكل (10-10).

الشكل 10-10:

مراحل تنقية دخان الترميد من غاز كلور الهيدروجين بالطريقة الجافة



أمّا إجراء التفاعل بالطريقة نصف الرطبة فهو محاولة للحفاظ على كفاءة إزالة الطريقة الرطبة والتي لايتم فيها إعادة تدوير مادة صلبة، وتعتمد الطريقة نصف الرطبة على تأمين تماس الغازات المطلوب إزالتها مع محلول مائي من الجير وبحيث تكون كمية الماء غير كافية لإيصال الغازات لحالة الإشباع بالرطوبة. لكن استهلاك الجير في هذه الطريقة يقارب أربع مرات الكمية اللازمة نظرياً.

تطمر البقايا الصلبة الناتجة عن الطريقة الجافة ونصف الرطبة والمكونة من كلوريد الكالسيوم و الجير الفائض في مطامر صحية.

- إزالة غاز ثاني أكسيد الكبريت:

يُعزى تلوث الغلاف الجوي بغاز ثاني أكسيد الكبريت إلى حرق الوقود

الأحفوري (فحم، فيول...) الحاوي على شوائب من الكبريت. أمّا مساهمة دخان ترميد النفايات في هذا التلوث فضعيفة نسبياً، لكن في حال وجود SO_2 في دخان الترميد بتركيزات غير مهملة يلزم استخلاص هذا الغاز الضار والمسؤول بشكل كبير عن ظاهرة المطر الحامضي. يوجد العديد من الطرق الكيميائية لإزالة غاز ثاني أكسيد الكبريت من الغازات الناتجة عن الاحتراق أو الترميد، نذكر منها مايلي:

1. حقن مسحوق الحجر الجيري:

يتم في هذه الطريقة حقن مسحوق الحجر الجيري إلى غرفة احتراق، حيث يتم تفككه حسب العلاقة (10-10):

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \uparrow \qquad (10\text{-}10)$$

يتفاعل أكسيد الكالسيوم في درجة الحرارة العالية مع غاز ثاني أكسيد الكبريت وبوجود فائض من الأكسجين في حجرة الاحتراق ليشكل كبريتات الكالسيوم حسب العلاقة (10-11):

$$2CaO + 2\ SO2 + O_2 \rightarrow 2\ Ca\ SO4 \qquad (11\text{-}10)$$

تمرر كبريتات الكالسيوم الناتجة مع الرماد المتطاير وأكسيد الكالسيوم وSO2 غير المتفاعلين بعد، على أجهزة غسل الغازات، وفي النهاية تجمع كبريتات الكالسيوم والرماد ليتم التخلص منها.

والمشكلة الرئيسة التي نصادفها في هذه الطريقة هي ميل كبريتات الكالسيوم للالتصاق والتوضع على جدران أجهزة الغسيل والتجهيزات الأخرى المتصلة بها، إلاّ أن مايشجع على استخدام وتطوير هذه الطريقة هو:

1- الكلفة المنخفضة للمواد المستخدمة للمعالجة (الحجر االكلس الجير ي).

2- النواتج الواجب التخلص منها، وهي بشكل أساسي كبريتات الكالسيوم المائية، لها تأثير بسيط على تلوث البيئة بعكس غاز ثاني أكسيد الكبريت.

3. امتصاص ثاني أكسيد الكبريت بوساطة محلول مائي لكبريتيت الصوديوم: يتم في هذه الحالة تركيز غاز ثاني أكسيد الكبريت الخارج مع الغازات الناتجة عن الترميد حسب العلاقة (10-12):

$$SO_2 \text{ (ممدد)} + Na2SO3 + H2O \rightarrow 2Na\ H\ SO3 \qquad (12\text{-}10)$$

ولاسترجاع غاز ثاني أكسيد الكبريت بشكل مركز يسخن المحلول الغني بهيدروجينو كبريتيت الصوديوم فينعكس التفاعل السابق وينطلق غاز SO_2

$$2NaHSO3 \rightarrow Na2\ SO3 + H2O + SO2 \quad (\text{مركز})$$

ثم يجمع غاز ثاني أكسيد الكبريت ويميع لاستعمالات أخرى كتحويله إلى كبريت أو إلى حمض الكبريتيك القابلان للتسويق.

ب-الطرائق المتبعة في إزالة الغبار والرماد المتطاير:

تَتبع نسبة الغبار والرماد المتطاير مع الغازات الناتجة عن الترميد لنوعية النفايات المحروقة ولشكل فرن الترميد وطريقة ايقاده. إن نسبة الرماد والغبار في الغازات الناتجة عن أفران الترميد ذات القرص الدوار منخفضة مقارنة مع أشكال أخرى لأفران الترميد.

يتم التخلص من الغازات الناتجة عن الاحتراق وتأمين الهواء اللازم للاحتراق في نظام السحب الطبيعي بوساطة المدخنة.

تميل الجسيمات الصلبة التي تزيد أبعادها عن 10 μm للسقوط والهبوط في حين أن الجسيمات التي أبعادها أدنى من ذلك تبقى معلقة بالهواء.

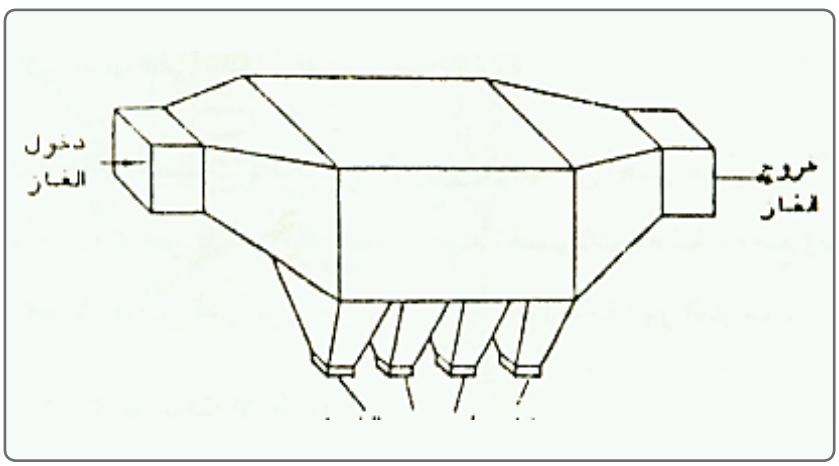
تنتشر الغازات المنطلقة من المدخنة في اتجاهات الريح، ويتحكم تصميم المدخنة وارتفاعها بمساحة المنطقة التي يمكن أن تتضرر من الغبار والرماد الموجودين مع الغازات.

- **حجرة ترسيب الغبار:**

تعتبر حجرة ترسيب الغبار من أبسط أجهزة إزالة الغبار عن الغازات بقوة الثقالة، ويتم الفصل نتيجة لتوسع مقطع مجرى الغازات كما مبين في الشكل (10-11)، مما يؤدي إلى تخفيض سرعة الغاز العادم بصورة تسمح للجسيمات الكبيرة (أكبر من 40 ميكرومتر) بالسقوط. ويعتمد مردود فصل الغبار على زمن مكوث الغازات الناتجة عن الاحتراق داخل الحجرة وعلى تدفق الغازات الداخلة إليها.

الشكل 10-11:

تخطيط مبسط لحجرة ترسيب الغبار.

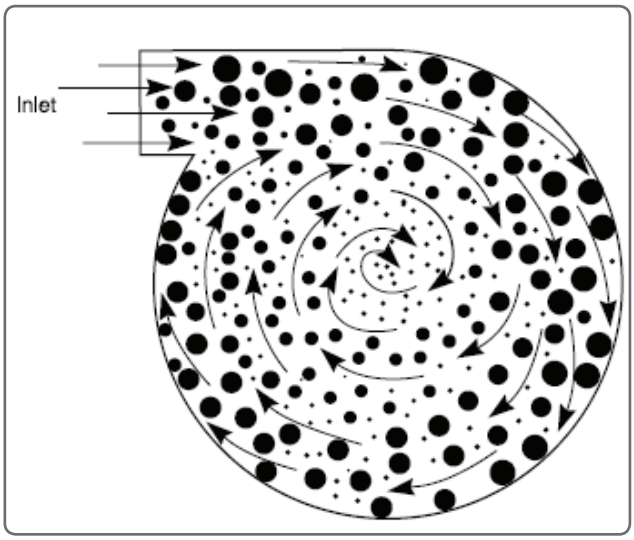


- **فاصلات الغبار الدوامية (السيكلونية):**

تصمم الفاصلات الدوامية بحيث يعاني التيار الغازي الداخل إليها بشكل مماسي وبسرعة من 14 إلى 30 متر/الثانية، دوراناً سريعاً جداً فيحدث ترسب الجسيمات المعلقة في الغازات بفعل القوة النابذة الطاردة التي تخضع لها الجسيمات المعلقة فتطردها نحو الخارج لتصطدم بجدران الوعاء فتتجمع هناك بكميات كبيرة فتترسب فيما بعد بفعل الجاذبية الثقالة الأرضية نحو الأسفل، كما في الشكل (10-12).

الشكل 10-12:

آلية عمل الفاصل الدوامي ذو الدخول المماسي.



إن الفاصلات الدوامية (السيكلونية) بسيطة التصميم وسهلة الصيانة والتشغيل، لكنها غير فعالة لإزالة الجسيمات المعلقة الصغيرة لضآلة القوة النابذة المؤثرة عليها، حيث تعطى القوة النابذةا التي تخضع لها الجسيمة المعلقة بالعلاقة (13-10):

$$F = \frac{m.V^2}{r} \qquad (13-10)$$

حيـــث:

m: كتلة الجسيمة المعلقة (تتبع لأبعاد الجسيمة).

v: سرعة دخول التيار الغازي.

r: نصف قطر أسطوانة الفاصل الدوامي.

إن مردود إزالة الجسيمات بالفاصلات الدوامية جيد من أجل جسيمات أكبر من 20 ميكرومتر، ويتناقص المردود مع نقصان أبعاد الجسيمات المعلقة، ومع زيادة نصف قطر اسطوانة الفاصل الدوامي من أجل سرعة دخول ثابتة لتيار الغازات.

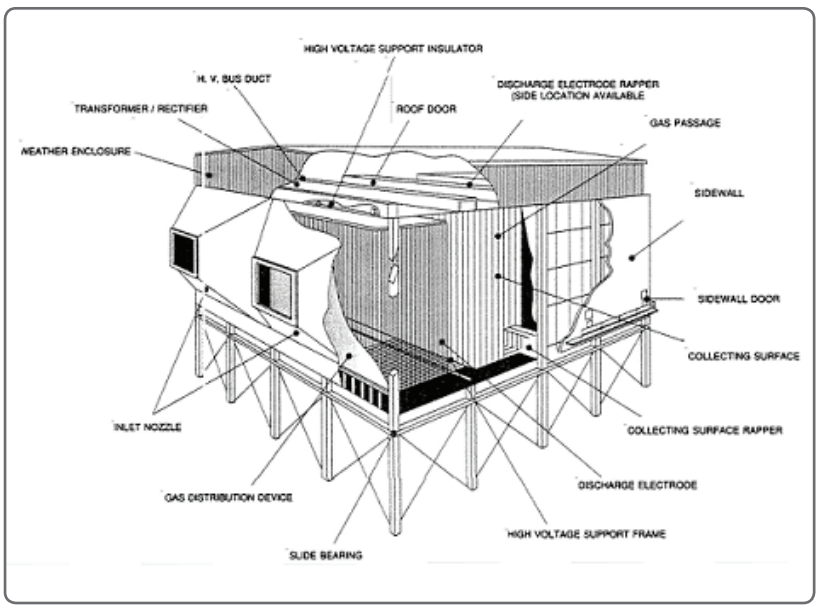
- **مرسبات الكهرباء الساكنة (الالكتروستاتيكية):**

تستعمل مرسبات الكهرباء الساكنة لإزالة الجسيمات المعلقة الصغيرة وخاصة الرماد المتطاير مع دخان الترميد، حيث أن هذا الرماد لا يترسب بسهولة بالطرق الميكانيكية.

تتم إزالة الجسيمات المعلقة بفضل تطبيق فرق جهد كبير قد يصل إلى 70 كيلو فولط بين الالكترودين.

تتكون مرسبات الكهرباء الساكنة من أقطاب كهربائية ومن تجهيزات لرفع قيمة فرق الجهد إلى القيمة المطلوبة كما في الشكل (10-13)، ويتبع لجسم المرسب مايلي:

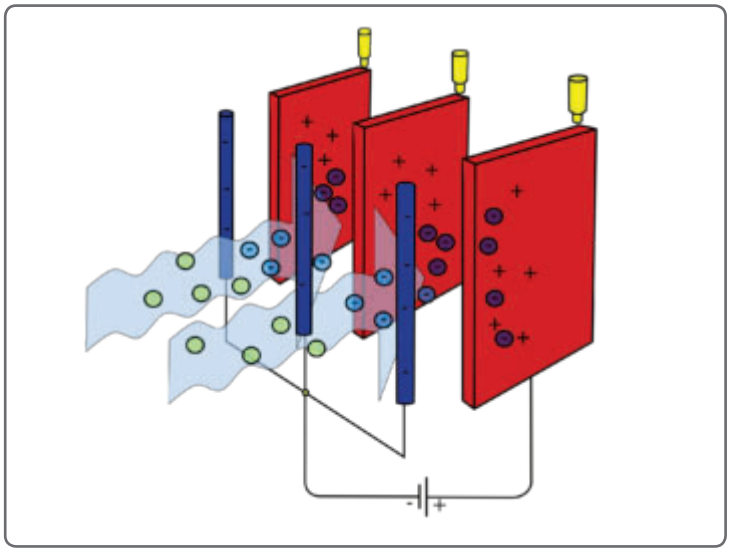
الشكل 10-13:
مكونات مرسب الكهرباء الساكنة.



- اقطاب الترسيب وهي عبارة عن صفائح (القطب الموجب)، وأطر عليها قضبان شوكية (القطب السالب) ، كما في الشكل (10-14).

الشكل 10-14:

الاقطاب في مرسب الكهرباء الساكنة ذي الصفائح.



- آلية طرق الاقطاب لإنزال الجسيمات المترسبة عليها وتجميعها في خزان الجسيمات.
- تجهيزات التغذية بفرق الجهد الضعيف، كأجهزة الوصل والفصل وأجهزة التحكم والقياس والمراقبة.
- قسم تحويل فرق الجهد من 380 فولط إلى فرق جهد عالي وماتبع لهذا القسم من محول خاص برفع فرق الجهد من 380 فولط إلى حوالي 70 كيلو فولط، وأجهزة تقويم فرق الجهد المتردد إلى فرق جهد جهد مستمر، وجهاز تنظيم مراقبة فرق الجهد هذا.

تعطى كفاءة إزالة ال مرسبات الكهرباء الساكنة بالعلاقة (10-14):

$$E = 1 - \exp\left(-\frac{A.W}{V}\right) \qquad (14-10)$$

حيــث:

A: سطح القطب المرسب بالمتر المربع.

v: حجم المرسب بالمتر المكعب.

W: تدفق الغازات بالمتر المكعب في الثانية.

تتمتع مرسبات الكهرباء الساكنة بالميزات الآتية:

1. إمكانية انشاؤها بأحجام تكفي لتنقية تدفقات كبيرة من الغازات.
2. ضعف ضياع الحمولة في هذه الأجهزة وضعف استهلاك الطاقة اللازمة للتشغيل.
3. ارتفاع مردود إزالة الجسيمات الدقيقة التي أبعادها 10 ميكرومتر أو أقل.
4. إمكانية تشغيلها عند درجات حرارة عالية تصل إلى 450 درجة مئوية لهذا يمكن إجراء تنقية مباشرة للغازات الناتجة عن حرق النفايات في أفران الترميد ذوات الجدران المائية.

- **فصل الغبار الناتج عن ترميد النفايات بالترشيح:**

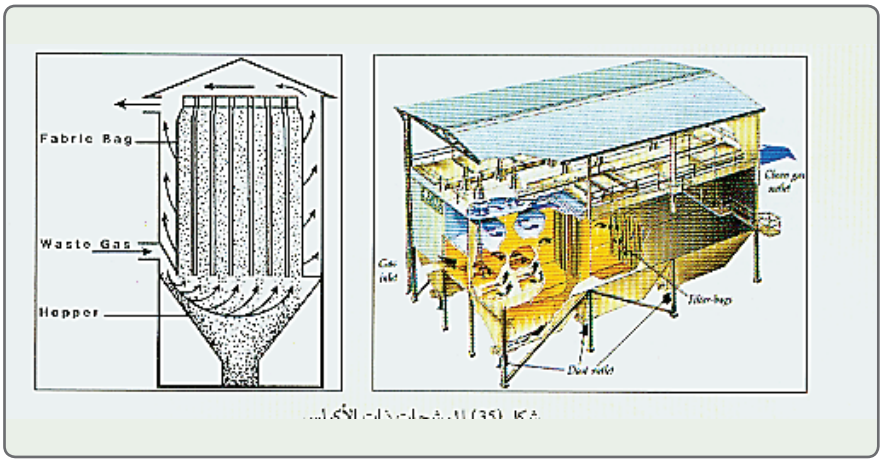
تلعب قوى العطالة في هذا الأسلوب دوراً رئيسياً. تعتمد كفاءة إزالة الجسيمات الصلبة على أبعاد مسامات نسيج الترشيح المستعمل، فالجسيمات التي أبعادها أكبر من أبعاد المسامات لا تستطيع عبور النسيج وتحجز.

إن نسيج مادة الزجاج الليفي أو الأسبستوس يحتوي على مسامات أبعادها تتراوح بين 5 و10 ميكرومتر بعد وصول جسيمات الغبار إلى سطح النسيج المرشح تلعب معه دور المستقبل للجسيمات الجديدة الموجودة في تيار الغاز أي تتحسن كفاءة الترشيح مع تشكل طبقة من الغبار على نسيج الترشيح ويجب إزالة هذه الطبقة على فترات متباعدة لإعطاء الفرصة لتتجمع طبقات أخرى من جديد.

ويبين الشكل (10-15) أحد نماذج إزالة الغبار بالترشيح حيث يمر الغاز الملوث على أكياس كبيرة مرشحة لا تسمح إلا بمرور الهواء النقي نوعاً ما.

الشكل 10-15:

أحد أشكال نماذج إزالة الغبار بالترشيح.



- فصل الغبار بالغسيل الرطب:

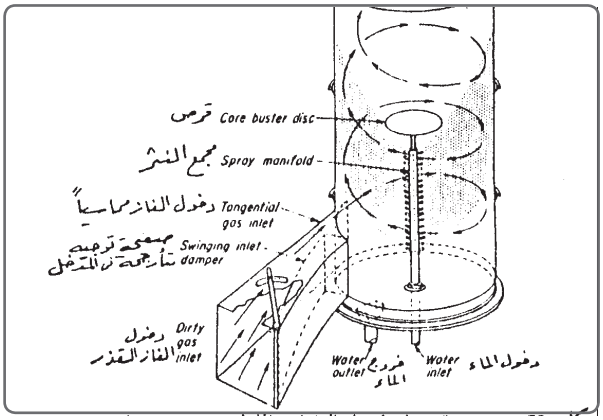
في هذا الأسلوب تلعب قوى العطالة للجسيمات الصلبة دوراً أساسياً، يمر التيار الغازي أمام القطرات المائية وتلتصق الجسيمات الصلبة بالقطرات المائية وتسقط. يزداد مردود إزالة الغبار كلما كانت أبعاد قطرات الماء أصغر. كما تنحل في قطرات الماء كميات من الغازات المسببة للتآكل المعدني.

فعالية هذه الطريقة جيدة ولكنها تحتاج إلى كميات كبيرة من الماء، ويعتمد انتقال الغازات المسببة للتآكل على عامل التوزيع، وتزداد فعالية طريقة الفصل بالغسيل بزيادة زمن التماس بين السائل الغاسل والملوثات الغازية.

يبين الشكل (10-16) جهاز غسيل لولبي حيث يدخل الغاز من الأسفل من فتحة خاصة باتجاه مماسي ويصعد الغاز إلى أعلى الجهاز في مسار لولبي حيث يمر أمام مجمع مركزي يقوم بنثر الماء على شكل قطرات أبعادها حوالي 100ميكرومتر. تحجز هذه القطرات المائية جسيمات الغبار ذات القطر الأكبر من 10ميكرومتر ليتم اخراجها من أسفل الجهاز. أما الهواء المنقى فيخرج من الأعلى من خلال ريش غير داورة.

الشكل 10-16:

ترسيمة جهاز غسيل الغازات الملوثة بجسيمات صلبة.



- من أجل إزالة الغازات التي تسبب التآكل يضاف إلى ماء الغسيل مواد قلوية كالجير، ونتيجة للغسيل تتبرد الغازات كما ذكرنا فيما سبق.
- للحد من أضرار التآكل تستخدم مواد مطاطية في أجهزة الغسيل.
- من عقبات غسيل الغازات تحويل التلوث من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة، أي يلزم معالجة السائل الملوث الناتج عن الغسيل.

10-8- التعرية والتآكل في حجرات الاحتراق:

للتفريق بين التعرية (Erosion) والتآكل (Corrosion)، يمكننا أن نعرف التعرية (الحت) بأنها حدوث تغيُّر في سطح مادة ما سببه تأثير ميكانيكي، أما التآكل فهو حدوث تخرُّش على سطح ما ناتج بشكل رئيسي عن تفاعلات كيميائية.

من الناحية العملية غالباً ما تحدث التعرية والتآكل جنباً إلى جنب على سطح ما.

تحدث التعرية بشكل عام بسبب الرماد المتطاير وكذلك بسبب الغبار الموجود في الغازات غير المعالجة. وتتعلق شدة التعرية وكميته بقساوة مركبات الرماد

المتطاير وشكلها الهندسي، وتحدث التعرية بشكل كبير في المناطق التي تغير فيها الغازات اتجاهها وبشكل مقصود.

تساهم تعرية الاسطح في زيادة التآكل وتسريعه، كما ينتج عن ظاهرة التعرية والتآكل تخريب لطبقات الحماية في الأنابيب أيضاً.

يوجد نوعان لتآكل حجرات الاحتراق هي:

أ- التآكل الناتج عن الحرارة العالية:

يتم التآكل بتأثير الرطوبة عن طريق التفاعلات الكيميائية لبخار الماء حيث تتشكل أملاح معدنية متطايرة في حجرة الاحتراق المصنوعة من الفولاذ. ويحدث التآكل الناتج عن الحرارة العالية بسبب وجود الكلوريدات والسلفات.

- **التآكل الكلوريدي:** تتشكل في المرحلة الأولى وعلى المناطق الساخنة أكاسيد الحديد Fe2O3 وFe3O4 تعمل كطبقات حماية، لكن وجود أول أكسيد الكربون يرجع هذه الأكاسيد إلى أكسيد الحديديك FeO الذي يتفاعل بسهولة مع كلوريد الهيدروجين لينتج ملح كلوريد الحديديك FeCl2.

- **التآكل الكبريتيي:** إن التآكل الكبريتيي متعدّد الأشكال، في البداية يوجد كلوريد الصوديوم، ويوجد في الرماد المتطاير الناتج عن الحرق أكاسيد المعادن القلوية مثل: Na2O وK2O، تتفاعل هذه الأكاسيد مع ثاني أكسيد الكبريت SO2 وثالث أكسيد الكبريت SO3 وتنتج شوارد الكبريتيات SO_4^{2-}، وبالتالي في درجة حرارة مابين 320 و480 درجة مئوية تتشكل كبريتيات الصوديوم و كبريتات البوتاسيوم التي تتفاعل مع أكسيد الحديديك FeO لتشكل كبريتات الحديد.

إن كبريتات الحديد منحلة في درجات الحرارة العالية، لهذا يحدث التآكل في فولاذ غرف الاحتراق.

ب- التآكل الناتج عن درجات الحرارة المنخفضة:

يحدث هذا التآكل عندما تكون درجة حرارة الغازات قريبة من 200 درجة مئوية بسبب الرطوبة، ويمكن أن يلاحظ هذا التآكل حتى في حالة توقف منشأة ترميد النفايات عن العمل.

10-9- تحديد أبعاد منشأة ترميد النفايات:

يعدّ تصميم المحرقة (المرمد المحرقة) ذا دور هام جداً ورئيس في ضمان تدمير النفايات بشكل تام، بل أن هناك العديد من العوامل الخاصة بتصميم المحرقة تؤثر بدورها على عملية التخلص الحراري، منها درجة الحرارة التي تُعد العامل الأساس لضمان حدوث التدمير الشامل للنفايات وبشكل خاص النفايات الخطرة. حيث تعتمد كفاءة التدمير والإزالة في عملية الترميد بشكل كبير جداً على درجة حرارة المحرقة.

ويؤثر حجم المحرقة في مقدار الوقت اللازم لتدفق النفايات إليها. إذ تتداخل هذه المدة الزمنية مع درجة الحرارة لِضمان كفاءة التدمير، حيث يجب أن تكون مدة الحرق كافية لِضمان التدمير والإزالة التامة، ولضمان تحويل النفايات إلى نواتج غير ملوثة للبيئة.

ويجب أن تبقى نواتج الحرق غير الكاملة في درجة الحرارة المحددة داخل المحرقة لفترة كافية بما يضمن تحولها إلى ثاني أكسيد الكربون والماء. وإذا لم يحدث ذلك، فيلزم في هذه الحالة عمل معالجة إضافية لنواتج الاحتراق لضمان توافقها مع معايير الانبعاثات الهوائية.

ونذكر بأنه تتم جميع العمليات الخاصة بترميد النفايات الخطرة بالشكل الذي يجعلها قابلة للتنفيذ تحت ضغط منخفض، بهدف تقليل الانبعاثات سريعة التطاير، أما أنظمة التخلص الحراري التي تعمل تحت ضغط عالٍ فإنّها تتطلب محارق بمواصفات خاصة مقاومة للتسرُّب.

ومن أهم العناصر المطلوب تحديد أبعادها في منشأة الترميد نذكر: سطح الشبك المتحرك أو القرص الدوّار، حجم حجرة الإحتراق، مساحات مقاطع معدات تداول وتنقية الغازات الناتجة عن الحرق. يعتمد تحديد الأبعاد على عدة عوامل هي:

- الحمولة الكتلية للنفايات في المتر المربع الواحد من الشبك المتحرك، أومن القرص الدوار في الساعة الواحدة (كغ/م^2.ساعة).
- الحمولة الحرارية في المتر المربع الواحد من الشبك المتحرك، أومن القرص الدوار في الساعة الواحدة (كالوري/م^2.ساعة).
- الحمولة الحرارية في المتر المكعب من حجرة الاحتراق في الساعة الواحدة(كالوري /م^3. ساعة)، كما يتبع تحديد أبعاد حجرة الإحتراق ومعدات تداول الغازات الناتجة عن الإحتراق لتدفق هذه الغازات وللسرعة المسموحة.

10-10- شروط تصميم المرمد وتشغيله:

يجب تحقيق الشروط التالية في تصميم وتشغيل المرمد:

أ- أن يتم تصميم الموقد وحجرة الاحتراق بحيث يحدث مزج كامل لكمية الهواء الكافية للحرق الكامل وتوزيع درجة الحرارة وإعطاء الزمن الكافي والتقليب الذي يضمن الحرق الكامل ضماناً للإقلال من انبعاثات نواتج الحرق غير الكامل، وبحيث لا يزيد ما ينبعث من الملوثات عن الحدود القصوى المسموح بها للانبعاثات.

ب- في أفران الترميد ذات الحجرتين ألاّ تقل درجة حرارة الحرق في الحجرة الأولى عن (900-800) درجة مئوية، وفي الحجرة الثانية عن (1200-900) درجة مئوية.

ج- في أفران الترميد ذات الحجرتين يجب ألاّ تقل فترة حرق النفايات في الحجرة الأولى عن ساعة واحدة مع وجود الوسائل اللازمة لضمان الخلط الجيد للنفايات مع الهواء، وفترة مكوث الغازات في الحجرة الثانية عن ثانيتين.

د- أن تستوعب حجرة الاحتراق الثانية كمية من الهواء بمقدار هواء زائد لا يقل عن 100% من كمية الهواء المحسوبة مع ضمان وجود تدفق عالٍ الاضطراب.

هـ- أن تكون الفتحة العلوية لإدخال النفايات ذات حجم كافٍ لإدخالها بسهولة، وكذلك بالنسبة للفتحة السفلية لإخراج رماد القاع.

و- عدم البدء بتقليب النفايات قبل وصول درجة الحرارة في حجرات الاحتراق إلى الحدود الدنيا المسموحة (800 درجة مئوية في الحجرة الأولى و900 درجة مئوية في الحجرة الثانية) على أنه في أي حال من الأحوال يجب عدم البدء بالحرق في الحجرة الأولى قبل أن تصل درجة الحرارة في الحجرة الثانية إلى (900) درجة مئوية.

والجدير بالذكر أنه يجب أن يبعد موقع إقامة المرمد مسافة لا تقل عن (500) متر عن أقرب تجمع سكني، وتعتبر حدود الوحدة هي حدود التجمع السكني في حال وجود المرمد داخل التنظيم، ويعتبر التجمع السكني وجود عشرة بيوت سكنية مأهولة تجمع فيما بينها مساحة لا تقل عن 1كم2.

10-11- استثمار منشآت ترميد النفايات:

عند إستثمار منشآت ترميد النفايات يفضل مراعاة النقاط الآتية:

أ- يفضل تشغيل منشآت الترميد (عدا مرمدات السرير المميع) على ثلاث ورديات، حيث إن توقف الفرن ثم إعادة تشعيله يسبب صدمات حرارية كبيرة تضر بالعناصر المكونة للمنشأة.

ب- يجب مراقبة الاحتراق وانتظامه باستمرار، كما يجب ألاّ يقل المردود الحراري لفرن حرق النفايات مع استرجاع الطاقة عن 50%، علماً أن المردود الحراري للفرن هو النسبة بين الحريرات (Calories) المسترجعة فعلياً والحريرات الكامنة في النفايات قبل الحرق.

ج- يجب أن تخضع منشأة الترميد إلى عمليات صيانة دورية كل ستة أشهر أو كل سنة على الأقل لضمان التشغيل السليم والأمثل للمنشأة.

د- يجب أن يتم تبريد الرماد الناتج عن عملية الترميد قبل التخلص منه.

هـ- إن تنظيم فرز المواد الخطرة وتحديد آلية التخلص منها يؤدي إلى تناقص كمية المواد المعرضة للترميد، وكذلك يتم تخفيض تكاليف التخلص من النفايات الدوائية باستخدام نظام المحارق المركزية، وهذا يساعد في تقليل التكلفة لمعالجة النفايات بطريقة الترميد، إضافة إلى الحفاظ على نظافة البيئة ومصادر المياه الجوفية ومنع تلوث الهواء.

10-12- ميزات ترميد النفايات وسلبياته:

لطريقة ترميد النفايات ميزات ومحاسن نذكر منها النقاط الآتية[107]:

أ- المرمد الجيد التصميم يمكنه مواكبة مختلف الظروف ولا يتأثر بتذبذب كمية النفاية ومواصفاتها أو التغير في الطقس والمناخ كالأمطار والعواصف وغيرها بسبب كون الفرن مغلق.

ب- مساحة الأرض اللازمة لإنشاء مصنع الترميد منخفضة مقارنة مع المساحة اللازمة للتخلص من النفايات بأسلوب الطمر الصحي أو التحويل إلى كومبوست.

ج- نعتبر كلفة إنشاء المرمد أرخص السبل في حال غياب الطمر الصحي والتحويل إلى كومبوست.

د- يمكن تقليل مصاريف الترميد باستخدام تقنية الاستفادة من الحرارة الناتجة إمّا عن طريق الاستفادة من الطاقة الحرارية الناتجة ذاتياً أو بيعها.

هـ- يمكن وضع المرمد في المدينة أو في مناطق غير بعيدة عن المدن وفي المناطق الصناعية لتسهيل عملية ترحيل النفايات، وذلك بعد تصميمه جيداً ومراقبة عمله وتشغيله، وبالتالي تقل مسافة نقل النفايات.

و- نواتج المرمد تشكل كمية %(15-8) من النفاية المراد معالجتها (التخلص منها)، وتحتوي على كمية لا تذكر من المواد القابلة للتفتيت، وعادة الرماد المتبقي عديم الرائحة وغير متعفن.

ز- يمكن تطبيق نظام مراقبة ومعالجة للهواء الناتج عن الترميد وبالتالي تقليص الضرر الحاصل للغلاف الجوي إلى حدوده الدنيا.

ح- استخلاص مواد المرمد كما يمكن إعادة استخدام الطاقة الحرارية المسترجعة لتوليد البخار الذي يستخدم للتدفئة أو للتكييف أو لتوليد الطاقة الكهربائية.

ط- يكون التخلص من النفايات بشكل شبه فوري حيث لا تتطلب عملية الترميد الإبقاء على النفايات لفترة زمنية مثل المطامر.

ومن مساوئ سلبيات طريقة الترميد نذكر النقاط الآتية:

أ- باهظة التكاليف عند الإنشاء وتصميم المرمد وتجهيزه مقارنة مع الطمر الصحي وتحويل النفايات إلى كمبوست.

ب- متطلبات الصّيانة والتّشغيل المادية عادة أغلى من متطلبات صيانة وتشغيل الطمر الصحي وتحويل النفايات إلى كمبوست، وذلك لأن الأجهزة المتطلبة معقدة وتحتاج لعمال مهرة لتشغيل المرمد المحرقة.

ج- يجب الحفاظ على ظروف احتراق ملائمة: فائض هواء جيد ودرجة حرارة ثابتة في حجرة الاحتراق.

د- تلويث البيئة من مصارف المحارق وملوثات الهواء إذا لم يتم إدارتها بشكل سليم.

الفصل الحادي عشر

التحلُّل الحراري والتغويز (إنتاج الغـــاز) والمعالجة بالبلازما للنفايات

يعـد التحلـل الحـراري للكتلـة الحيويـة تقنيـة قديمـة، وقـد انتشـرت فـي السـنوات الأخيرة وبشكل واسـع بهدف التخلص السـليم من المخلفات الصلبة. وتوصـف بأنهـا طريقـة عاليـة الفعاليـة، تضمـن التخلص من المخلفات مع الاسـتفادة منها في شـكل وقـود ومـواد أولية للصناعـات الكيميائية، كما تتيح في ذات الوقت المجال لتقليص حجم التلوث الذي يصيب البيئة المحيطة.

11-1- مقدمة:

إن ترميد النفايات لإنتاج الطاقة هو حالياً أكثر التقنيات بروزاً والتي أثبتت كفاءتها في مجال إنتاج الطاقة، ولكنها ليست التقنية الوحيدة في هذا المجال في إنتاج الطاقة من النفايات. في السنوات الأخيرة تم تطوير طرق جديدة، أو تم تعديل طرق كانت موجودة سابقاً لإنتاج الطاقة من مواد النفايات. هذه الطرق عادة أكثر كفاءةً وأنظف من الترميد، ويُطلق على هذه الطرق التحويل الحراري ومنها التحلل الحراري (pyrolysis)، والتغويز (إنتاج الغاز gasification)، والتغويز إنتاج الغاز بالبلازما، التحويل إلى محروقات مشتقة من النفايات. ومع ذلك هناك بعض الآراء التي تصفها بأنها ليست سوى طرق أكثر تبهرجاً للحرق، ولكنها طرق تقدم فوائد كثيرة للحفاظ على البيئة.

ولقد انتشرت في السنوات الأخيرة وبشكل واسع طريقة التحلل الحراري للتخلص من المخلفات الصلبة، وهي طريقة مرتفعة الفعالية للتخلص من المخلفات مع الاستفادة منها على شكل وقود ومواد أولية للصناعات الكيميائية، وبنفس الوقت تتيح المجال لتقليص حجم التلوث الذي يصيب البيئة المحيطة.

11-2- مبدأ التحلل الحراري للنفايات:

التحلل الحراري للنفايات هو عملية ماصة للحرارة (Endothermic) بصورة كبرى، أي تقطير تحطيمي، أو حرق جزئي للمحتوى العضوي غير المستقر حرارياً للنفايات الصلبة، أو للمواد المحتوية على نسبة عالية من الكربون بمعزل عن الهواء، أو في جو فقير بالأكسجين، باستخدام مصدر حراري خارجي.

يعد التحلل الحراري للكتلة الحيوية تقنية قديمة ويعتبر تطبيقها على النفايات الصلبة البلدية تطوراً حديثاً نسبياً. لن تتحلل المادة الخام (أي النفايات البلدية) أثناء التحلل الحراري قبل أن تتبخر رطوبتها. يتم حساب إجمالي الحرارة اللازمة لتبخير الماء Q [كيلوجول/كغ] وفقًا للمعادلة التالية:

$$W = Q * 2260 ،\qquad (1\text{-}11)$$

حيث Q :هو محتوى الماء $[\%]$ في المادة الأولية للمفاعل[108].

هذا هو السبب في أن المواد الأولية الخام للنفايات الصلبة البلدية يجب أن تكون متسقة، وعادة ما تكون غير مناسبة للتحلل الحراري.

يُقترح فصل مكونات النفايات الصلبة البلدية ذات المحتوى العالي من الرطوبة مثل نفايات الطعام والكتلة الحيوية قبل التحلل الحراري، وبالتالي، تحتاج النفايات البلدية إلى التحضير الميكانيكي وفصل الزجاج والمعادن والمواد الخاملة (مثل الأنقاض) قبل معالجة النفايات المتبقية .

يمكن التعبير عن تفاعل التحلل الحراري للمواد العضوية الذي يحدث في عملية التحلل الحراري على النحو التالي:

$$CxHyOz + Q = Char + Liquid + Gas + H2O \qquad (2\text{-}11)$$

حيث Q :هي الحرارة التي يجب إدخالها إلى المفاعل حتى تحدث التفاعلات.

منتجات التحلل الحراري لتحلل الجزء العضوي من النفايات هي مواد متطايرة بنسبة 75-90% ، وبقايا صلبة (فحم الكوك) بنسبة 10-25%. تقلل الرطوبة والمواد غير العضوية الموجودة في النفايات الصلبة البلدية من المنتجات المتطايرة وتتنوع الكمية من 60 إلى 70% ، ولكنها تزيد من تكوين فحم الكوك من 30 إلى 40% [109].

تتميز عمليات التحلل الحراري بانبعاثات ملوثات أقل بشكل ملحوظ مقارنة بالاحتراق الطبيعي في المرمد.

استخدمت عملية التحلل الحراري في الصناعة لإنتاج الفحم من الخشب، وإنتاج فحم الكوك من الفحم الحجري، و الاسفلت (الزفت) من البترول الثقيل. إلاّ أن هذه التقنية قليلة الاستخدام في معالجة النفايات الصلبة البلدية بسبب التكاليف

العالية المتعلقة باستخدام مصدر حراري خارجي لإتمام عملية التكسير الحراري، ومشاكل تشغيل أنظمة الحرق الإتلافي علاوة على طبيعة العملية المعقدة.

11-3- تصنيف محطات التحلل الحراري، حسب درجة الحرارة

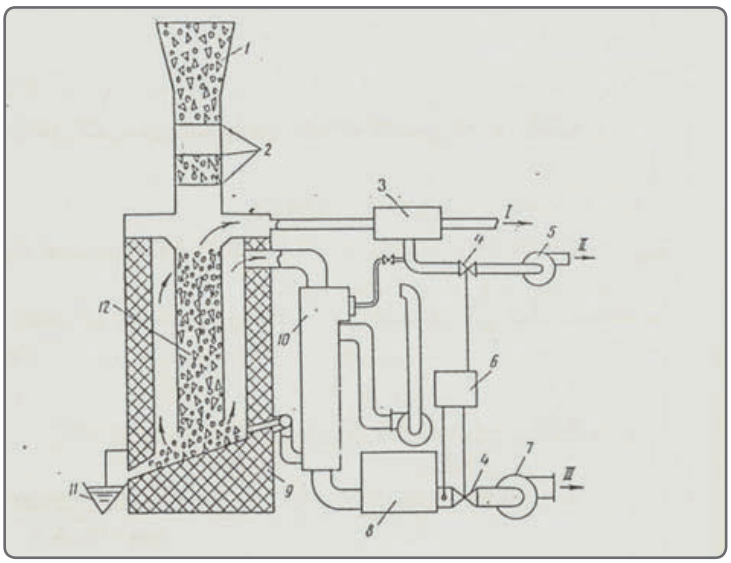
أهم العوامل (البارامترات) التي تؤثر على التحلل الحراري للنفايات البلدية هي أنواع النفايات البلدية ودرجة حرارة التفاعل الذي يعد من اهم العوامل، ومعدل التسخين (HR) واستخدام المحفز ونوع المفاعل وما إلى ذلك. هناك ثلاثة أنواع مختلفة من عمليات التحلل الحراري وفقاً لدرجة حرارة التحلل الحراري[110]:

- التحلل الحراري بدرجات الحرارة المنخفضة في نطاق درجة حرارة 450-500 درجة مئوية. وينتج أنواع مختلفة من الزيوت والقطران والراتنجات والبقايا الصلبة بحد أقصى، وتتشكل أقل كمية من الغازات
- التحلل الحراري بدرجة حرارة متوسطة تصل إلى 800 درجة مئوية. هذا النوع من التحلل الحراري يزيد من تكوين الغاز والزيوت وحجم الراتنجات، ولكن يتم تقليل البقايا الصلبة،
- التحلل الحراري عالي الحرارة يعالج النفايات الصلبة المحلية غير المصنفة في درجات حرارة تزيد عن 800 درجة مئوية ولا تتجاوز درجة الحرارة 1050-1100 درجة مئوية لأن المخلفات المتبقية (الخبث) تذوب ويمكن أن تعقد عمل نظام إزالة الخبث. يتم توليد أقصى درجة من الغازات، ولكن تكوين الراتنجات والزيوت والمواد الصلبة يكون ضئيلاً للغاية. تصل الكفاءة إلى 95% .

يعتبر النوع الثالث أكثر فعالية لأنه يتيح تقليص حجم المخلفات المتبقية في نهاية عملية التحلل بفضل زيادة سرعة التفاعل، كما في الشكل (11-1)[111]، ويمكن التخلص المشترك من المخلفات المنزلية الصلبة والمخلفات الصناعية ضمن هذا النوع من محطات التحلل الحراري.

الشكل 11-1:

مخطط لمحطة التحلل الحراري في حالة درجة حرارة عالية (أعلى من 800oC).



1- قمع استقبال المخلفات،

2- مغلاق،

3- مكثف المنتجات السائلة،

4- صمام،

5- مروحة تهوية،

6- جهاز تحليل الغاز،

7- جهاز سحب الدخان،

8- نظام تنقية الغازات،

9- نافث الهواء الساخن،

10- مسخن الهواء،

11- حوض مائي،

12- إسطوانة التفحيم

11-4- مخرجات التحلل الحراري للنفايات:

يتم الحصول على مخرجات مختلفة بنوعها وكميتها حسب تركيبة النفايات المعدة للتحلل وخواص المفاعل الإنشائية وشروط العمل. وبفضلها تنفصل المكونات العضوية أو الكربوناتية بوساطة مجموعة من عمليات التكسير الحرارية والتفاعلات التكثفية إلى غازات وسوائل ومواد صلبة كما يلي:

غازات ذات قيمة حرارية عالية، وتتكون أساساً من الهيدروجين (H_2)، الميثان (CH_4)، أول أكسيد الكربون (CO)، ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، بالإضافة إلى غازات أخرى، كما يظهر في الجدول (11-1). وتختلف نسب هذه الغازات حسب الخصائص العضوية للمواد المتحللة حرارياً ودرجة الحرارة التي يتم عندها التحلل الحراري.

سوائل تشمل القطران، أو زيوت تحتوي على مركبات مثل حمض الخليك والأسيتون ($C3H6O$) والكحول الميتيلي والميثانول والهيدروكربونات. ويمكن معالجة هذه السوائل لإنتاج زيوت تستخدم كوقود.

ناتج صلب مكون من فحم شبه نقي يتكون أساساً من الكربون بالإضافة إلى بعض الشوائب الخاملة مثل (زجاج ، معادن....) التي وجدت طريقها للعملية.

الجدول 11-1:

أهم مكونات الغاز المنطلق من التحلل الحراري للنفايات

نوع المكونات	النسبة المئوية وزناً	نوع المكونات	النسبة المئوية وزناً
الهيدروجين	6.6 - 24	إيثلين	0 - 2،1
أول أكسيد الكربون	6.6 - 40	إيثان	0.3 - 1
ثاني أكسيد الكربون	10 - 25	بنزن	0 - 0.3
ميثان	2.8 - 5.6	نتروجين	0 - 19.3
إستيلين	0 - 1	أكسجين	0 -1.6

تختلف نسب منتجات التحلل الحراري (غازات، سوائل، صلب) باختلاف درجة الحرارة التي يتم عندها التحلل. فعند درجة حرارة 480 م^{o} تشكل الغازات والسوائل والفحم حوالي 12 % □ 62% □ 24% بالوزن من الكمية الكلية للمنتجات على التوالي، بينما تصبح نسب هذه المنتجات عند درجة حرارة 920 م^{o} حوالي 24% □ 59% □ 17%. يمكن استخدام المواد المتفحمة الناتجة عن التحلل الحراري كمواد تدفئة عالية القيمة الحرارية من أجل الحرق أو التحويل إلى غازات، وتتم الاستفادة من الغازات المتشكلة ومن القطران الذي يستعمل كوقود سائل، وقد يحرق الغاز مباشرة في بعض أنظمة التحلل الحراري للحصول على البخار الذي يقدم للاستهلاك وذلك عندما تكون المحطة قريبة من مكان الاستهلاك.

يتحلل السيللوز ($C_6H_{10}O_5$) الذي يُعد من أهم المركبات العضوية في النفايات الصلبة بفضل التعرض لدرجات الحرارة العالية وغياب الأكسجين حسب التفاعل المقترح من قبل الباحثين الامريكين كازير وفريدمان كما في العلاقة (11-3).

$$3(C_6H_{10}O_5)_n \rightarrow 8n\,H_2O + nC_6H_8O + 2nCO + 2nCO_2 + nCH_4 + nH_2 + 7nC \quad (11\text{-}3)$$

- **حيث:** تمثل الزمرة C_6H_8O جنس السوائل الناتجة أثناء التحلل الحراري (هو سائل القطران أو المركبات الزيتية).

كما يؤدي ارتفاع الحرارة إلى خفض كمية البقايا والمواد العضوية السائلة وخفض قيمتها الحرارية مقابل زيادة القيمة الحرارية للغاز المتصاعد من التحلل الحراري. فإذا زادت درجة الحرارة على 800 درجة مئوية ترتفع نسبة الهيدروجين وأول أكسيد الكربون في الغاز المتصاعد على حساب الميثان وثاني أكسيد الكربون بفضل التفاعلان التاليان كما في العلاقتين (11-4) (11-5):

$$C + CO_2 \rightarrow 2CO \quad (11\text{-}4)$$

$$H_2O + CH_4 \rightarrow CO + 3H_2 \quad (11\text{-}5)$$

نلاحظ من العلاقتين تناقص كمية الكربون والرطوبة في النفايات، كما يؤدي ارتفاع درجة الحرارة في عملية التحلل الحراري إلى خفض كمية البقايا والمواد العضوية السائلة إضافة إلى خفض قيمتها الحرارية مقابل زيادة القيمة الحرارية للغاز المتصاعد من التحلل الحراري[112].

في تطبيقات التحلل الحراري للنفايات أعطيت الأهمية بشكل رئيس لاستخلاص مواد أولية قابلة للتسويق. لقد أظهر الباحث الأمريكي بورتويز (Porteous) إمكانية تحضير حمض الخليك والكحول الميثيلي والفحم انطلاقاً من النفايات العضوية بفضل التحلل الحراري، كما صنعت شركة (Amercan Resources Pan) آلة لتحويل النفايات بالتحلل الحراري من نموذج LANT2 أعطت نتائج عملية مشجعة من وجهة نظر الحصول على مواد أولية.

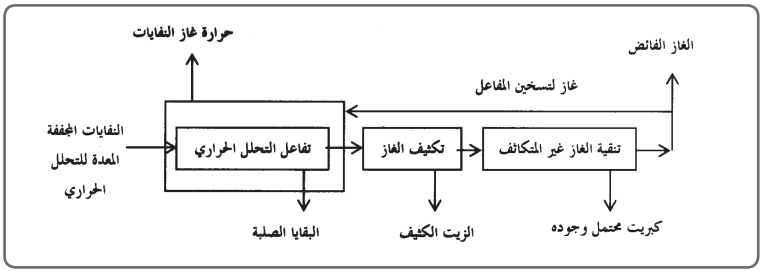
11-5- مراحل إنجاز التحلل الحراري للنفايات:

في أسلوب التحلل الحراري للنفايات الهادف لإنتاج مواد أولية قابلة للتسويق من الضروري تحضير النفايات الصلبة البلدية لعملية التحلل الحراري، وتشمل المراحل المطلوبة للتحلل الحراري ما يلي:

- الفرز .
- تصغير أبعاد المواد المعدة للتحلل الحراري.
- تجفيف حتى درجة رطوبة معينة عند درجة حرارة 100-200 درجة مئوية.
- عملية التحلل الحراري بكل معنى الكلمة للنفايات المجففة.
- فصل وتكرير المنتجات الناتجة عن التحلل الحراري واستخلاص المواد الأولية القابلة للتسويق كما يظهر في الشكل أدناه.

الشكل 11-2:

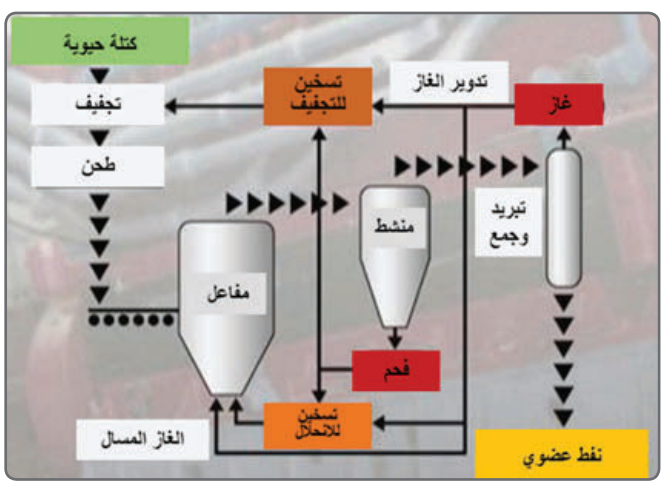
مراحل العمل في التحلل الحراري للنفايات.



تتوفر العديد من أنواع وحدات التحلل الحراري المتاحة، بما في ذلك الفرن الدوار، والأفران ذات السرير المميع. وتعمل في درجات حرارة منخفضة وهواء أقل، وقد يكون التركيز فيها على إنتاج نفط عضوي كما في الشكل (11-3)[113].

الشكل 11-3:

التحلل الحراري مع التركيز على إنتاج نفط عضوي



تُبرد الغازات المتصاعدة نتيجة عملية التحلل الحراري بواسطة الماء، بعض مكونات الغاز تتحول إلى سائل (تكثيف)، والبعض الآخر يبقى على شكله الغازي، الجزء الثاني غير القابل للتكثيف يمكن حرقه محلياً لتأمين تسخين الجملة، أو يعالج بوجود عوامل مساعدة تؤدي إلى تفاعل مكونات الغاز عند درجات الحرارة العالية،

وينتج الكحول الميثيلي CH_3OH. أمّا الجزء الغازي الذي تحول إلى سائل متكاثف فيُجزأ إلى قسمين الأول ثقيل والثاني خفيف، يستخلص من القسم الخفيف حمض الخلليك $C2H_4O2$ عن طريق استخدام مذيب يتمتع بنقطة غليان عالية، يفصل الحامض بعد ذلك عن المذيب بوساطة التقطير الاتلافي، ويُعد حمض الخليك الناتج للتسويق.

يعطي الجزء الثقيل من السائل المتكاثف مركب كريوزوت ومشتقات فينولية أخرى قابلة للاحتراق.

أمّا الجزء الصلب المتبقي عن التحلل الحراري والقابل للاحتراق (الفحم) فيضغط ليباع كمواد محروقات. تتجه الأبحاث الحالية نحو استعمال الكحولات وخاصة الميثانول CH_3OH كوقود حتى في محركات الاحتراق الداخلي الكبيرة وفي محركات السيارات كبديل عن منتجات النفط، وخاصة البنزين بهدف تخفيض استنزاف الاحتياطي النفطي والحد من التلوث بالرصاص والناتج عن استعمال البنزين المضاف إليه الرصاص كوقود للسيارات.

11-6- ميزات التحلل الحراري للنفايات و سلبياته:

تتميز محطات التحلل الحراري للنفايات بالميزات الآتية:

1- صغر المساحة اللازمة لإنشائها.

2- تنتج العديد من المواد الأولية القابلة للتسويق.

3- التحلل الحراري أكثر نظافة من الناحية البيئية من تكنولوجيا ترميد النفايات، حيث أن حجم الغازات الناتجة أدنى.

4- عملية التحلل الحراري تحدث بدون إضافة هواء، وهذا يؤدي لانخفاض نسبة الغبار المتطاير.

5- تكنولوجيا التحلل الحراري للنفايات توفر حلولاً لمشاكل استنزاف الطاقة عن طريق إنتاج أنواع من الطاقة البديلة مثل كحول الميثيلي.

لكن بالنسبة لسلبيات التحلل الحراري للنفايات، فإن تشغيل المحطة يتطلب فرز دقيق لتحديد النفايات القابلة للتحلل الحراري، وتوفر خبرات عالية، كما أن تكلفة الإنشاء والتجهيز مرتفعة مقارنة مع ترميد النفايات[114].

11-6- التغويز (إنتاج الغاز Gasification):

تعتبر تكنولوجيا التغويز (إنتاج الغاز) وسيلة كفؤة لتحويل النفايات الصلبة إلى غاز اصطناعي. وهي تقنية قديمة تستعمل منذ ما يزيد على 180 عاماً، حيث كانت المعالجة ببراميل أسطوانية لتوليد الغاز. بالمقارنة مع طمر النفايات يوفر تغويز النفايات البلدية الصلبة ما بين 7 و14 مليون وحدة حرارية بريطانية لكل طن، و0,33 إلى 0,66 طن من انبعاثات مكافئ الكربون لكل طن من النفايات.

11-6-1- مبدأ تغويز النفايات:

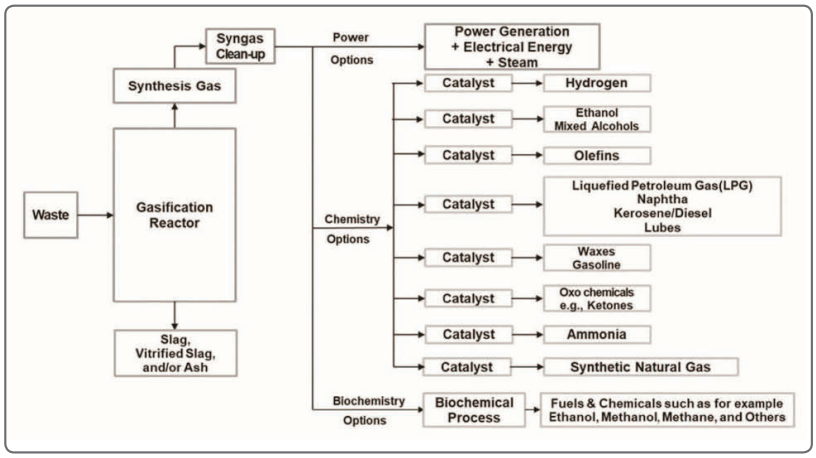
التغويز هو عملية تحويل كيميائي حراري للمواد الكربونية إلى منتج غازي عند درجات حرارة عالية بمساعدة عامل التغويز إنتاج الغاز .

ويمكن أن يُعرّف التغويز بأنّه عملية حرق جزئي للمحتوى العضوي للنفايات بعد تقطيعها وتشكيلها على هيئة مكعبات أو كرات بوجود كمية من الهواء أقل من تلك اللازمة للاحتراق الكامل وذلك لإنتاج غاز قابل للاحتراق غني بأول أكسيد الكربون (CO)، والهيدروجين (H_2)، وبعض الهيدروكربونات المشبعة كالميثان (CH_4).

يوضح الشكل (11-4) الرسم التخطيطي لإنتاج الغاز التخليقي من تكنولوجيا التغويز (إنتاج الغاز) وكيفية استخدام الغاز لأغراض مختلفة مثل توليد الطاقة، وتركيب المواد الكيميائية عن طريق ترقية الخطوات، والمزيد من المعالجة الكيميائية الحيوية قبل إنتاج الوقود أو المواد الكيميائية. كما هو موضح في هذه الأرقام، يتم الحصول على منتجات مختلفة من تطبيق هذه العمليات، ويمكن استخدام أنظمة مختلفة لاستعادة الطاقة والمواد المتبقية في أنواع مختلفة من التقنيات.

الشكل 11-4:

تحويل النفايات إلى طاقة بالتغويز (إنتاج الغاز)



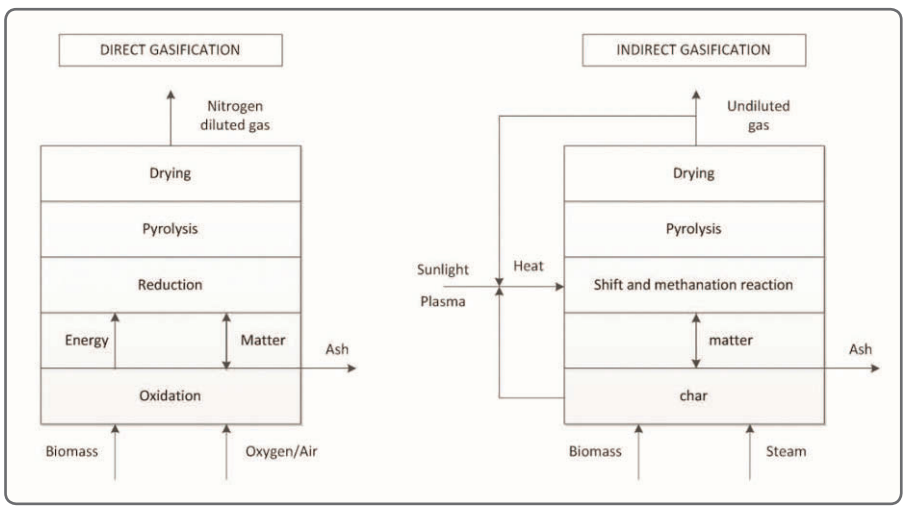
يسمح عامل التغويز (مركب غازي آخر) بتحويل المادة الأولية بسرعة إلى غاز عن طريق تفاعلات غير متجانسة مختلفة. ويُطلق على المنتج الغازي الذي يتم الحصول عليه خلال هذه العملية اسم الغاز الاصطناعي (غاز تخليقي)، ويحتوي بشكل أساسي على الهيدروجين وأول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون والميثان. كما أنه يمكن العثور على كمية صغيرة من الغازات الخاملة، والهيدروكربونات، والقطران، وغازات ملوثة. بناءاً على تأثير عامل التغويز، يمكن تقسيم التغويز إلى فئتين. إذا أدى عامل التغويز إلى أكسدة مادة التغذية جزئياً، فإنه يسمى بالتغويز المباشر، وأثناء التغويز المباشر، يوفر تفاعل الأكسدة الطاقة المطلوبة للحفاظ على درجة حرارة العملية. أما إذا حدثت عملية التغويز بدون مساعدة عامل تغويز، فإنها تسمى التغويز غير المباشر. عادة ما يتم استخدام البخار للتغويز غير المباشر لأنه متاح بسهولة. علاوة على ذلك، فإنه يزيد من محتوى الهيدروجين في الغاز المنتج.

يتم إجراء عمليات التغويز غير المباشر بدون وجود هواء أو أكسجين كما هو مبين في الشكل (11-5)[115]. تتأثر القيمة الحرارية للغاز التخليقي بشكل كبير

بوجود نتروجين. في حالة عدم وجود النيتروجين في عملية التغويز غير المباشر، فإن الكفاءة الحجمية والقيمة الحرارية الأعلى للغاز المنتج تزداد. كما أن عملية التغويز غير المباشر تقلل من تكلفة تنظيف الغاز واستعادة الطاقة عن طريق خفض معدل إنتاج الغاز.

الشكل 11-5:

التغويز المباشر و التغويز غير المباشر.



في عملية التغويز (إنتاج الغاز) تستخدم المواد الكربونية كوقود، وبما أن الأكسجين محدود الكمية، فإن أغلبية الانبعاثات تكون على شكل أول أكسيد الكربون وغاز الهيدروجين والميثان وغازات احتراق أخرى، أو يمكن أن تعالج الغازات في مراحل لاحقة لتُحوّل إلى وقود سائل، وعادة تكون تفاعلات التغويز مرافقة لوجود ضغط عالٍ.

11-6-2- مخرجات عملية تغويز النفايات:

تتحول النفايات المنزلية عند احتراقها حرقاً غير كاملاً بطريقة التغويز (إنتاج الغاز) إلى غازات ذات قيمة حرارية عالية وبنسب مختلفة، مثل غاز الهيدروجين، وأول أكسيد الكربون، والميثان، وغازات هيدروكربونية أخرى، ونسب هذه الغازات ليست ثابتة، فتتعلق بالقيمة الحرارية فمثلاً:

(أ) غازات ذات قيمة حرارية منخفضة تحتوي على 10% (بالحجم) ثاني أكسيد الكربون، و20% أول أكسيد الكربون، و15% هيدروجين، و2% ميثان، و53% نتروجين وذلك عند درجة حرارة 650–820 م°.

(ب) في حالة استخدام الأكسجين النقي للحرق بدلاً من الهواء ترتفع القيمة الحرارية للغازات الناتجة وعند رفع درجة حرارة الاحتراق إلى 1600– 1400 م°، يصبح التركيب الكيميائي كالتالي: 14% ثاني أكسيد الكربون، 50% أول أكسيد الكربون، 30% هيدروجين، 4% ميثان، 1% هيدروكربونات، و1% نيتروجين.

- كميات بسيطة من الرماد والفحم المحتوي على الكربون ومواد خاملة. يتميز الفحم الناتج بمساميته العالية مما يعطيه خاصية الإمتزاز/ التكثيف (adsorption) .
- سوائل بكميات بسيطة تشبه الزيوت الناتجة من عملية التقطير الإتلافي.

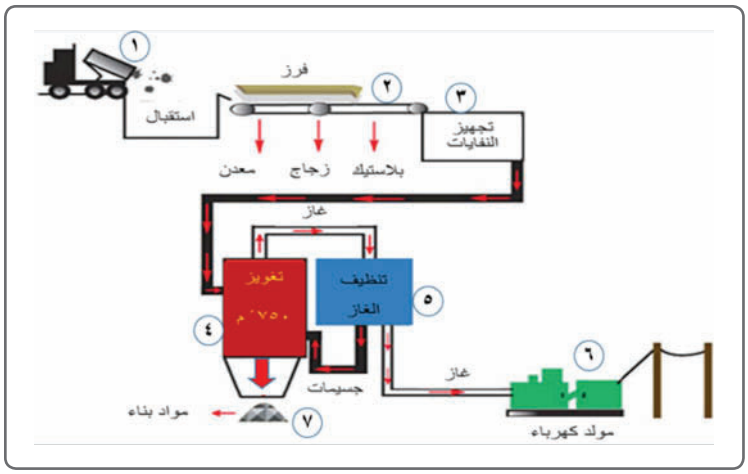
11-6-3- مراحل العمل في منشأة تغويز النفايات:

نميز في تشغيل منشأة تغويز النفايات (إنتاج الغاز) كما يظهر في الشكل (11-6) المراحل التالية[116]

- **استقبال النفايات:** يمكن في ساحة استقبال أو في حفرة خاصة.
- **فرز النفايات:** تخليص النفايات من المواد التي لا تصلح للتغويز وذات القيمة.
- **تجهيز النفايات.**
- **عملية التحويل** إلى غاز بدرجة حرارة 700 – 1000 درجة مئوية.
- **تنظيف الغاز.**
- استثمار الغاز: توليد كهرباء.
- استخلاص الرماد.

الشكل 11-6:

مراحل العمل في منشأة التغويز (التحويل إلى غاز)



11-6-4- ميزات تقانة تغويز النفايات وسلبياتها:

تتصف تقانة تغويز النفايات بالمزايا التالية:

- تقنية مرنة وموثوقة ونظيفة للطاقة التي يمكن أن تحول مجموعة متنوعة من المواد الأولية ذات القيمة المنخفضة إلى منتجات عالية القيمة.
- تحويل المواد الكربونية في النفايات العضوية إلى غاز تركيبي وهو في حد ذاته الوقود.
- المرونة في المنتج حيث يمكن أن يوفر مصدراً للكهرباء، وكذلك البدائل الطبيعية من الغاز والوقود لإدارة المحركات والعنفات (التوربينات) والمراجل، أو يمكن حرقها بوجود الهواء لإنتاج طاقة حرارية يمكن استخدامها لإنتاج الطاقة والبخار أو توليد الكهرباء، أو استعمالها كمواد أولية لتحضير بعض المركبات الكيميائية مثل الأمونيا والكحول الميثلي اللازمة للنمو الاقتصادي، والخبث الذي ينتج من رماد الفحم يمكن أن يستخدم في إنتاج مواد البناء مثل الاسمنت.

- إن عملية التغويز هي عملية أرفع مستوى من الاحتراق لأنها تنتج تلوثاً أقل ويكون أكثر كفاءةً. وعندما يأتي الأمر لحرق الوقود الناتج تكون أخطار وجود مواد سامة في انبعاثاته أقل من تلك الناتجة عن الحرق. إن الوقود الغازي يكون متجانساً أكثر من النفايات الصلبة لذلك سوف يحترق بشكل أنظف.

لكن من سلبيات التغويز أنه خلال عملية المعالجة يتم إطلاق القطران، المعادن الثقيلة، الهالوجينات، ومركبات قلوية داخل الغاز المنتج، ويمكن أن تسبب مشاكل بيئية وتشغيلية. بيد أن هذه النواتج يمكن التعامل معها بنفس الطريقة المستخدمة في أفران الحرق، وبما أن عملية التغويز تتم في نظام مغلق بعكس الحرق الذي يكون في اتصال مع الهواء تكون عملية جمع غازات الاحتراق أسهل وأكثر كمالاً. والطاقة المنتجة من هذه العملية تعطينا كفاءة أكثر من تلك الناتجة عن الحرق لتصل حتى 60% مقارنة مقابل 39% للحرق.

11-6-5- التغويز بالبلازما Plasma

التغويز (إنتاج الغاز) بالبلازما هي عملية تحويل النفايات إلى غازات باستخدام قوس البلازما. تشير البلازما إلى (الحالة الرابعة للمادة)، وهي عبارة عن درجة حرارة عالية جداً، غاز ذو تأيين عالي للغاية (مشحون كهربائياً) قادر على توصيل التيار الكهربائي.

من أمثلة البلازما في الطبيعة البرق والغاز على سطح الشمس. وتتكون البلازما عن طريق تمرير التفريغ الكهربائي من خلال الغاز مثل الهواء أو الأكسجين، حيث يفكك تفاعل الغاز مع القوس الكهربائي الغاز إلى الإلكترونات والأيونات، ويرفع درجة حرارته بشكل كبير، وغالبا ما تتجاوز 6000 درجة مئوية.

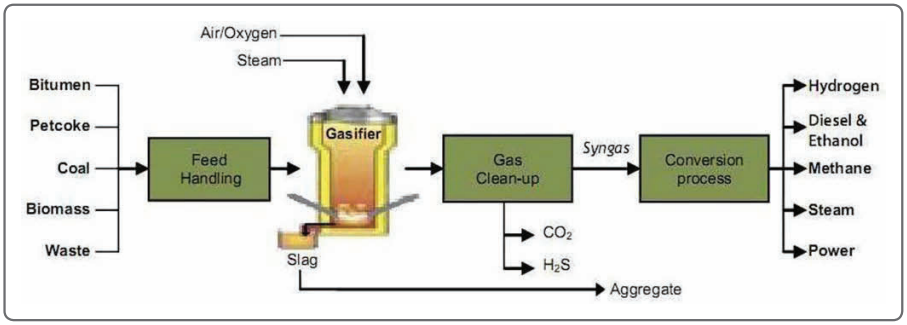
أ-مراحل التغويز بالبلازما:

تتم عملية التغويز(إنتاج الغاز) بالبلازما بعدة مراحل:

تبدأ العملية بمدخلات تغذية - تتراوح من النفايات إلى الفحم إلى المواد النباتية، ويمكن أن تشمل النفايات الخطرة. تتمثل الخطوة الأولى في معالجة مخزون التغذية لجعله متجانساً، مع فرز المواد القيمة القابلة لإعادة التدوير، ويتم تقليل الأبعاد لمادة التغذية (الفرم)، و يتم التجفيف فقط في حالة التغذية الرطبة أو الحمأة. ثم يتم إرسال النفايات إلى فرن البلازما الحراري. تُستخدم مشاعل البلازما في الجزء السفلي من جهاز التغويز لتوفير حرارة كافية لعملية التغويز ، ويتم التحكم في تدفق الهواء داخل جهاز التحويل، كما يظهر في الشكل (11-7)[117]. يتم إنشاء فحم الكوك داخل المفاعل باستخدام فحم الكوك المعدني لامتصاص الطاقة الحرارية والاحتفاظ بها من مشاعل البلازما وتوفير بنية تدعم تغذية النفايات الصلبة المحلية أثناء نزولها إلى مفاعل التغويز وتحويلها إلى غاز وسائل الخبث. نظراً لأن خليط النفايات وفحم الكوك المطحون ينزل من خلال جهاز التغويز، ستبدأ النفايات في التحويل إلى غاز بينما سيبقى فحم الكوك المطحون صلباً.

الشكل 11-7:

مراحل تغويز النفايات بالبلازما.

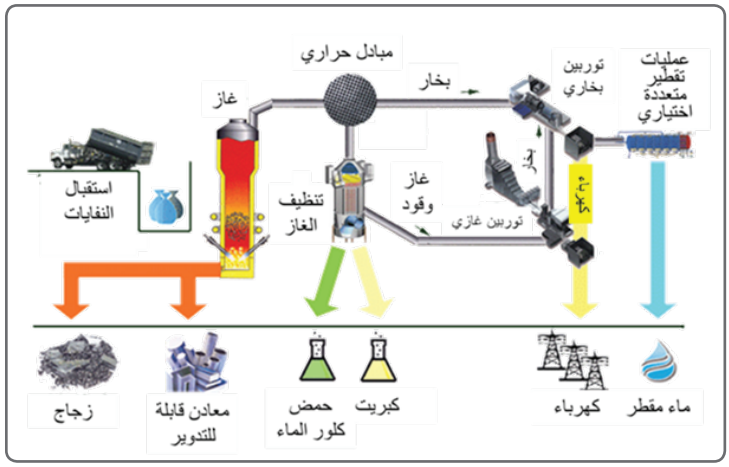


وتتألف منشأة تغويز النفايات بالبلازما عادة من الأقسام التالية، كما يظهر في الشكل (11-8):

- صالة استقبال النفايات وتدوير المواد.
- تكنولوجيا البلازما الأساسية التي تتكون من جهاز التحويل إلى غاز والمحول البلازمي.
- معدات تنظيف الغاز لتبريده وتنظيفه وتجهيزه كغاز تخليقي .
- مجموعة توليد الطاقة المتجددة واستعادة الحرارة المتبقية.

الشكل 11-8:

أقسام منشأة التغويز لإنتاج الغاز بالبلازما.



سوف يتحول فحم الكوك ببطء إلى غاز ولكنه سيبقى في القاع، وتوضع نفايات السرير فوقه. المواد الوحيدة التي ستخرج من فحم الكوك هي الخبث والمعادن المنصهرة. يتمتع فحم الكوك المقوى بسلامة هيكلية جيدة جدًا وبالتالي فهو قادر على تحمل وزن النفايات عليه. يتم تغذية فحم الكوك المتوفر في نفس وقت تغذية النفايات البلدية وهو أمر حيوي لتشغيل جهاز التحويل إلى غاز. وقد يضاف مسحوق الحجر الجيري إلى حقن الكوك للحد من مخاطر نشوب حريق وانفجارات. كما أنه يساعد على تقليل انبعاثات حمض الهيدروكلوريك من جهاز

التحويل إلى غاز. من الأهمية الأخرى للحجر الجيري أنه يتفاعل في هذه المنطقة (أي جهاز التغويز)، ويساعد في الحفاظ على تركيبة مناسبة لإنتاج مادة زجاجية أو خبث يمكن استغلاله في شكل منصهر. في بعض الأحيان ، يتم تركيب موقد غاز البترول المسال لرفع درجة الحرارة الأولية، وإضافة الحرارة عندما لا تكون قيمة التسخين للنفايات الصلبة كافية.

أثناء عملية التغويز بالبلازما، تصل درجة الحرارة داخل جهاز التحويل إلى 5000 درجة مئوية، وحتى 7000 درجة مئوية. عند درجة الحرارة المرتفعة هذه، يتم تحويل المادة غير العضوية إلى خبث سائل بينما تتحلل الجزيئات المعقدة القائمة على الكربون إلى غازات بسيطة مثل الهيدروجين وغاز أول أكسيد الكربون الذي يتكون منه غاز التخليق. يعمل المبرد بضغط سلبي طفيف لتجنب تسرب الغاز.

تتراوح درجة حرارة الغاز التخليقي الذي يترك جهاز التحويل بين 1000 درجة مئوية و 1200 درجة مئوية. يتم تمريره من خلال مبادل حراري حيث يتم استرداد الحرارة من الغاز واستخدامها لتوليد البخار من الماء. يستخدم هذا البخار لتوليد الكهرباء باستخدام المراجل البخارية. يتم تنظيف الغاز التخليقي المبرد وتنقيته ويمكن استخدامه لإنتاج الوقود.

ب- مميزات استخدام التغويز بالبلازما:

- يوفر مرونة لاستخدام النفايات كوقود دون الحاجة إلى طحنها.
- يستخدم الهواء وبالتالي لا حاجة إلى محطة الأكسجين.
- إمكانية نجاح عالية (> 90%), وقدرة تحويل عالية (> 99%) للمواد العضوية إلى الغاز.
- لا يوجد قطران في الغاز التخليقي.
- لا يوجد هباب الفحم، رماد، أو كربون متبقي، فقط ينتج خبث الزجاج مع ما له من قيمة.

- متوافق مع معايير حماية البيئة لانبعاثات أكسيد النيتروجين وأكسيد الكبريت... الخ.
- الكفاءة الحرارية عالية
- انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون أقل من طرق تحويل النفايات إلى طاقة الأخرى

ج- مقارنة بين التحلل الحراري و التغويز للنفايات:

إن التحلل الحراري والتغويز (إنتاج الغاز) متماثلان، بحيث يتم كل منهما في حاويات مغلقة مع استخدام المواد الكربونة كوقود، لكن بينما يتم التغويز في بيئة محدودة الأكسجين تتم عملية التحلل الحراري في بيئة خالية تقريباً من الأكسجين، ومثل عملية التغويز تكون درجة الحرارة عالية وكافية لتحريض تفاعلات كيمائية ولكن الأكسجين غير موجود لتسهيل عملية الاحتراق التقليدية. 57% من منتجات التحلل الحراري تكون سائلة على شكل وقود عضوي. إن الوقود العضوي يكون أكثر كثافة من الغازات الناتجة عن عملية التغويز لذلك تكون عملية نقله أسهل كما يمكن استخدامه في الصناعات البترو كيمائية. المنتجات الباقية عن التحلل الحراري تكون على شكل مواد صلبة وغازية مماثلة لتلك الناتجة عن التغويز، وحرق هذه النواتج يكون أكثر نظافة لذلك خطر تشكيل مواد ثانوية ملوثة يكون محدوداً، كما أن النظام المغلق المتوفر للتحلل الحراري تسهل عملية التقاط المواد الملوثة الناتجة. إن تقنية التحلل الحراري مستخدمة في الكثير من الصناعات كما أنها أوسع انتشاراً من التغويز.

يبين الجدول (11-2) مقارنة إنتاج الطاقة الكهربائية لتكنولوجيا التغويز بالبلازما مقارنة مع التكنولوجيات الأخرى لتحويل النفايات إلى طاقة[118].

الجدول 11-2:

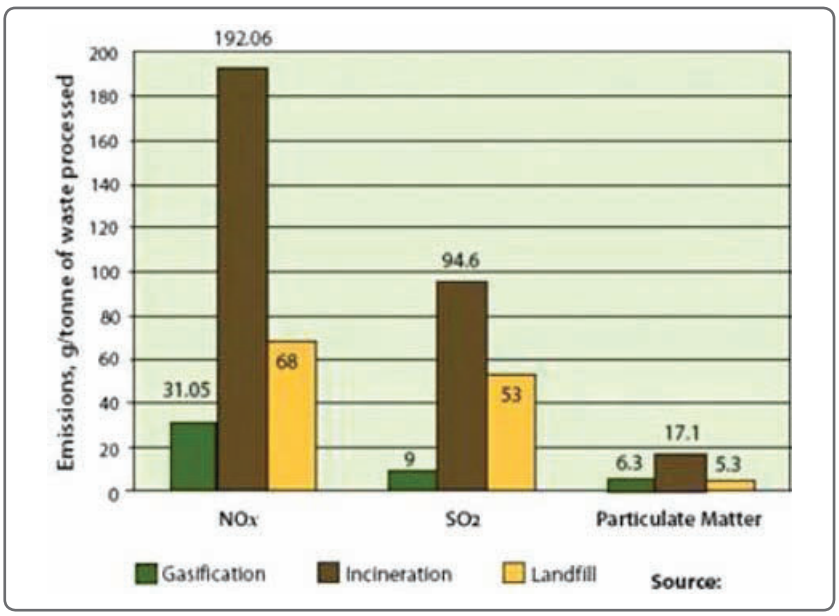
مقارنة إنتاج الطاقة الكهربائية بين طرق تحويل النفايات إلى طاقة

تكنولوجيا معالجة النفايات	إنتاج الطاقة (كيلو واط ساعي/طن)
تغويز بالبلازما	816
تغويز تقليدي(سرير ثابت وسرير مميع)	685
التحلل الحراري	571
الترميد	544

يتصف تغويز النفايات بالبلازما بإنتاج ملوثات للهواء الجوي أقل من عملية الترميد أو طمر النفايات، كما يظهر في الشكل (11-9).

الشكل 11-9:

تراكيز ملوثات الهواء الناتجة عن عمليات التغويز والترميد وطمر النفايات.



د- تفوق التغويز (إنتاج الغاز) بالبلازما على طمر النفايات:

يتفوق التحويل إلى غاز على دفن النفايات الصلبة المحلية لعدة أسباب. تعتبر مطامر النفايات شديدة الضرر للبيئة بسبب إنتاج العصارة السائلة السامة وغاز الميثان. وينتج عن التحلُّل والتفاعلات الكيميائية بين النفايات سوائل تتسرب، وقد تلوث المياه الجوفية. كما ينتج عن تحلل المواد العضوية غاز الميثان، وهو أحد غازات الدفيئة القوية. قد يتم إنتاج مواد كيميائية أخرى تسمم الهواء المحيط بمطامر النفايات وقد تكون ضارة بالجيران. تمتلك وكالة حماية البيئة بروتوكولًا مطولًا من المواد الكيميائية المحمولة جواً والسائلة التي يجب احتواؤها ومراقبتها إلى الأبد لكل مطمر نفايات.

يجب إنشاء مطامر نفايات حديثة مع بطانات ومصارف للعصارة. أصبحت هذه المرافق باهظة الثمن بشكل متزايد مع ظهور المزيد من اللوائح البيئية. عند إغلاق مطامر النفايات ، يجب تغطيتها ومراقبتها إلى أجل غير مسمى. على الرغم من استراتيجيات الإدارة الباهظة الثمن، فإن الحل الجيد الوحيد لمطامر النفايات هو تجنبها. يعتبر التغويز (إنتاج الغاز) بالبلازما استراتيجية معالجة مثالية لتحويل النفايات من مطامر النفايات وخلق استخدامات مفيدة للمادة من خلال تعظيم إعادة تدوير الأشياء الثمينة واستخدام الباقي بشكل نظيف لقيمة الوقود. يعتبر تأثير الكربون لإنتاج الغاز بالبلازما أقل بكثير من طرائق معالجة النفايات الأخرى ويتم تصنيفها على أنها ذات تأثير كربوني سلبي مقارنة بالسماح للميثان بالتشكل في مدافن النفايات.

هـ-تفوق التغويز (إنتاج الغاز) بالبلازما على الحرق:

يتفوق التحويل إلى غاز على الحرق ، ويوفر تحسينًا كبيرًا في كل من تأثيره البيئي وكذلك في أداء الطاقة. لطالما واجه الحرق مشاكل في تكوين الديوكسينات وغيرها من الملوثات الحرجة. المحارق هي محارق ذات درجة حرارة عالية تستخدم الحرارة المتولدة من النار لتشغيل غلاية وتوربينات بخارية لإنتاج الكهرباء ، وهي

تشبه إلى حد بعيد محطات الطاقة التقليدية التي تعمل بالفحم. أثناء الاحتراق، تحدث تفاعلات كيميائية معقدة تربط الأكسجين بجزيئات مختلفة وتشكل ملوثات مثل أكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين والديوكسينات. تمر هذه الملوثات عبر المدخنة ما لم يتم وضع أجهزة غسل العادم لتنظيف الغازات. على النقيض من ذلك، فإن التغويز هو عملية أكسجين منخفضة، وتتشكل أكاسيد أقل. توضع أجهزة الغسل للتغويز في طابور وهي ضرورية لتكوين غاز نظيف. تعتبر أجهزة تنقية الغاز في نظام التغويز جزءًا لا يتجزأ من تشغيل النظام بغض النظر عن البيئة التنظيمية. بالنسبة لأنظمة الاحتراق ، لا تقدم أجهزة غسل الدخان أي فائدة تشغيلية ويتم وضعها بشكل أساسي لتلبية المتطلبات القانونية. كما أن الرماد الناتج عن المحارق شديد السمية ويتم التخلص منه في مطامر النفايات ، في حين أن الخبث الناتج عن تغويز البلازما آمن لأن كل الرماد يذوب ويتم إصلاح البنية الجزيئية المرتبطة بإحكام.

11-7- تحويل النفايات إلى محروقات مشتقة (Combustibles derivatives)

توجد في الوقت الحاضر عدة معامل لتدوير النفايات الصلبة، وذلك بطريقة الفصل الميكانيكي المعقدة للمواد غير القابلة للحرق مثل المعادن والزجاج، ثم توجيه المواد العضوية المتبقية إلى منظومات إنتاج الوقود. إن عملية إستخلاص المحروقات المشتقة من النفايات (RDF Refuse-Derived Fuel)، وفيها يتم أيضاً استخدام الرماد (Ash) كمادة تحرق مع الفحم لأغراض توليد الطاقة. ولقد أدّت القوانين والأنظمة الصارمة التي وضعتها بعض الدول الأوروبية بخصوص حرق النفايات إلى التقليل من استخدام هذه الطريقة.

إضافة إلى ذلك يوجد الخشب الذي يُعد المصدر الرئيس للطاقة في معظم البيوت في بلدان آسيا وإفريقيا وبعض بلدان أمريكيا الجنوبية، ويستخدم بكميات كبيرة في الاستهلاك الصناعي.

تحوي النفايات المنزلية نسبة مهمة من النفايات الخشبية والبلاستيكية القابلة للاحتراق، والتي تتميز ببطء أو صعوبة التحلل البيولوجي، لذلك يمكن

فرز هذه المواد في معامل تحويل النفايات إلى محسنات التربة لتخضع إلى معالجة مختلفة بهدف تحويلها إلى محروقات قابلة للتسويق، وهذا أصبح ضرورة بعد أزمة النفط في العقد السابع من القرن الماضي وفي وقتنا الحالي، حيث أصبح العزوف عن استخدام النفط كوقود في محطات توليد الكهرباء لأسباب اقتصادية محضة والعمل على إنشاء بعض محطات التوليد الصغيرة التي تعمل بالنفايات العضوية كوقود، سواء بالاعتماد الكلي على النفايات أو استخدام النفايات مع إضافة جزء يسير من الفحم، كما أن بعضها يوفر الطاقة الكهربية لمنطقة كاملة على مدى الساعة بينما يستخدم البعض الآخر لتوليد الكهرباء لتغطية الزيادة في الطلب على الطاقة أثناء ذروة الاستهلاك.

11-7-1-مراحل إنجاز تحويل النفايات إلى محروقات مشتقة :

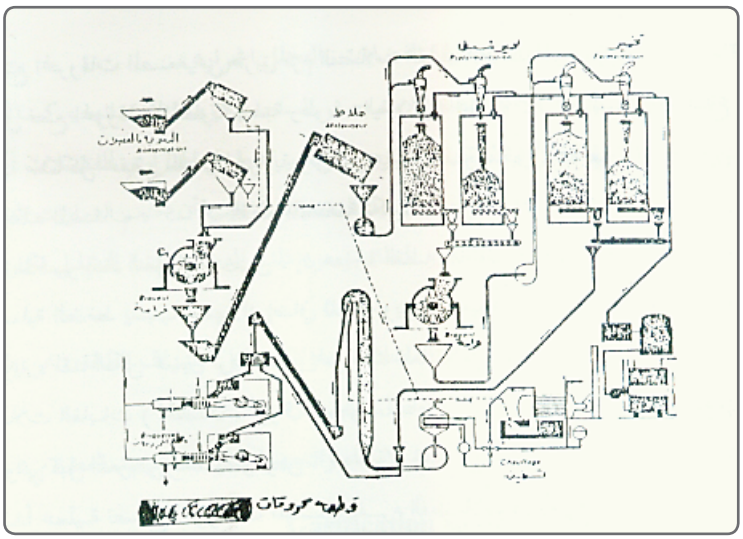
تبدأ عملية تصنيع المحروقات المشتقة بإمرار النفايات المختلطة التي تم جلبها من منشأة السماد والتدوير (التي لا يمكن تدويرها) في غرابيل ذات ثقوب 80 مم، حيث يتم إرسال النفايات العضوية الأصغر من 80 مم إلى وحدة التعفن ويتم استخدامها في إنتاج السماد العضوي، أما النفايات الأكبر من 80 مم فيتم إرسالها إلى وحدة الفصل اليدوي ثم يتم إرسالها إلى ساحات التخزين المنتظم، حيث يتم فصلها هناك حسب أنواعها ثم تُفرم النفايات (الأوراق، الأخشاب، الأنسجة، البلاستيك، لحاء الشجر...)، تسمح هذه العملية بمجانسة النفايات، ثم تُعرض للتخمر عن طريق بذر ميكروبات خاصة يمكن أن تكون انطلاقاً من النفايات ذاتها، تُفيد عملية التخمر البكتيري الناشرة للحرارة في تخفيض نسبة الرطوبة في النفايات دون حاجة إلى طاقة حرارية إضافية.

كما يستفاد من الطاقة الكامنة في غاز الميثان الناتج عن التحلل اللاهوائي للفضلات المفرومة. وتصنع قطع المحروقات المشتقة على شكل اسطوانات بقطر يتراوح بين 80 و160 مم، وطول يتراوح بين 80 و300 مم، كما في الشكل (11-10). إذا كانت المحروقات المشتقة معدة للاستخدام في مكان تصنيعها فيمكن أن تبقى المحروقات على شكل حبيبات بأبعاد أصغر من 4 مم. ويمكن استخدام هذه المواد

RDF (الوقود المشتق من النفايات) في أفران مصانع الإسمنت كوقود ثانوي (بدلاً من الوقود الأحفوري)، حيث يتم إنشاء وحدة مؤلفة من القواطع والفواصل كما مبين في الشكل (11-11)[119]، ويتم التعامل مع النفايات المقطعة التي تم الحصول عليها من النفايات وذات القيم الحرارية العالية يمكن أن تصل 4000 كيلو كالوري، ويتم إرسالها إلى مصانع الإسمنت بعد جلبها إلى حجم يمكن استعماله بحيث تصبح جاهزة للاستعمال.

الشكل 11-10:

مراحل تصنيع المحروقات المشتقة من النفايات.



بهدف رفع القيمة الاقتصادية لنفايات البلاستيك القابلة للتدوير والتي يتم فصلها في وحدات الفصل، فقد يتم إنشاء منشأة حبيبات واحدة مؤلفة من خطين مؤلفين من (حوض تكسير وحوض غسل) من أجل نفايات البلاستيك (PET) البولي ايثلين (PE)، البولي بروبولين (PP)، لذلك يمكن أن يتم إنشاء وحدة تحوي على مراحل تنظيف نفايات البلاستيك، تكسيرها، سحقها، طحنها وإذابتها ومن ثم تحويلها إلى حبيبات، الشكل 11-11 (مثلاً: يمكن إقامة منشأة على مساحة 1400م^2 ذات قدرة إنتاجية قد تصل 5 طن/اليوم). في هذه المنشأة يتم تحويل

البلاستيك إلى مادة خام صغيرة الأبعاد ليتم استخدامها بالإضافة إلى زيادة قيمتها الاقتصادية، يتم استخدام حبيبات البلاستيك التي تم الحصول عليها في صناعة منتجات حاويات النفايات، أكياس النفايات، أرصفة الطرق، أوعية النباتات، الشماعات وما شابه من المنتجات.[120]

الشكل 11-11:

وحدة مؤلفة من القواطع والفواصل.

11-7-2- مواصفات المحروقات المشتقة من النفايات:

تتبع نوعية وخواص المحروقات المشتقة لطبيعة تكوين النفايات المستعملة للتصنيع ولطريقة التصنيع نفسها. لكن حدود الخواص هي بشكل عام كما يلي:

- الكتلة الحجمية: تتراوح بين (1.1 - 1.3) طن/م^3.
- القيمة الحرارية الدنيا: تتراوح بين (3000–4000) كيلو كالوري / كيلو غرام.
- نسبة الرماد: تتراوح بين (6-20) %.
- نسبة الرطوبة: أقل من 10%.

11-7-3- تخزين المحروقات المشتقة من النفايات ونقلها

إن إنتاج المحروقات المشتقة مستمر في أغلب الحالات على مدار السنة، بينما استخدام هذه المحروقات أكبر في فصل الشتاء منه في فصل الصيف، لذلك يجب الأخذ بالاعتبار تخزين هذا المنتج ضمن المصنع وكذلك نقله.

يمكن أن تخزن المحروقات المصنوعة ضمن ظروف مناسبة لمدة تزيد عن السنة دون أن تتخرب، والشروط الواجب توافرها هي:

- ألاّ تحتوي قطع المحروقات المصنعة على نواعم دقيقة تلتقط الرطوبة المحيطة بسهولة.
- أن تتم تهوية القطع المخزونة لتجنب أخطار السخونة ضمن أكوام المحروقات.
- أن يتم التخزين بعيداً عن الأمطار وعن مياه السيلان فالرطوبة تضر بالحفاظ على النوعية الميكانيكية والطاقية للمنتج.

11-7-4- حرق المحروقات المشتقة من النفايات:

يمكن استعمال المحروقات المشتقة من النفايات في عدة أفران ومراجل معدة في الأصل لتستخدم الفحم (كأفران مصانع الإسمنت)، بشرط أن يكون تدفق الهواء الثانوي كافياً مع تحقيق الشروط الآتية:

- يجب أن تكون درجة حرارة الأفران كافية لتضمن الاحتراق الكامل للمحروقات وللتخفيف من إصدار الروائح مع الدخان الناتج، لكن يجب ألاّ تصل درجة الحرارة إلى درجة انصهار الرماد وتحطم الجزيئات المعدنية.
- يجب أن يكون فائض الهواء كبيراً للأخذ بعين الاعتبار عدم تجانس المحروقات وخاصة وجود البلاستيك ذي السلاسل الثقيلة.
- إستخدام مسحوق المحروقات المشتقة من النفايات البلدية كوقود للأفران ذات السرير الفوار.

- يُصمم نموذج من الأفران ذات الشبكة الهزازة خصوصاً من أجل المحروقات المشتقة من النفايات، تسمح هذه الشبكة بتقدم ونقل المحروقات بالسرعة والسماكة المطلوبة. وتتم عملية مجانسة المحروقات بوساطة دورات الاهتزاز أثناء مراحل تقدم المحروقات.

11-7-5- الانبعاثات الناتجة عن حرق المحروقات المشتقة من النفايات:

إن احتراق المحروقات المشتقة لايطرح كميات كبيرة من الغبار في الجو، فتتراوح كمية الغبار بين 500 و700 ملغ/م^3 ضمن الدخان الناتج عن الحرق وبدون إجراء عملية إزالة. بيد أن دخان المحروقات المشتقة كدخان ترميد النفايات نفسها يحتوي على نسبة عالية من البخار ومن حمض الهيدروكلوريك (كلور الهيدروجين)، فعلى سبيل المثال إذا كانت نسبة الكلور في المحروقات المشتقة 0.1%، فنجد حوالي 120 ملغ/ م3 من حمض الهيدروكلوريك في الدخان المطروح، وهذه القيمة أعلى من التركيز الأقصى المسموح وفق الأنظمة والتشريعات الفرنسية (100 ملغ/ م^3).

يصعب على الدخان الحاوي على كمية مرتفعة نسبياً من بخار الماء الارتفاع في الجو إذا كان الجو بارداً بخلاف دخان الغازات الأخرى، لذلك يلزم في حالة استعمال المحروقات المشتقة إنشاء مدخنة أعلى من تلك التي تنشأ في حالة استخدام الفحم كمحروقات.

أما حمض كلور الهيدروجين فهو مخرش، ويسبب تلوث البيئة الجوية لذلك يجب استخلاصه من الدخان بإحدى الطرق التي ذكرناها آنفاً.

11-7-6- محاسن المحروقات المشتقة من النفايات وعقباته:

تتمتع المحروقات المصنعة عن طريق فرم النفايات القابلة للاحتراق ومن ثم ضغطها لتشكيل قطع المحروقات المطلوبة بنسبة رطوبة عالية (تزيد على 12%). يسبب ارتفاع الرطوبة مشاكل خفض للقيمة الحرارية وتراكيز عالية لبخار الماء في الدخان الناتج عن حرق هذه المشتقات، كما أن القطع المصنعة تكون ذات تماسك

ضعيف نسبياً، فهي عرضة للكسر أثناء النقل أو التخزين. إن معالجة النفايات المفرومة بالتجفيف الحراري قبل عملية الضغط يسبب استهلاكاً إضافياً للطاقة ويؤدي أحياناً إلى تحويل بعض الأجزاء العضوية لكربون. لقد أمكن تحسين نوعية قطع المحروقات المشتقة من النفايات المنزلية والنباتية ونفايات الغابات (أغصان، أوراق شجر، لحاء...) بوساطة التخمر البكتيري اللاهوائي قبل التعريض للضغط والرص.

الفصل الثاني عشر

طمـر النفايات الصلبـة

Landfilling of solid waste

المطمـر الصحي هو مرفق مصمم هندسـياً تُنقـل إليه النفايـات يومياً، وتُلقـى علـى أرض مهيـأة لتمنـع أو لتقلـل علـى الأقـل تلـوث البيئـة المحيطة، لكنه بات خياراً في أسفل سلم أفضليات التعامل مع النفايات الصلبة البلدية، بيد أنه مازال يشـكل الأسـلوب الأكثر اتباعاً، بل يكاد يعتبر الخيار الوحيـد المطبق في معظم الـدول الفقيـرة. ويعـد وسـيلة للتخلص النهائـي من النفايات، وهو أرخص أسـاليب التخلص من الناحية الاقتصادية في حالة توفر مساحات من الأراضي الملائمة للطمر.

ويعـد الموقـع ذو التربـة الطينية أو الجيريـة هـو الأفضـل لإنشـاء المطمـر لضعف مسـاماتها مما يقلل من تسـرب العصارة الملوثة إلى المياه الجوفية، ونفث الغازات في المناطق المجاورة.

12-1- مقـدمـــة

يقع خيار طمر النفايات الصلبة في أسفل سلم أفضليات التعامل مع النفايات الصلبة البلدية، ولكن مازال التخلص من النفايات الصلبة بالطمر يشكل الأسلوب الأكثر اتباعاً في معظم الدول النامية، بل يكاد يعتبر الخيار الوحيد المطبق في معظم الدول الفقيرة. لقد خطى عدد من الدول العربية ببعض الخطوات في اتجاه التخلي عن الطمر، والتوجه نحو اعتماد أساليب بديلة مثل إعادة التدوير والترميد للحصول على الطاقة من النفايات.

12-2- الخيارات الرئيسة للتخلص من النفايات الصلبة بطريقة المطامر الصحية:

المطمر الصحي هو مرفق مصمم هندسياً تُنقل إليه النفايات يومياً، وتُلقى على أرض مهيأة لتمنع أو لتقلل على الأقل تلوث البيئة المحيطة، وقد ترص النفايات بآليات ثقيلة على شكل طبقات بسماكة معينة، وعندما يصل ارتفاع الطبقات المضغوطة إلى ارتفاع معين تُغطى بطبقة ترابية.

- **للتخلص من النفايات الصّلبة البلدية بطريقة المطامر هناك ثلاث خيارات رئيسة هي:**

1. التخلص النهائي من النفايات الصّلبة كما هي في مطامر صحية (النفايات غير الخطرة والتي لم تخضع لمعالجة أو تدوير).
2. التخلص النهائي من النفايات في مطامر صحية بعد معالجتها لِتقليل حجم النفايات المراد طمرها، وكذلك المرفوضات من محطات معالجة النفايات الصلبة.
3. فرز النفايات لاسترجاع الموارد (مواد وطاقة)، ومن ثم التخلص النهائي من المخلفات المتبقية في مطامر صحية.

ويُعد الخَيار الأول أقل الخيارات تكلفة ولكن صعوبة إيجاد أراضٍ جديدة

للمطامر الصّحية ترفع من التكلفة خاصة في المناطق المكتظة بالسكان. أمّا بالنسبة إلى الخيار الثاني فإنّ تخفيض حجم النفايات بواسطة التقطيع والكبس يعمل على تقليل تكاليف النقل والتخلص النهائي، ولكن التكاليف المرتبطة بتخفيض الحجم قد تفوق ما يمكن توفيره، علاوة على أن هذا الخيار لا يوفر فرصة للاستفادة من النفايات. أمّا الخيار الثالث فيتضمن عمليات استرجاع بعض المكونات الممكن إعادة استخدامها، أو تدويرها، أو استغلال إمكانية إنتاج الطاقة، وبعض المنتجات المفيدة الأخرى، تاركة جزءاً من النفايات للتخلص النهائي.

تستلزم هذه العمليات تكاليف عالية، ولكن في حالة وجود سوق للمواد المسترجعة فيمكن بيع المواد المدورة والطاقة لتخفيض التكاليف الكلية لهذه العمليات، كما أنّ هذا الخيار يخفف الضغط على المطامر الصّحية ويطيل من فترة استخدامها وبالتالي يساهم في المحافظة على البيئة ومواردها. ويمكن تعزيز هذا الخيار باعتماد أسلوب تخفيض كمية وسمية النفايات من المصدر.

12-3- أنواع مطامر النفايات:

يمكن تصنيف مطامر النفايات تبعاً لثلاثة أمور:

حسب نوعية النفايات المسموح طمرها، إذ أن هناك مطامر التخلص من النفايات الصلبة البلدية (منزلية، تجارية، نفايات شوارع). ومطامر التخلص من نفايات البناء والهدم، والمطامر الخاصة بالنفايات الخطرة بعد معالجتها للحد من خطورتها، ومطامر للحمأة فقط. علماً بأنه في بعض الأحيان يتم طمر الحمأة مع النفايات المنزلية بعد تجهيز الحفرة وعزلها عن المياه الجوفية بطبقة عازلة وغير منفذة للمياه، ويمكن أن تكون هذه الطبقة العازلة من الإسمنت أو مادة الأسفلت (Bitumen)، أو الغضار أو أغطية بلاستيكية خاصة (Polyethylene Or Polyvinylchloride) لحماية المياه الجوفية من التلوث[121].

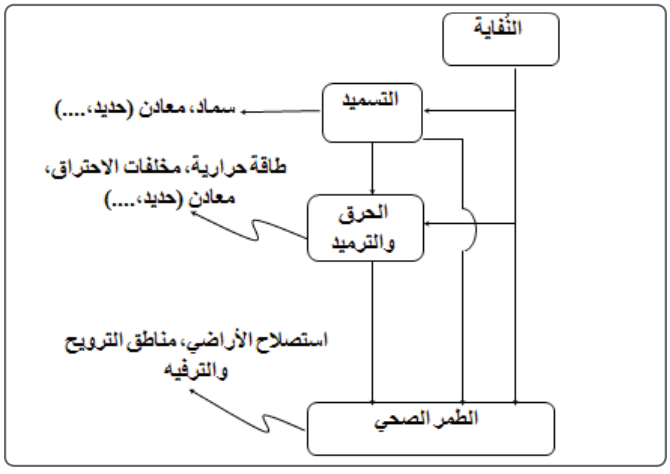
12-4- الهدف من المطامر الصّحية للنفايات:

الهدف الرئيس من إنشاء المطامر الصحية (sanitary-landfill) هو التخلص من النفايات الصّلبة بطريقة تقلل من انبعاثاتها وأن يكون أثرها مقبولاً على البيئة أو شبه معدوم.

يُعد الطمر الصحي (sanitary-landfill) وسيلة للتخلص النهائي من النفايات، إذ إنّ عمليات التحويل الحراري والحيوي لا تُعد وسائل للتخلص النهائي، بل أدوات لتقليل حجم النفايات المطلوب التخلص منها بصورة نهائية، واسترجاع بعض المواد والمنتجات بدلاً من هدرها في المطامر. إضافة إلى ذلك فإنّ مرفوضات هذه العمليات يجب طمرها في مطامر صحية. لذلك فإنّ الطمر الصحي عملية لابد منها حتى في حالة اعتماد الترميد أو التحويل إلى محسنات تربة كما يبين الشكل (12-1) ويُعد الطمر الصحي من أفضل طرق التخلص من الناحية الاقتصادية في حالة توفر مساحات من الأراضي الملائمة للطمر بأسعار رخيصة.

الشكل 12-1:

ضرورة وجود طمر صحي في كل طرائق التخلص من النفايات الصّلبة



هناك عدة أهداف ثانوية محلية يمكن تحقيقها من عملية طمر النفايات الصّلبة، وهذا يتعلق بظروف المنطقة والموقع الذي تُطمر فيه النفايات، ونذكر منها الآتي:

1- تعبئة المحاجر والمناجم القديمة: التي استنفدت عملها.

2- استصلاح المستنقعات بردم النفايات فيها وتحويلها من برك موبوءة.

3- استصلاح الأراضي القاحلة والجافة والبور.

12-5- اختيار مواقع مطامر النفايات:

إن عملية اختيار موقع لإنشاء مطمر صحي للنفايات ليست بالعملية السهلة وإيجاد أفضل المواقع يتطلب وضع منطقة جغرافية كاملة في الاعتبار واستبعاد المواقع غير المناسبة وفق أسس محددة، ثم إجراء مفاضلة بين المواقع المتبقية بناءاً على مميزات كل منها وتحديد المواقع الأكثر ملاءمة وإجراء الدراسات اللازمة لها لاختيار أفضلها من الناحيتين الفنية والاقتصادية.

أي أن عملية اختيار موقع طمر النفايات تتكون من ثلاث مراحل وهي[122]:

- **المرحلة الأولى:** تشمل اختيار المواقع اعتماداً على معايير محلية.
- **المرحلة الثانية:** دراسة المواقع المختارة لتحديد الموقع الأفضل.
- **المرحلة الثالثة:** وضع التفصيلات التصميمية للموقع المفضّل، بحيث يلائم موقع أرض الطمر العديد من معايير التصميم الجيوتكنيكي والسكاني.

كما تتطلب عملية استبعاد المواقع غير المناسبة المعرفة الكافية بالمنطقة، والمسح والدراسة المكثفة لخرائط منطقة البحث، والأنظمة واللوائح الخاصة باستخدامات الأراضي. **ومن المواقع التي يجب أن يتم استبعادها ما يلي:**

1- المواقع المصنفة ضمن المناطق الزلزالية النشطة.

2- المواقع المجاورة لأراضي مخططة لأغراض تنموية، مثل مناطق التوسع

العمراني والتجاري والزراعي، حيث يجب أن يكون مطمر النفايات على بعد معقول عن مثل هذه المواقع.

3- الأودية والشعاب ومجاري السيول، حيث يعرض وضع مطمر النفايات المياه الجوفية للتلوث نتيجة تسرب السوائل الناتجة عن المطمر إلى باطن الأرض خاصة وأن بطون هذه الأودية والشعاب تمثل مصادر هامة للمياه الجوفية، أو قد تتسبب السيول في جرف النفايات وتلويث مصادر المياه السطحية أسفل الوادي.

4- المواقع ذات المياه الجوفية العالية المنسوب خاصة في المناطق التي تستخدم فيها هذه المياه للزراعة أو كمصدر لمياه الشرب.

5- المواقع ذات الانحدار الشديد الذي يزيد عن 15%. والأمثل اختيار موقع المطمر في أرض مسطحة أو ذات انحدار معقول حيث إن ذلك يسهل عمليتي تصميم المطمر وتشغيله.

6- المناطق التاريخية الأثرية والمناطق الطبيعية المحمية.

12-5- العوامل المؤثرة في اختيار مواقع طمر النفايات

يتم تحديد التأثيرات البيئية والصحية الناتجة عن المطمر، وإعداد دراسة تقييم الأثر البيئي في الموقع المحيط، وأخذ الموافقات اللازمة عليها قبل المباشرة بالعمل، وأن يؤخذ بالاعتبار تطور النفايات والمخاطر الناتجة عنها، بالإضافة للتوسع المستقبلي العمراني المنظور للمنطقة.

ويتطلب اختيار موقع لإنشاء مطمر صحي للنفايات أخذ عدة عوامل بيئية وهيدرولوجية واقتصادية في الاعتبار [123]، نذكر من أهمها:

أ- سهولة الوصول للموقع:

إن الموقع الأفضل هو الذي يمكن الوصول إليه تحت كل الظروف المناخية،

ويفضل ذلك الذي يقع بالقرب من طريق معبد يتحمل حركة سيارات نقل النفايات، وأن يكون أقل درجة في المفاضلة ذلك الذي يتطلب إنشاؤه طريقاً طويلاً.

ب- المسافة بين الموقع ومنطقة إنتاج النفايات:

إن بعد موقع مطمر النفايات عن موقع إنتاجها له تأثير مباشر على تكلفة جمع النفايات والتخلص منها، لكن يُفضّل ألاّ تقل المسافة بين المناطق السكنية وموقع الطمر عن 500م. وتحدّد القوانين السورية بأن يكون بُعد المطمر الصحي 5 كم عن التجمعات السكنية. كما يمكن أن تكون هذه المسافة فقط كيلومترين بعد موافقة الوحدة الإدارية، ويُفضّل في العادة إنشاء محطات انتقالية، عندما تزيد مسافة النقل على 20 كيلومتر، وذلك لتفريغ حمولة السيارات الصغيرة في سيارات أكبر. لذلك يعتبر الموقع الأقرب لمصدر إنتاج النفايات ويفي بالمتطلبات البيئية هو الأفضل عند المفاضلة.

ج- مساحة الموقـع:

حتى لا يتكرر انتقال المطمر خلال فترات قصيرة، يجب أن تكون مساحة المطمر كافية لاستيعاب النفايات المنتجة من المنطقة المخدومة لفترة لاتقل عن خمس سنوات. ويؤخذ عادة عمر المشروع من 20 إلى 25 سنة، ويضاف لمساحة المطمر مساحات للخدمات، تقدر بحوالي (20-40)% من مساحة المطمر الصحي.

ونشير إلى أنه يمكن إقامة مطمر يستوعب كميات لأقل من خمس سنوات، إلاّ أن التكلفة الاقتصادية لتشغيله سوف تكون أكبر، وبخاصة التكلفة المتعلقة بتجهيزات الموقع، وبالإشراف على التسهيلات الاحتياطية المساعدة، واتمام عملية التغطية النهائية، حيث إن تكلفة التشغيل النوعي النسبي للمواقع الكبيرة أقل منها في المواقع الصغيرة، إضافة إلى أن المطمر الصغير يقصر عمره الخدمي، ولا يحقق فوائد للتكاليف التي صُرفت على إنشائه وتشييده.

د- الخواص الهيدرولوجية:

لابدّ من دراسة حالة المياه السطحية والجوفية في المنطقة، وتخطيط تصريف المياه في منطقة الطمر قبل الطمر وأثناءه وبعده، وبشكل خاص أثناء السيول والفيضانات المحتمل حدوثها، ذلك للحيلولة دون اختلاط وتلوث المياه السطحية بالنفاية، إذ إنّ تسرب عصارة النفاية في المياه المعدة للاستخدام من قبل الإنسان يُمثل مخاطر صحية وبيئية جمّة. ويجب أخذ الاحتياطات اللازمة أثناء الطمر لتصريف المياه بعيداً عن موقع الطمر. ويُفضّل أن تكون المياه الجوفية عميقة.

هـ- الظروف المناخية:

يجب دراسة المناخ والطقس في المنطقة، وذلك من حيث اتجاه الرياح السائدة وسرعتها التي تؤثر في انتقال الغازات والروائح، والأتربة، والأوراق، والمواد الأخرى قليلة الكثافة لمنطقة أخرى. ولتجنب ازدياد منطقة التلوث وانتشارها. ويُفضّل اختيار موقع المطمر في الجهة المعاكسة لاتجاه الريح السائدة في المنطقة، وأن يحدد معدّل هطول الامطار وتوقيتها، وطور تكرارها وذلك بهدف دراسة تصريفها وعدم تلويث المياه السطحية من عصارة المطمر. وتفضّل المنطقة ذات معدل الهطول الضعيف. كما يجب أن تدرس معدلات درجات حرارة الجو بالمنطقة، حيث أن درجات الحرارة المنخفضة، وحالات الصقيع التي يمكن أن تحدث خلال فصل الشتاء، تعيق عملية الحصول على التربة التي تستخدم في التغطية، وهذا يفرض ضرورة توفير مخزون احتياطي من مادة التغطية في مواقع المطمر، مما يزيد من التكلفة، إضافة إلى أن درجات الحرارة المرتفعة تزيد من سرعة تحلُّل النفايات وانتشار الروائح الكريهة، لذلك يلزم طمرها بسرعة.

و- الشروط الجيولوجية والجيوتكنيكية وتوفر تربة التغطية:

يجب أن تتم الدراسة الجيوتكنيكية والجيولوجية للموقع، ويفضل وجود أساس صخري غير منفذ لتفادي تلوث المياه الجوفية، وهذا يناسب إنشاء الأحواض السطحية للطمر الصحي الكثيف، أمّا الأراضي الرملية والحصبية فهي غير صالحة للطمر الصحي. والأساس الصخري يجب ألاّ يكون سهل التفتيت كيميائياً لتلافي

مشاكل صرف عصارة سائل المطمر الصحي، أو التلوث الكامن بالغاز المتسرب. ويعد الموقع الأفضل لإنشاء المطمر الصحي للنفايات هو الموقع ذو التربة الطينية أو الجيرية لضعف مساماتها، مما يقلل من تسرب عصارة نفايات المطمر إلى المياه الجوفية والغازات إلى المناطق المجاورة. ولابد أن تحدّد كميات تربة الحفر وخواصها، لمعرفة فيما إذا كانت تصلح كطبقات عزل وتغطية لطبقات المطمر الصحي، أم سيتم استحضار مادة التغطية من مناطق أخرى.

ز- الوضع الطبوغرافي للموقع:

تُحدّد طبوغرافية الأرض طريقة أو طرق الطمر الممكنة، ومتطلبات عملية الطمر من معدات وآليات، والتجهيزات اللازمة وتكلفة إعداد الموقع، وكذلك تحدد طبوغرافية الموقع نوع المطامر التي يمكن إقامتها. فالأراضي ذات الميول الكبيرة أقل مناسبة لأنها تعيق عملية استثمار المطمر، ولاتلائم إقامة المطامر المتحكم فيها، مع فرم وضغط النفايات في موقع المطمر.

ح- ملكية الأرض:

في مرحلة المفاضلة بين المواقع المناسبة يجب أن تؤخذ ملكية الأرض في الاعتبار، وتفضل الأرض التي تتبع للبلدية أو للدولة بشكل عام على المملوكة لفرد أو جهة، حيث إن تكلفة شرائها تزيد من تكلفة إنشاء المطمر.

ط- إمكانية حجب المطمر:

إن السكان عادة لا يرغبون في رؤية مطامر النفايات، ولهذا يفضل أن يكون موقع المطمر غير مشاهد من الطرق الرئيسية، أو من موقع مخصص لتنمية عمرانية أو لأغراض أخرى.

ي- الشروط الاجتماعية:

يؤثر الرأي العام للسكان المجاورين للمطمر في تحديد بُعد المطمر عنهم وشكل المقلب/المكب، وخاصة في الدول المتقدمة صناعياً، حيث أنه يجب إعلام السكان

باحتمال إقامة مطمر صحي ضمن منطقة من مساحاتهم، وفي هذه الحالة يتقبل السكان الأمر أكثر مما لو أنهم أخبروا من جهات أخرى، وبالتالي يستفسر السكان عن أخطار ومزايا أرض الطمر الصحي، ويتم التنسيق بين الجهة المسؤولة عن تنفيذ المطمر والسكان القاطنين في المنطقة القريبة من المطمر المقترح وبالاستماع لهم والاستجابة لاهتماماتهم، وأخذ المطالب المجتمعية في الاعتبار مثل وجوب إبعاده عن المدارس والمؤسسات التعليمية، والمحميات الطبيعية، والمناطق المأهولة بالسكان، وتقليل قيمة الأرض عند وضع المطمر الصحي بالقرب منها ومن خلال ذلك يقل ارتيابهم وتخوفهم، ويتم إقامة المطمر في مكان يتوافق عليه من قِبل الغالبية العظمى.

12-6- أسس تصميم مواقع طمر النفايات:

1- **المعلومات الأساسية:** كميات النفايات، مواصفاتها، تواترها، أنواعها، مصادرها، ووضع موقع المطمر الجيولوجي ومنسوب المياه الجوفية، الأحوال المناخية بالمنطقة، نوع التربة التي ستستخدم لتغطية النفايات، والمتطلبات الضرورية لحماية البيئة حول الموقع.

2 - **تخطيط منطقة الطمر:** اختيار طريقة الطمر ومواصفاتها وتحديد أبعاد الموقع.

3- **تصميم خلايا الطمر:** خلية طمر واحدة وعدد الخلايا.

4- **الخطوات الرئيسية لإنشاء موقع مطمر النفايات:** التقسيم إلى مناطق (أ، ب، ج،....) وتقسيم كل منطقة إلى خلايا للطمر متلاصقة، تسوير موقع المطمر، تجهيز مدخل المطمر وطرقه الداخلية، إنشاء وتجهيز غرف الحراسة والمستودعات وميزان ومكتب تسجيل.

5 - **الاستخدام النهائي للموقع:** الاستفادة بعد إغلاق المطمر، ينسجم مع خطة استخدامات الأراضي.

12-7- الشروط الواجب توافرها في مطامر النفايات ومعايير التصميم

- يجب أن تتوافر في المنشأة متطلبات السلامة اللازمة للعمال والزوّار (خزانة للأقنعة الواقية والملابس، صيدلية ومستلزمات إسعافات أولية، أجهزة إطفاء الحريق... إلخ).
- وجود شبكات لمياه الشرب والصرف الصحي والكهرباء الضرورية للتشغيل الجيد للمطمر الصحي، مع إمكانية توصيل تمديدات الهاتف الأرضي إذا أمكن.
- وجود مباني خاصة لخدمات العمال (استراحة، ومطعم، وأدواش، ودورات مياه، ومكان لغسل الآليات) ومدخل للموقع مزود بميزان أرضي لوزن النفايات، غرفة حراسة، ومرآب، وورشات تصليح للآليات، ومركز مراقبة للتحكم بحركة الآليات دخولاً وخروجاً، مع تسوير حدود الموقع لضبط عملية الدخول والخروج، ولمنع دخول الحيوانات الضالة وتكاثرها، وفي حال عدم تسوير الموقع يجب إقامة حاجز ترابي ولمسافة كافية لمنع دخول العربات دون المرور على المدخل الرسمي للموقع.
- إنشاء نظام صرف لمياه الأمطار، بحيث لا يسمح للأمطار باختراق مساحة الطمر، وذلك بحفر خنادق تجميع وتصريف لمياه الأمطار على جوانب الموقع.
- تحديد الطرق وتنفيذها ضمن الموقع بحيث يكون لها عدة محاور للتحرك ضمن المطمر مع وضع إشارات واتجاهات، وأن يُنشأ طريق فرعي يصل الطريق المؤدية من المدينة إلى الموقع، لتجنب الازدحام من سيارات جمع النفايات، بحيث يكون طول الطريق الفرعي على الأقل 60 متراً، مع مراعاة عدم تضييع الزمن بسبب الانتظار لتفريغ آليات النقل في ساعات الذروة للسيارات، في هذه الحالة يتم إنشاء محطة انتقال موقعية كي تفرغ السيارات حمولتها فيها سريعاً وتعود لجمع النفايات من الأحياء والمدن، ومن ثم يتم نقل النفايات من محطة الانتقال الموقعية إلى واجهة العمل اليومية للمطمر التي يفضل أن تكون ضيقة بغرض تنفيذ التغطية اليومية السريعة للنفايات.

- تأمين المختبرات اللازمة للمراقبة والتحليل.
- التجهيزات الآلية اللازمة الخاصة بالمطمر: يتطلب التشغيل الآلي للمطمر تنفيذ عمليات حفر ورفع ونقل وتسوية ورص للتربة.

12-8- أهم العناصر اللازمة لتشغيل المطمر الصحي

لتشغيل مواقع الطمر الصحي لابد من توافر عناصر تشغيلية كثيرة أهمها ما يلي:

12-8-1- العمالة المدربة:

إن تنفيذ عمليات التشغيل لأي مطمر بكفاءة عالية يعتمد بدرجة كبيرة على توفير عمالة مدربة وكافية في الموقع، ويجب أن توجد هذه العمالة المدربة طيلة ساعات التشغيل اليومية، وعدد العمالة المطلوبة لتشغيل المطمر تحدده كمية النفايات التي يستقبلها المطمر يومياً.

12-8-2-المعدات والتجهيزات الآلية:

إن المعدات من أهم العناصر لتنفيذ عمليات تشغيل المطامر وفق الخطة الموضوعة، ويجب اختيار معدات ذات تحمل عال وحجم مناسب للعمليات التي ستستخدم فيها ومصممة للعمل في كل مطامر النفايات ما أمكن ذلك، واختيار نوع وحجم وعدد المعدات اللازمة لتسوية ورص وتغطية النفايات يعتمد على الآتي:

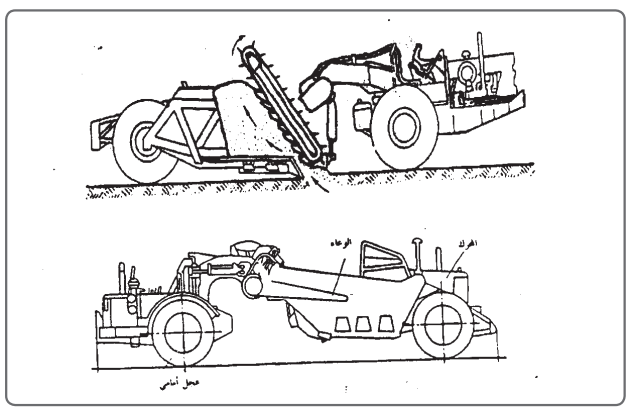
- كمية ونوعية النفايات المتوقع وصولها للمطمر
- كمية ونوعية تربة التغطية التي يجب استخدامها.
- بعد الموقع الذي ستجلب منه تربة التغطية.
- الظروف المناخية.
- مستوى ضغط النفايات المطلوب.

- طريقة الطمر التي ستستخدم (الطمر على سطح الأرض أو في خنادق).
- طبوغرافية الموقع ومدى إمكانية الحفر به ومتطلبات ذلك.
- الخدمات المساندة المطلوبة بما في ذلك إنشاء وصيانة الطرق الداخلية.

ويمكن استعمال البلدوزر لأعمال الحفر والدفع ويمكن استخدامه للتسوية والرص، لكن بطء حركته تحد من استعماله لمسافات كبيرة. بينما يستعمل التراكس بشكل أكبر وخاصة ذو الإطارات المطاطية، وتستخدم الجرافة (scraper) التي يمكن استعمالها بشكل مستقل أو مجرورة بجرار لتنفيذ أعمال نقل التربة كما هو مُبيّن في الشكل أدناه.

الشكل (12-2):

الجرافة وطريقة ملء وعائها بالأتربة.



وقد تستخدم مداحل للتربة على شكل أرجل الأغنام أو بشكل أسطواني أملس كما هو مُبينّ في الشكل أدناه:

الشكل 12-3:

نموذج مدحلة مستخدمة في عملية الرص بالمطمر.

12-9- طرائق طمر النفايات:

تختلف طرائق طمر النفايات الصلبة باختلاف طبيعة الأرض وخصائص التربة وبُعد منسوب المياه الجوفية عن سطح الأرض، ويمكن استعمال أكثر من طريقة للطمر في نفس الموقع حسب طبوغرافية الأرض. ومن أهم هذه الطرق: الطمر الهوائي والطمر اللاهوائي، وقد ينفذ الطمر في خنادق محفورة، أو مباشرة على سطح الأرض، وقد يتم الطمر في المنخفضات.

عند توافر مساحة كافية من الأراضي المحيطة الصالحة تقنياً لكن بتكلفة عالية يلجأ لتخفيض المساحة اللازمة لاستيعاب النفايات باستخدام المقالب الكثيفة اللاهوائية، حيث إن المساحة السطحية المطلوبة للمطمر الصحي تتعلق بكثافة النفايات الصّلبة المضغوطة في خلايا المطمر، وعلى كمية النفايات الواردة إلى الموقع يومياً حسب عدد السكان والمستوى المعيشي، وعلى العمق المتوسط لطبقات النفايات المرصوصة.

يمكن التمييز بين عدة أنواع للمطامر الصحية للنفايات وهي:
المطامر التقليدية ذات التحلل الهوائي، والأكثر استخداماً وهي المطامر الكثيفة اللاهوائية.

12-9-1-مطامر النفايات الهوائية :

يتم في المطامر المتحكم فيها ذات التحلل الهوائي نثر النفايات الخام، وفرشها بحيث تؤلف طبقات سماكة الواحدة منها (0.5- 0.8) م وتغطى كل طبقة نفايات بطبقة تغطية من مادة ساكنة مسامية (تراب -نفايات الإنشاء والبناء) تسمح بمرور الهواء لكنها مع ذلك متراصة تمنع وصول القوارض والحشرات وتتراوح سماكة طبقة التغطية بين (0.3-0.4)م.

لا تتم في المطامر ذات التحلل الهوائي عملية رص كبيرة للنفايات التي كتلتها الحجمية بين (250-350) كغ/م^3، وهذا يسهل وصول الهواء إلى النفايات المطمورة، وبالتالي يسيطر التحلل الهوائي للنفايات الذي ينتج عنه تحويل المواد العضوية إلى غاز ثاني أكسيد الكربون وماء، إن تحويل المواد العضوية إلى عناصر من قبل الكائنات الحية الدقيقة يرافقه ارتفاع في درجة الحرارة ضمن كتلة النفايات. يخفف التحلل الهوائي من إصدار الروائح الكريهة ويخفض من حمولة تلوث عصارة حفرة الطمر الصحي.

وتفرش النفايات وتسوى يدوياً في المواقع الصغيرة أو بوساطة آلة تسوية خفيفة بسماكة قليلة (0.5-0.8) م، لتأمين تهوية كتلة النفايات. ويتطور التخمر الهوائي للمواد العضوية خلال ستة أشهر، لذلك يكون الزمن الفاصل بين وضع طبقتي نفايات متتاليتين ستة أشهر على الأقل، وتغطى النفايات بطبقة التغطية بعد كل يوم عمل. **ويجري العمل في مواقع الطمر الصحي التي يجري تشغيلها يدوياً حسب الخطوات التالية** (الشكل 12-4):

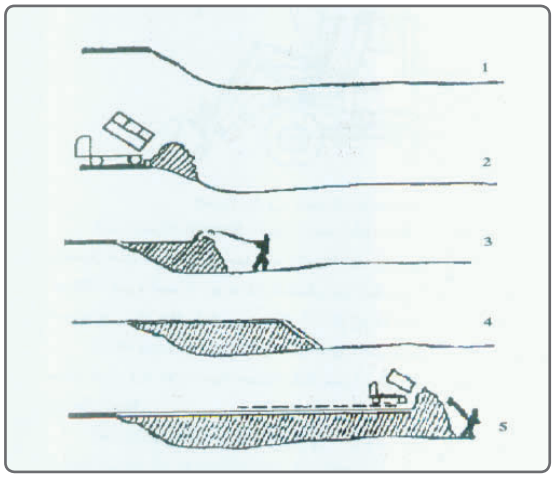
- إنشاء طريق من مادة صلبة من أقرب طريق رئيسي إلى نقطة بداية الطمر في الموقع الذي ينخفض عن الحواف المحيطة. ويحدد الموقع بأوتاد تحدد عرض المقطع اليومي، وارتفاع مستوى الطمر.
- تبدأ السيارات بتفريغ حمولتها عند حافة حفرة الموقع.
- يقوم العمال بتسوية أكوام النفايات بوساطة شوكة طولها حوالي 2 متر، وتسوى الجوانب بميل قدره 45 درجة.

- تغطى النفايات بكامل أسطحها يومياً بطبقة ترابية.
- تستخدم طرق مؤقتة من ألواح الصاج لتأمين وصول السيارات إلى واجهة العمل من دون انغراز عجلاتها، مع وضع حاجز متنقل يمنع تجاوز العجلات الخلفية للسيارات لواجهة العمل.
- يؤخذ عرض الطريق المؤقت مساوياً عرض الخلية مع ميل جانبي 45 درجة. تبلغ إنتاجية العامل في هذه المواقع حوالي 5 طن نفايات في اليوم الواحد.

الشكل 12-4:

مراحل العمل في موقع الطمر الصحي

التي يجري تشغيله يدوياً .



12-9-2- مطامر النفايات اللاهوائية (المطامر الكثيفة):

تستخدم مطامر النفايات اللاهوائية (المطامر الكثيفة)، لتخفيض مساحة الأراضي اللازمة لاستيعاب النفايات، وهي مصممة ومنشأة بحيث يكون تأثيرها السلبي على البيئة صغيراً. **وتتألف المطامر الصّحية التي يتم فيها التحلل اللاهوائي للنفايات من العناصر الآتية:**

1- طبقات عزل للأرضية والجوانب لمنع العصارة (leachate) من التسرب وتلويث المياه الجوفية والتربة المحيطة.

2- شبكة لجمع العصارة الناتجة عن النفايات الصّلبة بالمطمر.

3- طبقات لجمع الغاز الناتج عن تحلل النفايات الصّلبة بالمطمر.

4- طبقات تغطية سطحية لمنع الروائح من الانتشار ومنع تجمع الحشرات والحيوانات الشاردة في المطمر.

5- نظام تصريف المياه السطحية ومياه الأمطار فوق المطمر.

6- نظام المراقبة البيئية للتحليل الدوري لعينات المياه الجوفية والهواء والمياه السطحية والتربة حول المطمر.

7- مشروع لإغلاق المطمر عند امتلائه وانتهاء العمليات فيه من حيث المراقبة والصيانة الدورية.

12-10- تنفيذ المطامر اللاهوائية:

توجد عدة أساليب لتنفيذ المطامر اللاهوائية وهي[124]:

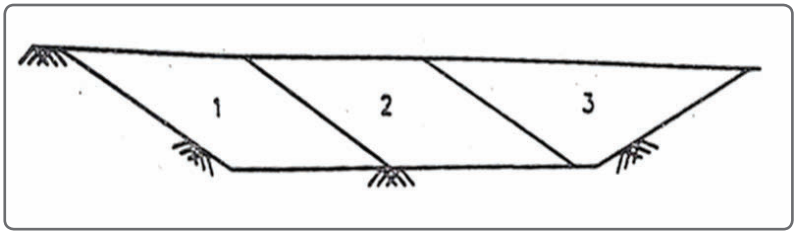
12-10-1- الطمر تحت سطح الأرض في خنادق:

تستعمل هذه الطريقة عندما يكون مستوى المياه الجوفية بعيداً عن سطح الأرض وتكون أرض الموقع مستوية أو مائلة قليلاً وتتوفر في ارض الموقع مادة التغطية الترابية بعمق مناسب بعيداً عن المنسوب الأقصى للمياه الجوفية، كما في الشكل (12-5). وتوضع النفايات في خنادق يتراوح طولها من 40 إلى 300 م، والعرض السفلي لهذه الخنادق من 10 إلى 20م، وعمقها أكثر من 1 متر، ويتعلق عمق الخندق بعمق منسوب المياه الجوفية ونوعية التحلل البيولوجي للنفايات في الخندق، فإذا كانت المطامر تقليدية متحكم فيها ويسود فيها التحلل الهوائي عندئذ يُفضل ألاّ يزيد العمق عن ستة أمتار، أما في حالة المطامر اللاهوائية فيزيد عمق الخندق عن ستة أمتار.

يمكن تجميع النفايات الصلبة على أحد أطراف الخندق لتشكل حاجزاً ثم ترمى في الخندق وترص، أو أن يجري استقبال النفايات الصلبة مباشرة من سيارات الجمع إلى الخندق المحفور. يجري الاستفادة من تربة الخندق نفسه لأغراض التغطية المرحلية والنهائية للموقع، ويفضل الاحتفاظ بالتربة الزراعية العلوية للخنادق لاستخدامها كتربة تغطية نهائية للموقع.

الشكل 12-5:

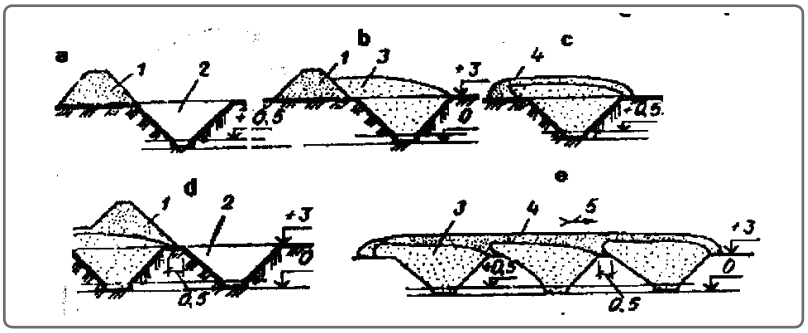
مطامر تحت سطح الأرض (الخندق).



تصمم الخنادق بشكل متعامد مع حركة الرياح السائدة في المنطقة. ويجري الطمر في الخندق من إحدى نهايتيه وباتجاه طوله. وتفصل الخنادق عن بعضها بمسافة قدرها 0,5 متر، كما يظهر في الشكل (12-6).

الشكل 12-6:

مطامر تحت سطح الأرض (الخندق).



أ- المقطع العرضي للخندق.

ب - المقطع بعد الملء بالنفايات .

ج- المقطع بعد التغطية.

د- حفر الخندق الثاني.

هـ- الخنادق بعد التغطية النهائية.

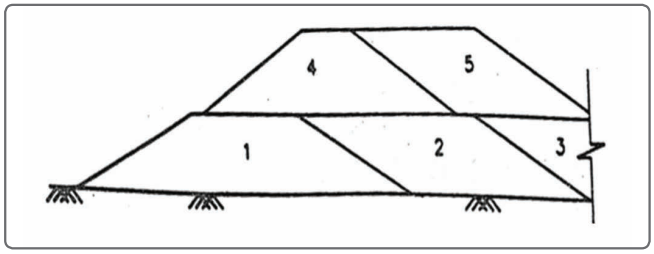
وتُركّب شبكات الصرف عادة في منتصف القواعد السفلية للخنادق وعلى طول الخندق، وتجمع هذه المياه بأنابيب رئيسية على عرض الموقع. وتعطى الخنادق ميلاً طولياً بحدود 7 بالألف لتأمين الراحة في حركة مياه الصرف، ويؤخذ الميل الجانبي للخنادق بحيث يؤمن الثبات بوجود الحمولات الديناميكية.

12-10-2-الطمر فوق سطح الأرض:

تستعمل هذه الطريقة عندما لا تسمح طبيعة الأرض بالحفر، وعندما يكون منسوب المياه الجوفية قريباً من سطح الأرض. حيث تفرش النفايات الصلبة على مقاطع طولية فوق سطح الأرض، كما في الشكل (12-7)، وتجري تغطيتها بطبقة تربة تجلب من أراض مجاورة بوساطة آليات نقل التربة.

الشكل 12-7:

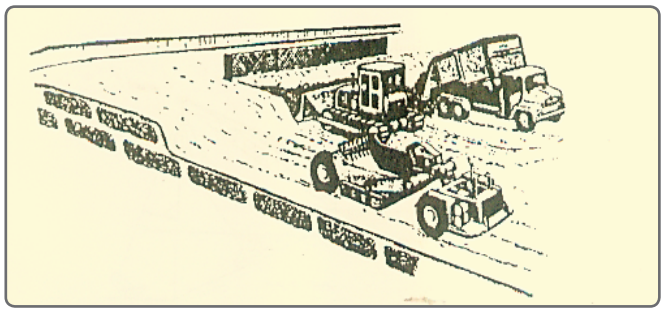
مطامر فوق سطح الأرض.



يتراوح عرض الخلية (جزء من مساحة المطمر تستخدم لفترة محددة) اليومية في حالة الطمر فوق سطح الأرض من 2,5 إلى 6 متر، بينما يتعلق طولها بالعمق المقترح لها انظر الشكل (12-8).

الشكل 12-8:

آلية تنفيذ الفرش السطحي للنفايات.

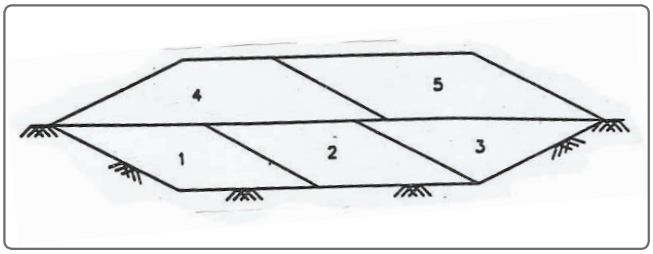


12-10-3- الطمر تحت سطح الأرض وفوقها

في حال كون عمق التربة سهلة الحفر قليلاً يمكن اللجوء إلى الطمر تحت سطح الأرض وفوقها، وذلك بغية الاستفادة من التربة الزراعية في الموقع، والحصول على تربة التغطية النهائية لموقع الطمر، كما مُبيّن في الشكل أدناه:

الشكل 12-9

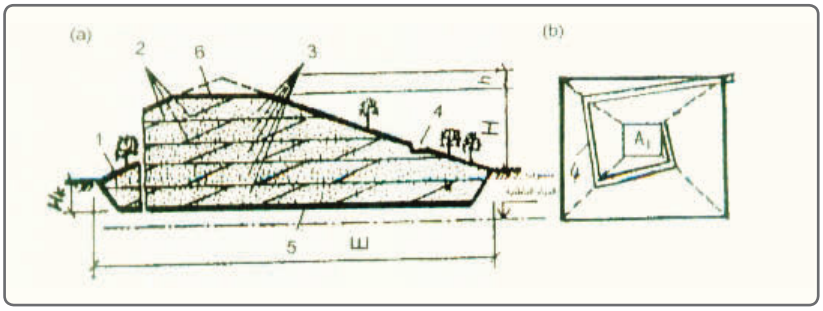
الطمر تحت سطح الأرض وفوقها



ويحدد ارتفاع موقع الطمر الصحي أعلى سطح الأرض (H) من شروط انحدار الميل الخارجي(1:4)، كما في الشكل (12-10)، ومن ضرورات تأمين العمل الآمن لسيارات نقل النفايات وآليات الرص.

الشكل 12-10:

مخطط لموقع طمر صحي تحت وفوق سطح الأرض



مفاتيح : (a) مقطع عرضي للموقع. (b) مخطط الطريق إلى المساحة العلوية.
2- طبقة التغطية النهائية- طبقة التغطية المرحلية 3- النفايات الصلبة المرصوصة
4- الطريق إلى المساحة العلوية 5- القاعدة الكتيمة 6- المساحة العلوية.

12-10-4- الطمر في المنخفضات:

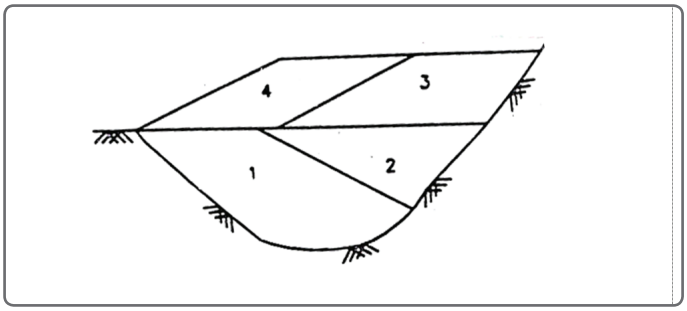
يمكن استغلال المنخفضات الطبيعية كالوديان والشقوق الأرضية وكذلك مقالع الحجر والتربة والرمل التي انتهى استغلالها الاقتصادي لطمر النفايات، وتتم عمليات طمر النفايات وفق التسلسل المبين في الشكل (12-11).

تطلب هذه الطريقة تحكماً جيداً في تصريف المياه السطحية لمنع تحركها إلى المنخفضات وتجمعها فيها، إضافة إلى توفير مواد التغطية لطبقات النفايات. وتتميز هذه الطريقة بما يلي:

- إمكانية استعمال الأرض على طبيعتها بدون اللجوء للحفر.
- توافر مواد التغطية من بقايا المواد القابعة في مقالع الحجر والرمل.
- إمكانية كسب الموقع الذي كان منخفضا غير صالح للاستفادة في مجال استعمالات الأراضي..

الشكل 12-11:

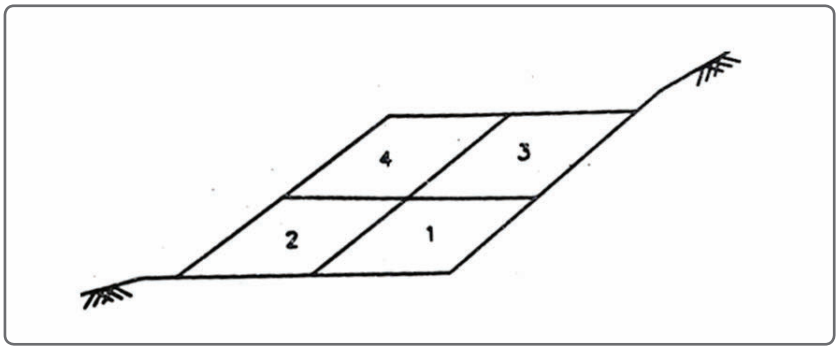
طمر النفايات في المنخفضات



وإذا كانت الأرض على شكل منحدر فإن طمر النفايات ينفذ بالتسلسل كما هو مُبينّ في الشكل (12-12).

الشكل 12-12:

طمر النفايات في الأراضي المنحدرة.

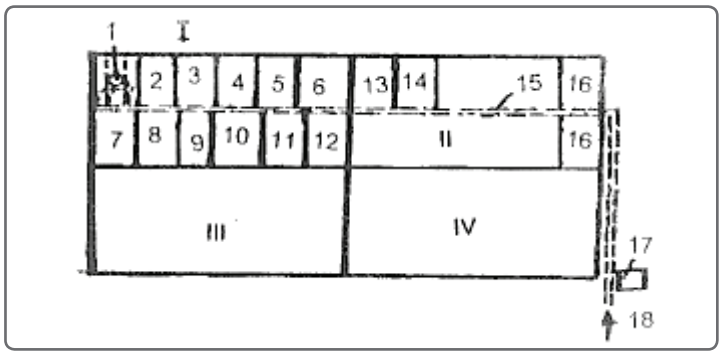


تنظم الأعمال في مواقع الطمر الصحي ضمن مخطط تكنولوجي ومخطط استثمار، ويبين الشكل (12-13) المخطط التكنولوجي لاستثمار مواقع طمر يستقبل حتى (1000) م^3/اليوم. يجب الأخذ بالحسبان أثناء إنشاء هذه المخططات التغيرات الحرارية خلال فصول السنة، وتتابع تنفيذ الأعمال الرئيسية في الموقع (تحضير الخلية، واستقبال النفايات وفرشها ورصها وتغطيتها)، وحجم المساحات المخصصة لتجميع النفايات الصلبة وحجم تربة التغطية التي يمكن الحصول عليها.

الشكل 12-13:

المخطط التكنولوجي لاستثمار مواقع طمر

تستقبل حتى (1000) م^3/اليوم.



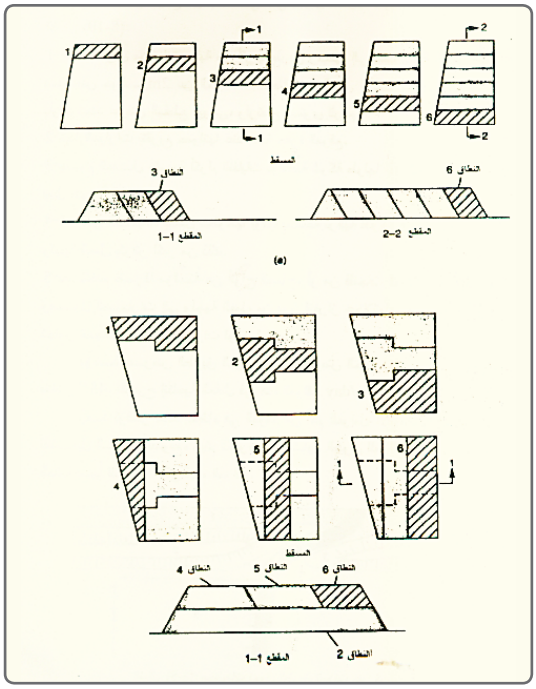
ترتبط هذه المخططات بجداول استثمار الموقع حسب شهور السنة، والتي تشمل حجم النفايات الشهرية والمساحات المطلوبة لتراكم هذه النفايات وحجم تربة التغطية اللازمة.

يتم تجميع الأتربة الناتجة عن حفر القطاعات على شكل أكوام على محيط الموقع وذلك للاستفادة منها في التغطية النهائية للموقع عند إغلاقه، أما تربة التغطية المرحلية فتؤخذ بشكل دائم من تربة المقاطع للأدوار التالية، فتربة تغطية المقطع الأول تؤخذ من أكوام تربة المقطع الثاني فحسب، وذلك في حالات عدم كفاية الأتربة من أرضية المقطع.

تعتمد طريقة ملء موقع الطمر الصحي على مواصفات الموقع (طبوغرافيا الموقع، والخواص الجيولوجية والهيدرولوجية لمنطقة المشروع، ولابد لدى اختيار مخطط ملء الموقع من وضع مخطط تفصيلي يوضح تسلسل عمليات الملء الجزئية. ويبين الشكل (12-14) مخطط ملء موقع طمر ذو منسوب واحد، ومخطط آخر لملء مواقع طمر ذات مناسيب متعددة.

الشكل 12-14:

مخطط إملاء موقع طمر نفايات صلبة



أ- ملء المواقع ذات المنسوب الواحد،

ب- ملء المواقع ذات المناسيب المتعددة.

تتم عملية رص النفايات بوساطة مداحل خاصة ذات أوزان معينة بحيث تصل الكتلة الحجمية للنفايات المرصوصة إلى (800-1000) كغ/م^3، ويجب القيام بعملية ضغط ورص النفايات بكفاءة عالية جداً للأسباب الآتية:

- لاستيعاب أكبر كمية ممكنة من النفايات الصلبة.
- لمنع وجود فجوات يمكن أن تأوي إليها وتتكاثر بها الحشرات والقوارض.
- للحد من عملية الاشتعال الذاتي للنفايات نتيجة لانخفاض نسبة الهواء في كتلة النفايات المرصوصة.

بعد الانتهاء من عملية رص النفايات وضغطها، وعندما يصبح مجموع سماكة

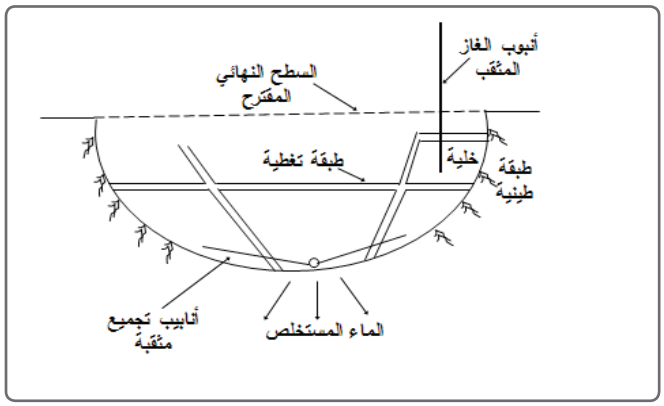
طبقات النفايات الرقيقة المرصوصة حوالي (1.5-2.5)م ثم تغطى طبقة النفايات المرصوصة بطبقة من التراب النظيف بسماكة (0.3-0.4)م، وتُرص طبقة التراب أيضاً، وعلى طبقة التراب هذه توضع طبقة ثانية من النفايات حتى تصل سماكتها (1.5-2.5)م وتخضع لعملية الرص، ثم توضع كما في الطبقة السابقة فوق طبقة النفايات طبقة تغطية من التراب النظيف بسماكة (0.3-0.4)م، وترص طبقة التراب، ونكرر العملية، وهكذا يستمر ملء حفرة الطمر الصحي (طبقة نفايات مرصوصة سماكتها (1.5-2.5)م، ثم فوقها طبقة تغطية مرصوصة من التراب النظيف سماكتها (0.3-0.4)م، حتى يصل ارتفاع الطمر إلى القيمة المطلوبة، تتم عملية الطمر في موقع المطمر مباشرة، إذا كان حاوياً على منخفضات أرضية أو تحفر خنادق إذا سمحت بذلك طبيعة الأرض، أمّا في الأراضي الصخرية فتُنشأ صناديق سطحية خاصة مساحة كلٍ منها بين(3000-3500) م^2، وهذا غير مفضل بسبب الكلفة الزائدة للصناديق.

إنّ مسامية طبقات النفايات في المطامر الكثيفة منخفضة، وكمية الهواء المتوافرة في النفايات المرصوصة ضعيفة لذلك يستهلك في البداية الأكسجين المتوفر بعملية تحلل هوائي، وبعد فترة يستهلك مجمل الأكسجين، وتتحول عملية التحلل من هوائية إلى لاهوائية مع إنتاج الغاز الحيوي الحاوي على الميثان، كما أن مياه حفر الطمر الصحي الكثيف تكون محمّلة كثيراً بالملوثات.

مقابل الخفض في المساحة اللازمة للمطامر الكثيفة اللاهوائية نتيجة لرص النفايات تظهر عقبتان لابدّ من العمل على معالجتهما وهما مياه حفر الطمر الصحي الكثيف (العصارة leachate)، والغاز الحيوي كما يُبين الشكل(12-15).

الشكل 12-15 :

جمع العصارة والغاز الحيوي في مطامر النفايات اللاهوائية



12-11- فترة التصميم أو عمر المطمر: (design life)

نميز بين ثلاث فترات: فترة فعالة، فترة إغلاق وفترة ما بعد الإغلاق.

إن الفترة الفعالة تتراوح ما بين 10 - 25 سنة وذلك وفقاً لمساحة الأرض المتوفرة وهي التي تستخدم عند تصميم المطمر. إن فترة الإغلاق تكون بعد الفترة الفعالة وتستغرق 25 سنة لمراقبة وصيانة المطمر، وبعد ذلك تكون فترة مابعد الإغلاق.

12-12- حجم النفايات الصلبة وسعة المطمر:
Waste volume and landfill capacity

وهي تحسب على أساس الفترة الفعالة آخذين بعين الاعتبار الكمية الحالية لإنتاج وتوليد النفايات سنوياً، والزيادة المتوقعة في معدل إنتاج النفايات الصّلبة وذلك وفقاً للسجلات الماضية أو معدل النمو السكاني.

إن سعة المطمر المطلوبة ستكون أكبر من حجم النفايات التي ستوضع فيه حيث يؤخذ بعين الاعتبار الحجم الذي ستشغله مواد التغطية (اليومية والنهائية للمطمر) ونظام جمع العصارة (leachate) والغاز وطبقات العزل.

إن الكتلة الحجمية للنفايات الصّلبة تختلف وفقاً لنوعية النفايات ودرجة ضغط ورص النفايات ودرجة تحللها، وتتراوح بين (0.4-1.25) طن/م^3، وبالنسبة للنفايات العضوية (0.85) طن/م^3، أمّا النفايات الخاملة فتكون (1.1) طن/م^3.إن الهبوط الناجم عن تحلل النفايات الصلبة بالمطمر تحت طبقة التغطية النهائية تقدر بـ 10% من حجم النفايات الصلبة.

ويمكن حساب حجم المطمر الصحي لفترة تتراوح بين 5 إلى 10 سنوات من العلاقة (4-2).

$$V = \frac{W}{\rho}\left(1 - \frac{X}{100}\right) + v_r \qquad (1-12)$$

حيــث:

V: حجم منطقة الطمر الصحي.

W: وزن النفاية الواجب طمرها.

ρ: الكتلة الحجمية المتوسطة للنفايات.

x: النسبة المئوية لحجم النفايات المرصوصة، %.

vr: حجم طبقة التغطية المطلوبة (سمك 15 إلى 30 سم للطبقات المتوسطة، والحافة المؤقتة، والميلان الأمامي والعلوي، وعلى الأقل 60سم في الطبقة النهائية) كما وأن هذا الحجم يتراوح بين 17% من حجم النفايات للطمر العميق إلى 33% للطمر السطحي. وفي المتوسط يبلغ 25%.ولهذا المتوسط يمكن أخذ حجم منطقة الطمر لتعادل الحجم المبين في العلاقة (12-2).

$$V = 1.25\frac{W}{\rho}\left(1 - \frac{X}{100}\right) \qquad (2-12)$$

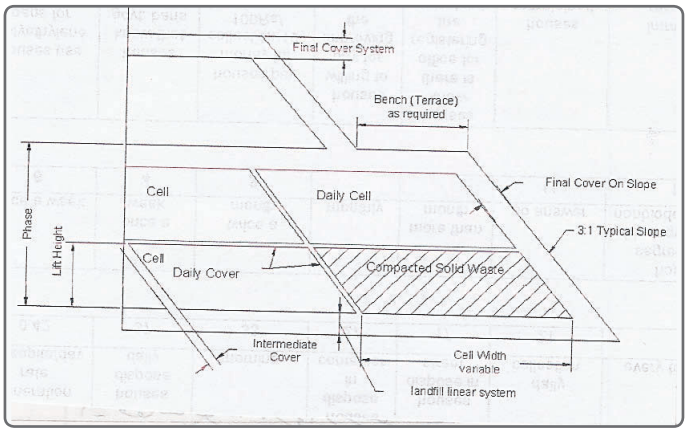
12--13المراحل المتعاقبة لتشغيل المطمر:(operation Phases)

يتم تشغيل المطمر على مراحل، لأن ذلك يسمح باستخدام مساحة المطمر

بشكل متتال حيث يتم خلال وقت محدود إنهاء وتغطية جزء من المطمر، ومن ثم تحضير جزء آخر لاستقبال النفايات الجديدة. كل مرحلة تصمم لمدة بين سنة وعدة سنوات، وتتم عملية الإملاء من أسفل المطمر وحتى الطبقة النهائية خلال هذه المرحلة. وكل مرحلة تتكون من خلايا، وارتفاعات، وتغطية يومية، وتغطية متوسطة، ووسائل جمع العصارة، وطبقة التغطية النهائية كما هو موضح في الشكل (12-16). إن الخلية تستوعب نفايات يوم واحد، وتضم النفايات الصلبة الموضوعة بسماكة محددة ومواد التغطية اليومية المحيطة بها بارتفاع (15-30) سم من التربة المتوفرة بالمطمر، والغاية من مواد التغطية اليومية هو منع انتشار النفايات، ومنع الحشرات، والقوارض من الدخول والخروج من المطمر، ومنع دخول المياه إلى النفايات أثناء الملء. وكل مرحلة في المطمر تتكون من مجموعة من الارتفاعات وطبقات تغطية متوسطة بنهاية كل مرحلة، وهي أسمك من طبقة التغطية اليومية وتبلغ حوالي 45 سم.

الشكل 12-16:

المراحل المتعاقبة لتشغيل المطمر ومكوناته.



12-14- تصميم طبقات العزل الداخلي والنهائي للمطمر:

12-14-1- تصميم طبقات العزل الداخلي (الطبقات والبطانة):

لا بد من وضع بطانة عازلة أسفل المطمر لمنع تحرك العصارة أسفل قاع المطمر، ولتسهيل انسيابها. عادة تتكون البطانة من طبقات من مواد طبيعية أو

أغشية مختارة لقلة نفاذيتها من مواد طينية أو بانتونايت مع رمل، أو رقائق من البولي اثيلين عالي الكثافة PE، أو كلوريد البولي فينيل PVC أو غيرها من المواد البوليميرية. وقد يستخدم الأسفلت لتشكيل طبقة العزل الداخلية في المطمر.

وعند استعمال الرقائق البلاستيكية كطبقة عازلة يجب وضع طبقة رملية ناعمة تحتها وفوقها لحمايتها من التمزق[125]، وطبعاً لا تتوقع أن تبقى الطبقة العازلة فعالة إلى الأبد فلكل نوع من المواد المستعملة عمر زمني محدد، غير أنه يشترط في الطبقة العازلة أن تبقى فعالة لفترة زمنية كافية يكون قد تم من خلالها الانتهاء من موقع طمر النفايات والانتقال إلى موقع آخر، وزرع الموقع الأول بالأشجار الحراجية وتصبح إمكانية تأثير العصارة الناتجة عن النفايات قليلة.

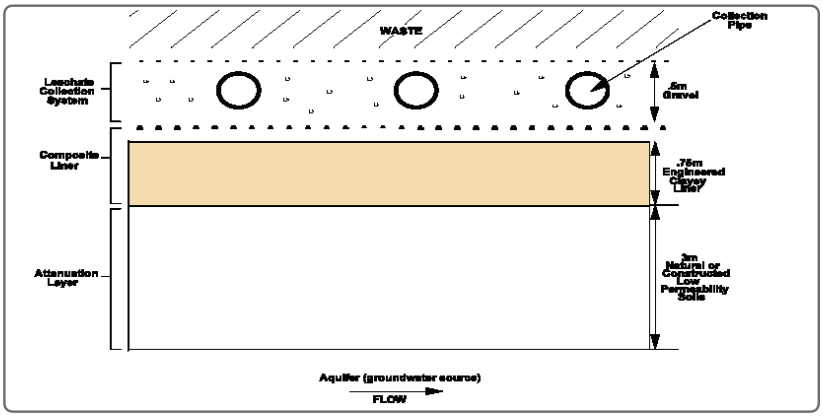
ويمكن تصميم المطمر بطبقة عازلة واحدة أو مجموعة طبقات اعتماداً على المواصفات الهندسية المجازة وتوضع في كل طبقة عزل نظم تجميع سائل المطمر لتجميعه من أعلى الطبقة.

تهدف مراقبة عصارة نفايات المطمر إلى منع تسرب العصارة من جوانب وأرضية المطمر إلى التربة المحيطة باستخدام نظام الطبقات، وتصريف العصارة المجمّعة بأرضية المطمر إلى جوانب المطمر لإزالتها من المطمر. إن نظام الخطوط يتألف من طبقات جمع وتصريف العصارة وطبقات عازلة (حواجز) ويجب أن تكون نفاذيته قليلة، **وهو يتكون من اجتماع مواد عازلة كالغضار الطبيعي والتربة المحسنة والرقائق الصناعية المرنة وهناك عدة أنواع هي:**

- نظام الطبقة المفردة(Single liner system) كما مُبينّ في الشكل (12-17)

الشكل 12-17:

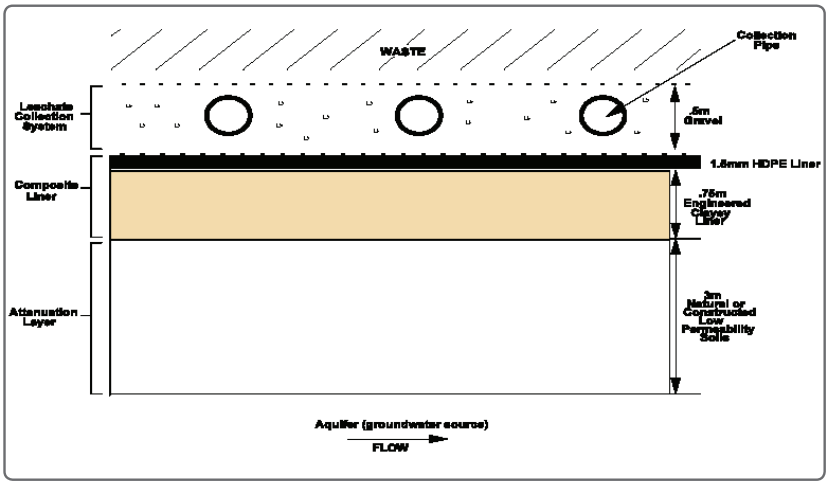
النظام المفرد في مطامر النفايات الصلبة.



- نظام الطبقة المركبة المفردة Single composite liner system كما مُبيّن في الشكل (12-18).

الشكل 12-18:

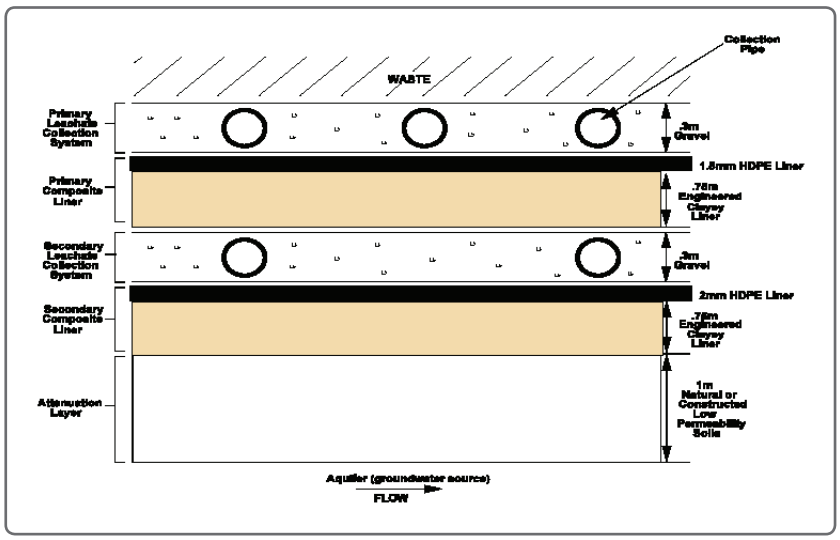
نظام الطبقات المركب المفرد في مطامر النفايات الصلبة.



- نظام الطبقة المزدوجة (Double liner system) كما مُبيّن في الشكل (12-19).

الشكل 12-19:

نظام الطبقات المزدوج في مطامر النفايات الصلبة.

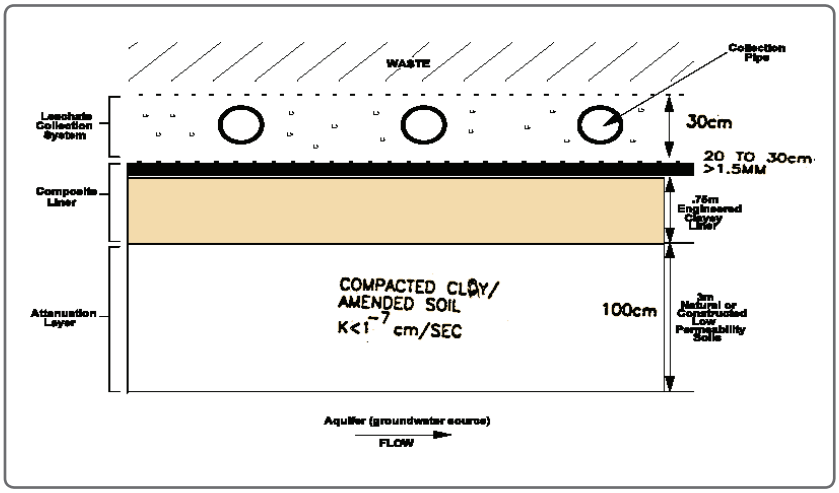


ينصح باستخدام نظام الطبقات المركب في مطامر النفايات الصلبة البلدية والمؤلف من الطبقات التالية وبسماكات صغرى كما هو موضح في الشكل (12-20):

- طبقة تصريف العصارة بسماكة 30 سم مؤلفة من تربة حبيبية بنفاذية أكبر من 10-2 سم/ثا.
- طبقة حماية (تربة غضارية) بسماكة (20-30)سم/ثا.
- غشاء صناعي بسماكة 1.5مم أو أكثر وهو عادة يؤخذ بين (2-3)مم.
- حاجز من الغضار المضغوط أو حاجز من التربة المعدلة بسماكة (100) سم وذات نفاذية أقل من10-7 سم/ثا.

الشكل 12-20:

نظام الطبقات المركب في مطامر النفايات الصلبة.



12-14-2- طبقة العزل الداخلي للمطمر باستخدام الاسفلت:

هذه الطريقة أسهل تقنية في تحقيق العزل الداخلي للمطمر وتعطي نتائج جيدة، تتم عملية تقييم طبقة العزل الأرضية بطريقة الإسفلت وبدون طبقات غضارية كتيمة عن طريق المسامية، والتي تعطي كمية المياه الراشحة من خلال طبقة العزل خلال فترة زمنية محددة.

يحقق نظام مؤلف من ثلاث طبقات من الغضار سمك كل منها 25 سم ونفاذية قدرها 5 × 10-7 م/ث. بينما يحقق نظام الإسفلت المقترح المؤلف من طبقتين من الإسفلت بسمك 8 سم وسرعة جريان ضمن المسامات قدرها 5 × 10-7 م/ث للطبقة العازلة و بسمك 8 سم وسرعة جريان ضمن المسامات قدرها 5 × 10-7 م/ث للطبقة الحاملة و15 سم لطبقة التربة المرصوصة مسامية قدرها 5 × 10-3 م/ث.

ومن الملاحظ أنه مع سمك من الإسفلت والتربة الحاملة المرصوصة 30 سم يمكن الحصول على قيمة جيدة بالمقارنة مع ثلاث طبقات غضارية سمكها 75 سم وذلك حسب الكود والخبرات المتبعة في سويسرا وألمانيا.

يتكون نظام العزل والتصريف الأرضي للمقالب الصحية المعزولة بطريقة الإسفلت من الطبقات التالية وذلك من الأعلى إلى الأسفل، انظر الشكل (12-21):

1- طبقة حماية وترشيح سمكها 30 سم.

2- طبقة إسفلتية عازلة سمكها 8 سم، حجم الفراغات فيها أقل من 3 %.

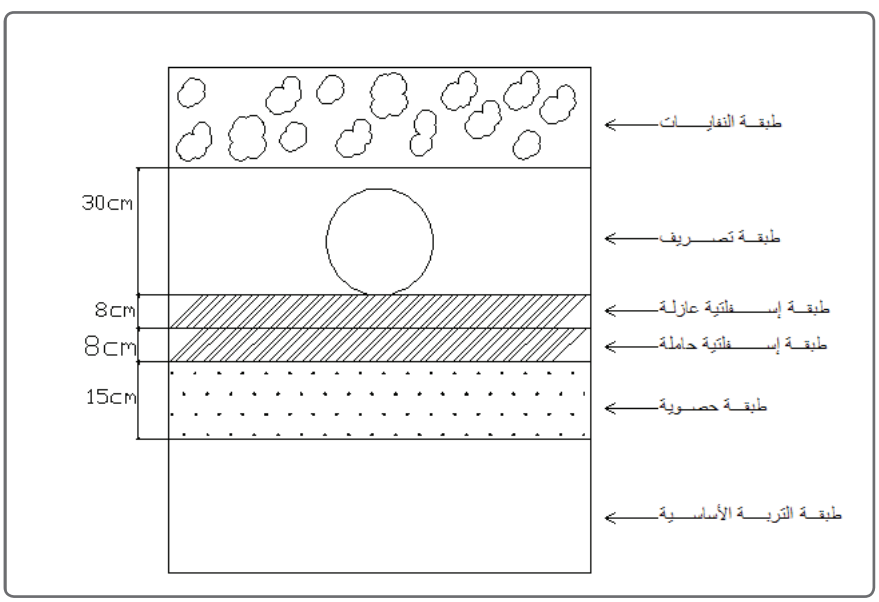
3- طبقة إسفلتية حاملة بسمك قدرها 8 سم.

4- طبقة من المواد الحصوية النظيفة المكسرة الكاملة التدرج (0-5 سم) سماكتها 15 سم مع طبقة من الإسفلت لزوم التصاق وتشرب بنسبة 2.5 كغ لكل متر مربع على أن توزع بشكل منتظم على طبقة البحص.

5- طبقة التربة الأرضية المرصوصة.

الشكل 12-21:

نظام عزل أرضية المطمر بالإسفلت

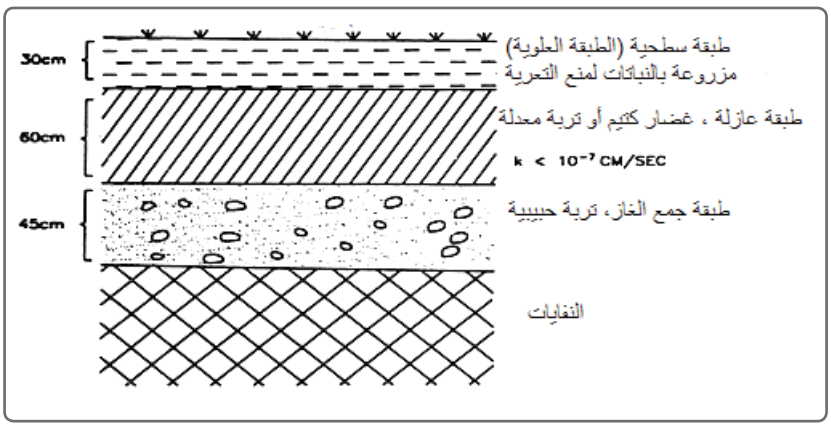


12-14-3- تصميم طبقات العزل النهائي (التغطية السطحية) للمطمر

يتألف غطاء المطمر من عدة طبقات، ولكل طبقة عملها الخاص، حيث يجب على نظام التغطية النهائية أن يؤمن صرفاً للمياه السطحية، ومياه الأمطار، وتقليل تسربها إلى داخل المطمر، كما يجب أن يكون هناك غطاء نباتي ونظام لجمع ومراقبة الغاز الناتج، وهو يختلف حسب النظام المعتمد لإدارة غاز المطمر. ففي حالة جمع الغاز عن طريق فتحات يجب أن يكون التباعد بين الفتحات من (30-75) مترا وتكون مكونات نظام التغطية كما هو مبين في الشكل (12-22-أ، ب، ج). التسرب خلال الغطاء أقل من 75% من معدل الرشح خلال البطانة.

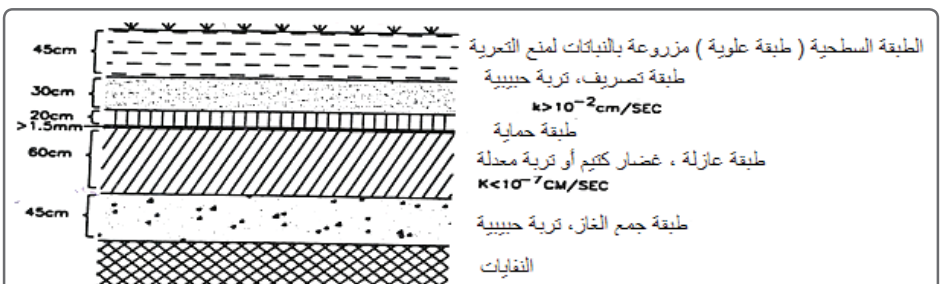
الشكل 12-22:

طبقة التغطية في حالة استخدام فتحات الغاز الحيوي.



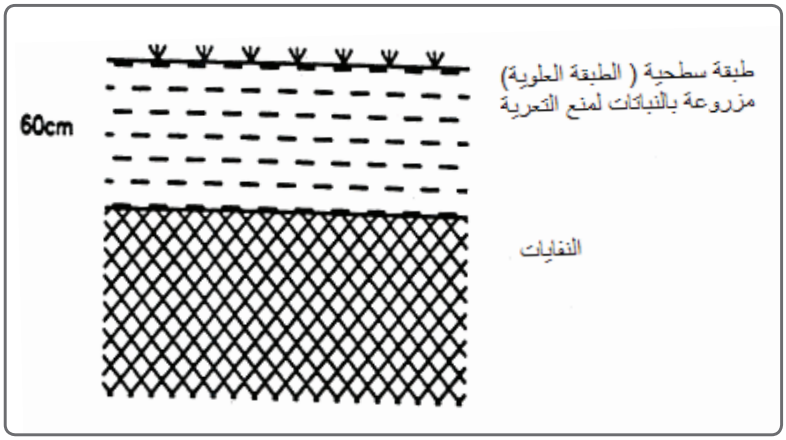
الشكل 12-23:

طبقة التغطية عند استخدام معالجة الغاز.



الشكل 12-24:

طبقة التغطية في حال عدم استخدام مراقبة للغاز الحيوي الناتج.



12-15-تصميم شبكات جمع العصارة leachate

إن الأهداف الرئيسة لطمر النفايات في المطامر الكثيفة اللاهوائية هي ضمان بدء جيد لعملية إنتاج الغاز الحيوي. والسبيل لزيادة سرعة تحلل النفايات. وتحسين نوعية عصارة المطمر الصحي يتم بالتحكم بالمحتوى المائي للنفايات، الذي يؤثر في دور العمليات التي تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة والتي تتم خلال تحلل النفايات، ويُفضّل أن يكون هناك حركة للماء ضمن كتلة النفايات، فحركة الماء توفر البيئة الملائمة لنقل العناصر الغذائية إلى الكائنات الدقيقة، ونقل هذه الكائنات لتصل إلى العناصر الغذائية المتوفرة، وبالتالي تحفز حركة الماء إنتاج الغاز الحيوي.

لتأمين حركة الماء تُنشأ مصارف جمع لماء حفر الطمر الصحي، ثم تُضخ هذه المياه للمعالجة خارج الحفرة وقد يعاد رش الماء على الحفرة لتأمين الرطوبة اللازمة.

إن معدل إنتاج الغاز الحيوي لكل واحد كيلو غرام من النفايات ذات نسبة رطوبة 35% يساوي 0.01م^3 /اليوم. وفي حال وصول نسبة الرطوبة إلى 70% يتضاعف حجم الغاز العضوي الناتج يومياً عن الكيلو غرام من النفايات.

يتم تجميع العصارة الناتجة عن تحلُّل النفايات الموجودة في المطمر بواسطة شبكة من الأنابيب التي تركب في أرض المطمر مع تحقيق الميلان المناسب، وتكون هذه الأنابيب مثقبَّة للسماح للعصارة بالدخول إليها كما مبين في الشكل (12-25)، ثم بعد ذلك تنقل إلى حفر تفتيش موجودة على أطراف المطمر، ليتم تجميعها ثم معالجتها.

الشكل 12-25:

شبكة الأنابيب لتجميع رشاحة النفايات الصلبة في المطمر الصحي

ولكي يتم تصميم شبكات العصارة يتم القيام بعدة دراسات تشمل:

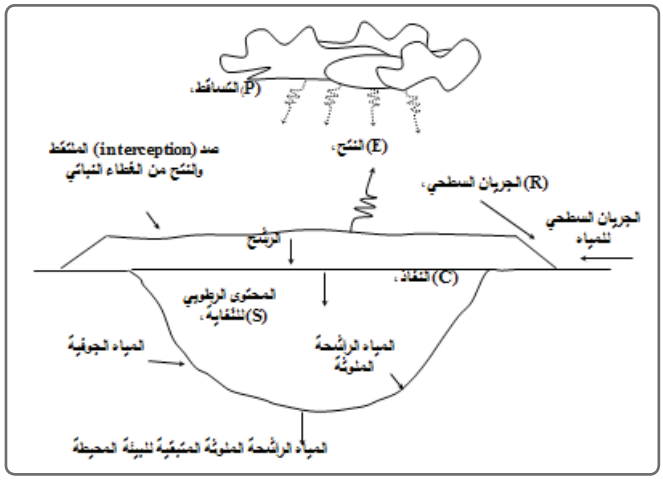
12-15-1-تحديد نوعية وكمية العصارة بالمطمر:

Determination of leachate quality and quantity

ويعتمد حساب كمية العصارة المتولدة في المطمر على كمية المياه المتسربة والراشحة إلى المطمر، ومن خلال منظومة موازنة الماء في المطمر الصحي المبينة في الشكل (12-26)، وتحسب كما في العلاقة (12-3).

الشكل 12-26:

رسم تخطيطي لمركبات موازنة المياه داخل المطمر الصحي.



$$V = P + S - E - A \qquad (3-12)$$

حيـــث:

V: حجم العصارة (ملم/سنة).

P: حجم هطول المطر (ملم/سنة).

S: محتوى الرطوبة للنفاية (ملم/سنة).

E: الكمية المتبخرة (النتح) (ملم/سنة).

A: الكمية الممتصة من قبل النفايات (ملم/سنة).

حجم العصارة =

حجم هطول المطر + حجم السائل الناتج عن عصر النفايات أثناء الفترة الفعالة – الكمية المتبخرة – الكمية الممتصة من قبل النفايات.

أما كمية العصارة بعد إغلاق المطمر فتحسب كما في العلاقة (12-4).

$$V_{sh} = P - R - E - W \qquad (4-12)$$

حيـــث:

Vsh: حجم العصارة بعد إغلاق المطمر.

R : حجم الجريان السطحي.

W : الكمية الممتصة من قبل النفايات وطبقات التغطية.

كمية العصارة بعد إغلاق المطمر =

هطول المطر – الجريان السطحي – الكمية المتبخرة– الكمية الممتصة من قبل النفايات وطبقات التغطية.

إن نسبة الماء المتسرب إلى ماء المطر الهاطل تتبع لنفاذية الطبقة السطحية لحفرة الطمر الصحي، كما في الجدول (12-1).

الجدول 12-1:

نسبة الماء المتسرب إلى ماء المطر الهاطل تبعاً لعدم نفاذية (كتامة) الطبقة السطحية لحفرة الطمر الصحي

كتامة الطبقة السطحية لحفرة الطمر	النسبة المئوية لكمية المياه المتسربة إلى كمية المياه الهاطلة
حفرة سطحها غير مرصوص	حتى 58,5%
حفرة سطحها مدحول بمدحلة مسطحة	%25
حفرة سطحها مدحول بمدحلة أرجل الغنم	%40

من الناحية العملية لاتتطابق قيم الجدول (12-1) تماماً مع الحفر المنفذة، والسبب هو تأثير موقع الحفرة على تغيير كمية مياه التسرب فوجود سفح قريب من الحفرة يزيد من كمية التسرب عن طريق وصول مياه جديدة من السطح.

وفي معظم الحالات تفترض كمية العصارة كنسبة من كمية هطول المطر فوق منطقة المطمر الفعالة تتراوح (25-50)%، أو(10-15)% من حجم هطول المطر فوق المناطق المغطاة والممتلئة بالمطمر.

مازال هناك نقاط غير واضحة في كمية العصارة في حفر الطمر وتشمل الآتي:

- تغيرات الجريان والضغط ضمن الحفرة.
- مستوى المياه على القاعدة.
- المطر والجريان السطحي في العواصف المطرية الشديدة.
- قوة التخزين والتبخر.
- تكوين واستهلاك المياه أثناء العمليات البيوكيميائية.
- يمكن تخفيف كمية مياه التسرب عن طريق التخطيط والتشغيل المدروس لحفر الطمر الصحي ضمن إجراءات مختلفة.

تتعلق طبيعة عصارة المطامر بعوامل عديدة مثل نوعية النفايات، ظروف الحفرة الصحية، الأحوال الجوية، التفاعلات البيوكيميائية في جسم الحفرة، وبعمر الحفرة ومستوى المياه فيها. ويقل بشكل عام تلوث العصارة بزيادة عمر الحفرة. ومن الطبيعي أنه بعد عدة سنوات من استثمار الحفرة يتم سحب الماء واخراجه خارج الحفرة رغم تزويدها بنفايات رطبة جديدة.

تلعب الحمولة العضوية دوراً مهماً في تحديد نوعية العصارة عند طمر النفايات المنزلية حيث تحدث عملية تميه لكثير من المركبات في جسم الحفرة.

تنتج البكتريا الموجودة بين النفايات المطمورة مركبات ومواد جديدة ومواد مرحلية كالاحماض الدسمة، وجميع هذه المواد تشكل لاحقاً غاز الميثان بعد مرور سنين.

على سبيل المثال يتأكسد سكر العنب بأسلوب هوائي وينتج غاز CO_2

$$C6H12O6 + 6\ O2 \rightarrow 6\ CO2 + 6\ H2O$$

كما يتفكك سكر العنب لاهوائياً وينتج حمض الخليك الذي يتفكك إلى غاز الميثان وثاني أكسيد الكربون.

$$C6H12O6 \rightarrow 3CH3COOH$$ تخمر حمضي

$$CH3COOH \rightarrow CH4 + CO2$$ تخمر ميثاني

$$CO2 + 4H2 \rightarrow CH4 + 2\,H2O$$ تخمر ميثاني

أي في حالة التحلُّل اللاهوائي للنفايات هناك مرحلتان هما مرحلة تشكل الاحماض الدسمة ومرحلة تشكل غاز الميثان.

نبيّن في الجدول (12-2) القيم الوسطى والعظمى لبعض العوامل (البارامترات) في كل من مرحلـتي التخمر الحمضي والتخمر الميثاني.

الجدول 12-2:

القيم الوسطى والعظمى لبعض عوامل عصارة نفايات حفر الطمر الصحي.

Parameter المعامل	تخمر حمضي		تخمر ميثاني	
	قيمة وسطى	قيمة عظمى	قيمة وسطى	قيمة عظمى
pH	6.1	5.5	8.0	8.5
BOD5/CoD	0.85		0.06	
COD mg/L	22000	38100	3000	4340
BOD5 mg/L	13000	30425	180	383
Fe mg/L	925	2120	15	19.3
Ca mg/L	1300	2480	80	375
Mg mg/L	600	1130	250	534
Mn mg/L	24	65.5	0.65	1.73
Zn mg/L	5.6	68.4	0.64	3.78
Sr mg/L	7.2	14.7	0.94	7.25
SO4 mg/L		1745		884

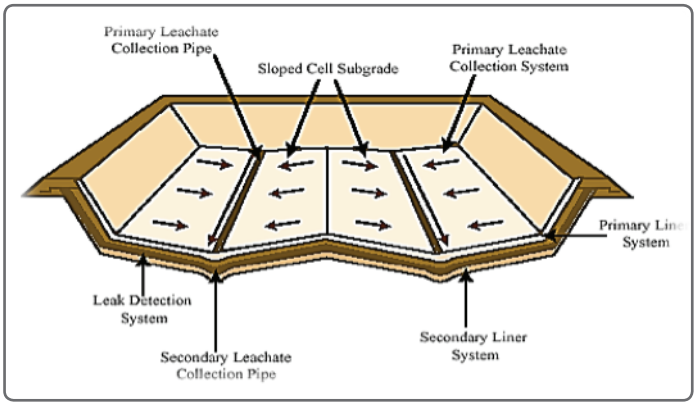
12-15-2-نظام جمع العصارة وتصريفها

Leachate drainage collection and removal system

يُستعمل الآن نظام متكامل لجمع المياه المتجمعة في حفر الطمر الصحي وتصريفها. ويعد نظام التصريف هذا ضروري لتجنب ارتفاع منسوب الماء في الحفرة، لأن ذلك يؤثر في تفاعلات التحلل بشكل سلبي. ويؤثر في توازن الحفرة بكاملها، ويجب أن يكون الضغط المائي الساكن (الهيدروستاتيكي) على طبقة العزل المنفذة في أرضية الحفرة أصغر ما يمكن. يتألف نظام جمع العصارة وتصريفها من قاعدة الحفرة الصحية مما يلي: طبقة تصريف (استخراج) ونظام جمع بالأنابيب المثقبة وحفرة أو أقنية جمع (تخزين) ونظام الإزالة، حيث إن سمك طبقة تصريف العصارة (30) سم وميلها 3% أو أكثر نحو أنابيب الجمع وبنفاذية أكبر من0.01 سم/ث، كما هو مُبيّن في الشكل(12-27). أما بالنسبة للأنابيب المثقبة وحفرة أو حجرة الجمع فتزود ضمن طبقة التصريف، وقطر الأنابيب يجب ألاّ يتجاوز سمك طبقة التصريف وأن يكون أقل من 30سم). ويتم نقل المياه المجمعة ضمن الأنابيب إلى أنبوب تجميع ونقل يصب في حفرة التفتيش. إن تصريف العصارة وإزالتها من المطمر يتم بضخها عبر آبار عمودية أو رافعات جانبية مائلة أو عن طريق الجاذبية الأرضية في حالات المطامر فوق سطح الأرض أو المنحدرة.

الشكل 12-27:

أنابيب جمــع العصارة



تكون خطوات تصميم نظام جمع العصارة كما يلي:

- تثبيت أنابيب وأقنية جمع العصارة ضمن طبقة التصريف بميل (1-2)% حيث إن المساحة العظمى التي يخدمها الأنبوب الواحد 6000 م^2 وتباعد أنابيب التصريف أصغر من 30 متر وعند طرق المطمر 15 متر ولا يزيد طولها عن 400 متر وقطرها من20-25سم وميلها الطولي والعرضي 3 %.
- تحديد قطر الأنابيب وتباعدها بالاعتماد على تحديد كمية العصارة والارتفاع الأقصى للعصارة بالمطمر.
- تحديد حجم حجرة الضخ.
- تصميم الآبار والرافعات الجانبية المائلة لإزالة العصارة.
- تصميم خزان الاحتفاظ بالعصارة.

12-16- إدارة عصارة نفايات المطمر Leachate management

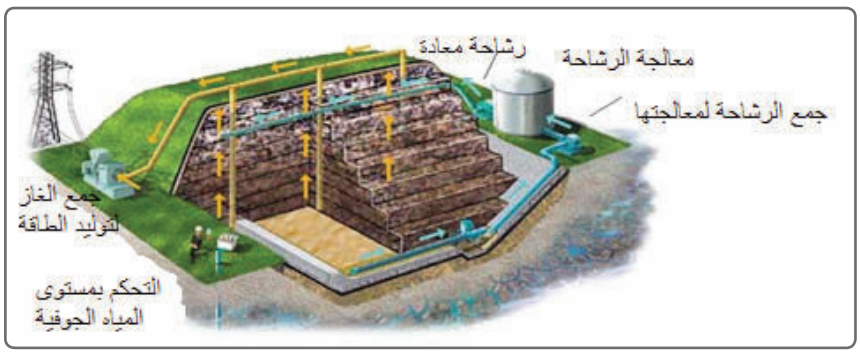
هناك عدة أساليب لإدارة العصارة، من أهمها[126]:

- تصريفها إلى شبكة صرف مجاورة:
- وهذه الطريقة ليست عملية لأنها لا تستعمل إلاّ إذا كانت نوعية العصارة مطابقة لمعايير تصريف مياه الصرف إلى شبكة المجاري.
- تصريفها إلى أقرب محطة معالجة مياه الصرف الصحي: وذلك بعد التأكد من تحمل محطة المعالجة لحمل التلوث الناتج عن وصول عصارة النفايات.
- إعادة تدويرها إلى المطمر:
- في بعض الحالات يتم تدوير العصارة كما هي دون إخضاعها إلى معالجة خاصة، وفي حالة أخرى يتم إخضاع العصارة لمعالجة اولية قبل تدويرها إلى المطمر، ولعملية التدوير فائدتان هما: تسريع عملية تثبيت المطمر.

- تخفيض محتويات ومكونات العصارة بسبب التغيرات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية الحاصلة في المطمر.
- وهذا يتطلب تصميم نظام لتوزيع العصارة بالتساوي على النفايات الصّلبة بالمطمر. كما في الشكل (12-28).

الشكل 12-28:

تدوير عصارة المطمر بعد إخضاعها لمعالجة أولية

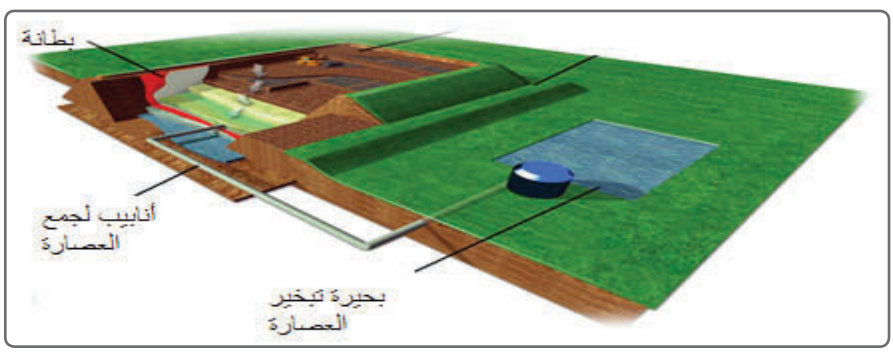


تبخير العصارة :

وذلك عن طريق نشرها على أحواض قليلة العمق ليتم تبخيرها كما هو موضح في الشكل (12-29)، ولكن يجب تغطيتها خلال فصل الأمطار، ويجب أن يتم التبخير ضمن نظام مغلق بحيث لا تستطيع العصارة التسرب إلى البيئة.

الشكل 12-29:

تبخيـــــر العصـــــارة



12-17- معالجة العصارة :

تنضم طرق معالجة العصارة في الحفر الصحية إلى طرق معالجة المياه الملوثة. ويبين الجدول (12-3) أهم الطرق المستعملة عالميا لمعالجة العصارة الناتجة عن الحفر الصحية.

تتطلب المعالجة تخفيض نسب وتراكيز المواد الموجودة قبل تصريفها كالمواد القابلة وغير القابلة للتحلل الحيوي والمواد العضوية والمكونات الخطرة والأمونيا والنترات والحديد والكبريت والمواد الصلبة المعلقة ومركبات الرائحة، ويمكن أن تكون المعالجة بيولوجية (كالحمأة المنشطة وإزالة النترات)، أو معالجة كيميائية (كالأكسدة والمعادلة الكيميائية Neutralisation)، أو معالجة فيزيائية (كالترسيب والترشيح الدقيق)، وبعدها يتم تصريف العصارة المعالجة لأقرب مجرى مائي، أو يتم نقلها للاستفادة منها في الري السطحي وذلك بعد المعالجة (إذا كانت مجموع الأملاح أكبر من 3000 ملغ/ليتر فتعتبر المياه مالحة وغير صالحة للري).

الجدول 12-3:

أهم طرائق معالجة مياه حفر الطمر الصحي للنفايات

الطريقة	المزايا	السلبيات الناجمة عن الطريقة
الترسيب	رخيصة	للتخلص من المواد المعلقة فقط
التبخير	تركيز المواد الملوثة في حجم صغير	مرتفعة التكلفة، صدأ، حل غير كامل
الإدمصاص على الفحم المنشط	مناسبة للمواد التي لا تذوب في الماء	مرتفعة التكلفة، يلزم إعادة فعالية الفحم
الإدمصاص على مواد صناعية	يمكن استعمالها للتخلص من المواد العطرية	مرتفعة الكلفة
الترشيح فائق الدقة والتناضح العكسي	ازالة جيدة للملوثات	امكانية انسداد الأغشية، تؤثر المواد العضوية سلبا على نفوذية الأغشية.
التبادل الشاردي	للتخلص من المواد الذائبة	يلزم إعادة فعالية الراتنجات
الترويب	للتخلص من المواد الغروية وبعض المواد الذائبة	تنتج حمأة يلزم معالجتها

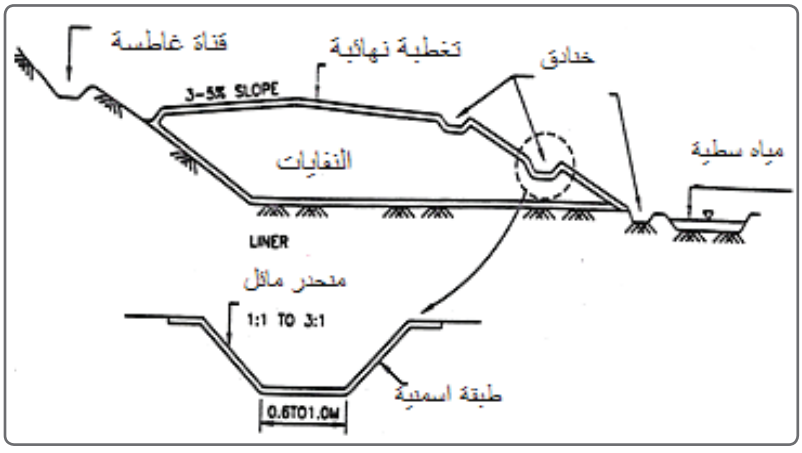
الأكسدة الكيميائية O3 □H2O2 □CL2		ينتج عن الكلورة مركبات كلوروعضوية سامة، والأكسدة بالآزون مكلفة
التحلل الحيوي اللاهوائي	ليس هناك استهلاك للطاقة	التحلل حساس للمواد السامة والشوارد المعدنية الثقيلة، لاتزيل التلوث النتروجيني
التحلل الحيوي الهوائي	عملية وتستهلك طاقة	تخفض من تراكيز طلب الاكسجين الكيمائي والحيوي، COD &BOD
النترجة	تحويل الـ NH4 إلى NO2 ثم NO3	حساسة

12-18- نظام تصريف المياه السطحية للمطمر: Surface water drainage system

يستخدم هذا النظام لِضمان عدم تسرب مياه الأمطار إلى النفايات من المناطق المحيطة بالمطمر، ويتم انجاز ذلك بالقيام بمنع مياه الأمطار من الوصول للمطمر عن طريق أقنية وحواجز توضع حول المطمر، يجب جمع المياه التي تسقط فوق المطمر بشكل منفصل ومعالجتها مع العصارة ويجب أن تكون طبقة التغطية النهائية بميلان من (3-5) % لتصريف المياه السطحية كما في الشكل (12-30).

الشكل 12-30:

تصريف المياه السطحية.



تُجمع كل المياه المتجمعة في حفرة الطمر الصحي، وتصنف بنوعين من المياه هما المياه السطحية، والعصارة، ويجمع كل منهما بشكل منفرد.

تصنف المياه السطحية على أنها جميع المياه غير الملوثة والتي لاتحتك بشكل مباشر مع النفايات ونواتجها في حفرة الطمر الصحي، وتنتج هذه المياه عن الجريان السطحي الناتج عن المطر الهاطل على طبقة التغطية السطحية لحفرة الطمر.

بعض المطامر الصحية المشيدة حديثاً تستخدم غطاءًا متعدد الطبقات من التراب أو من المواد الاصطناعية يحول الماء الهاطل بعيداً عن النفايات. ويعطى ميلان لهذا الغطاء بحيث تسيل مياه الأمطار الساقطة فوقه بعيداً دون حدوث تعرية للتربة، وكما تساعد الحشائش التي تنمو فوق المطمر المتحكم فيه على تقليل هذه التعرية وعلى تحفيز الانفضاج التبخري Evapotranspiration الذي يؤدي إلى الإقلال من المياه المتحركة عبر المطمر المتحكم فيه.

من الناحية الفنية هناك إجراءات مختلفة يمكن تنفيذها للتخفيف من كمية المياه الملوثة والمتسربة مع مياه الأمطار عبر طبقات الحفرة خلال فترة تشغيلها وذلك بتصغير المساحة السطحية للحفرة واستعمال أسقف مناسبة إن أمكن ذلك لحماية الحفرة من الأمطار.

12-20- التحكم في الغازات الناتجة عن تحلل النفايات وتصميم شبكة تجميع الغازات:

تهدف عملية السيطرة على حركة الغازات إلى خفض الانبعاثات إلى الغلاف الجوي، وخفض إطلاق الروائح، وخفض الهجرة التسرب الجانبي إلى الحد الأدنى، وقد يتم الاهتمام باسترجاع الطاقة من الغاز الحيوي الناتج عن تحلل النفايات.

يمكن تصنيف أنظمة السيطرة على لغازات المنبعثة من مواقع طمر النفايات إلى أنظمة ساكنة (Passive) وأخرى فعالة (Active) . عندما يكون إنتاج الغازات محدوداً فإن النظام الساكن لن يكون فعالاً وذلك لأن الانتشار الجزيئي سيكون الآلية

السائدة لحركة هذه الغازات، ولن يكون مهماً في كل الأحوال السيطرة على انبعاثات الميثان القليلة في غاز الموقع.

يمكن أن تكون عملية السيطرة على المركبات العضوية الطيارة من أهم المؤشرات المحددة لنوعية تجهيزات النظام الساكن والنظام الفعال.

12-20-1- أنظمة السيطرة الساكنة على الغازات الناتجة عن مطامر النفايات

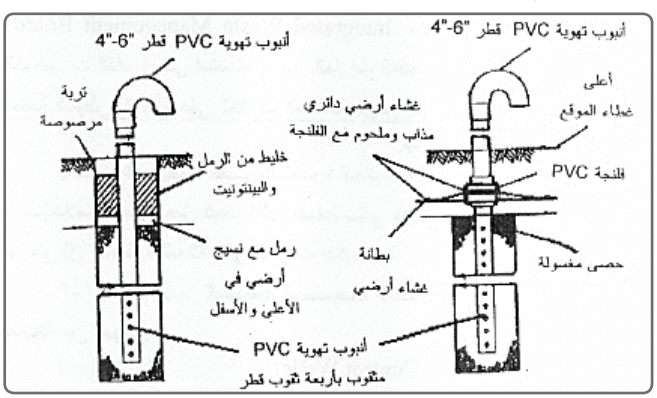
يكون ضغط الغازات المتشكلة في الموقع هو القوة المحركة لها في أنظمة السيطرة الساكنة على الغازات، ويجري عادة استخدام كثير من طرق السيطرة الساكنة على الغازات نذكر منها:

أ- استخدام ضغط الغازات الكائنة داخل الموقع:

تعد هذه الطريقة من أكثر طرق السيطرة الساكنة على الغازات استخداماً، يمكن أن تنتج الحركة الجانبية للغازات بفعل ضغط الغازات الكائنة في داخل الموقع، لذا يجري الاستفادة من ضغط الغازات بعملية اخراجها عبر آبار تخترق عمق النفايات الصلبة، يجري تركيبها في طبقة التغطية النهائية للموقع، كما في الشكل (12-31). إذا كان تركيز الميثان في الغازات الناتجة مناسباً يمكن وصل عدة آبار مع بعضها، وربطها إلى مشعل الغاز الذي يجري تشغيله عادة بواسطة اندلاع لهب مستمر.

الشكل 12-31:

أنابيب الغاز التي تعتمد على ضغط الغازات في موقع الطمر الصحي



على اليمين بئر لموقع مزود بغطاء يحوي بطانة غشاء أرضي، على اليسار بئر لموقع مزود بغطاء غير حاوي على بطانة غشاء أرضي.

ب- استخدام الخنادق المحيطية المعترضة:

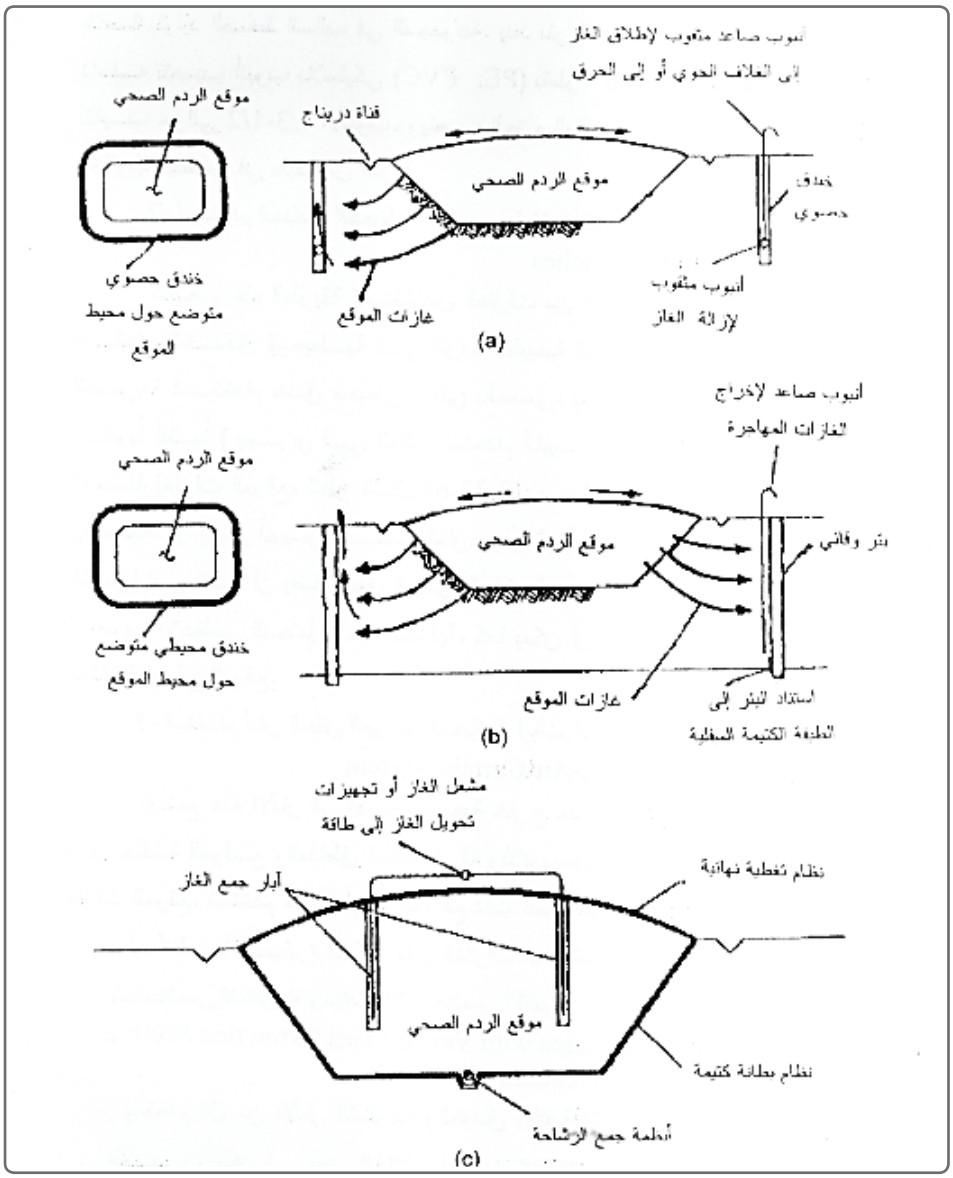
يتم في هذه الطريقة استخدام خندق محيطي ممتلئ بالحصى يحتوي في داخله على أنبوب بلاستيكي صاعد مثقب أفقياً يعترض الحركة الجانبية المحتملة لغازات الموقع، كما في الشكل (12-32-أ).

ج - استخدام الخنادق المحيطية الوقائية:

يتم في هذه الطريقة استخدام خندق محيطي ممتلئ بمواد غير منفذة نسبياً كالبانتونايت أو الطفل، وعندها سيقوم هذا الخندق بمنع التسربات الجانبية للغازات إلى المناطق المجاورة لموقع الطمر الصحي. تزال الغازات من الوجه الداخلي لخندق الوقاية بوساطة آبار استخراج الغاز أو خنادق من الحصى، كما في الشكل (12-32-ب).

الشكل 12-32:

نظم السيطرة الساكنة على غازات موقع الطمر الصحي للنفايات.



أ- الخنادق المحيطية المعترضة،

ب- الخنادق المحيطية الممتلئة،

ج- تكتيم السطوح الداخلية للموقع.

د - عزل الاسطح الداخلية لموقع الطمر الصحي:

يتم في هذه الطريقة السيطرة على حركة الغازات عبر التشكلات الترابية المجاورة من خلال العزل الجيد لقاعدة موقع الطمر وحوافه وذلك بإنشاء طبقة وقاية مكونة من ترب مواد، كما في الشكل (12-32-ج). وينتشر دمج إجراءات السيطرة على الغازات في هذه الطريقة مع اجراءات السيطرة على العصارة من خلال استخدام البطانات الحديثة الحاوية على الأغشية الأرضية، كما يجري استخدام أقنية جمع العصارة كأقنية لتجميع الغازات.

12-20-2- أنظمة السيطرة الفعالة على الغازات الناتجة عن مطامر النفايات

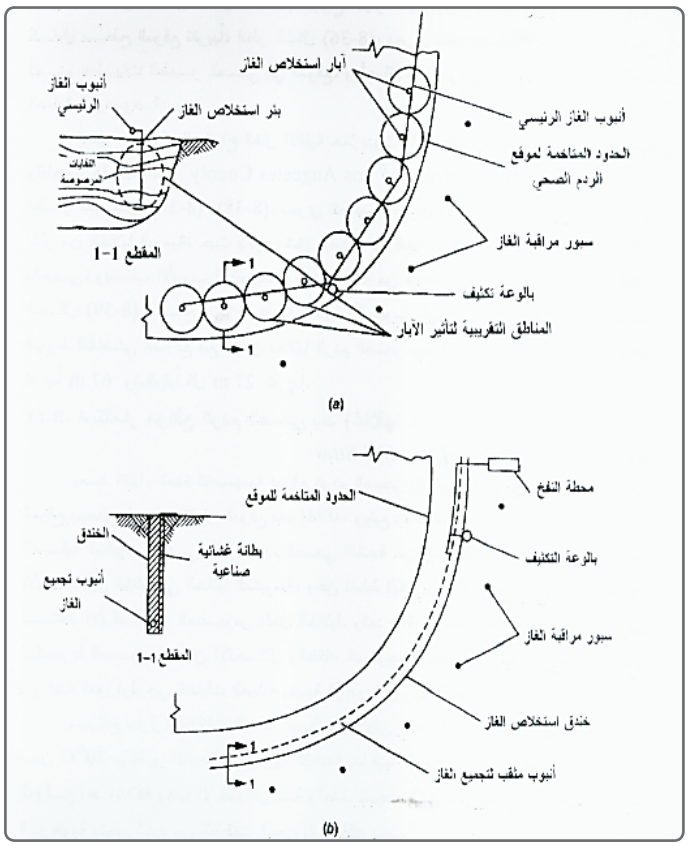
تكون السيطرة على الحركة الجانبية للغازات المتشكلة باستخدام آبار وخنادق محيطية لاستخلاص الغاز تعمل تحت تأثير ضغط انفراغي. ويجري عادة استخدام كثير من طرق السيطرة الفعالة على الغازات نذكر منها:

أ- استخدام الآبار المحيطية لاستخلاص الغازات:

تستخدم هذه الطريقة لاستخلاص الغازات، وللسيطرة على الروائح المنبعثة من المواقع ذات العمق الذي يزيد عن 8 متر، والتي يكون فيها بعد الموقع عن الأنشطة الحضرية صغيراً نسبياً. يتكون هذا النظام من مجموعة آبار عمودية موجودة في النفايات الصلبة على طول حافة موقع الطمر الصحي، أوفي التربة الطبيعية في مناطق بين حافة الموقع والمناطق المتاخمة له، كما في الشكل (12-33)

الشكل 12-33 :

أنظمة التحكم الفعالة بالغازات المنطلقة من مواقع الطمر الصحي.

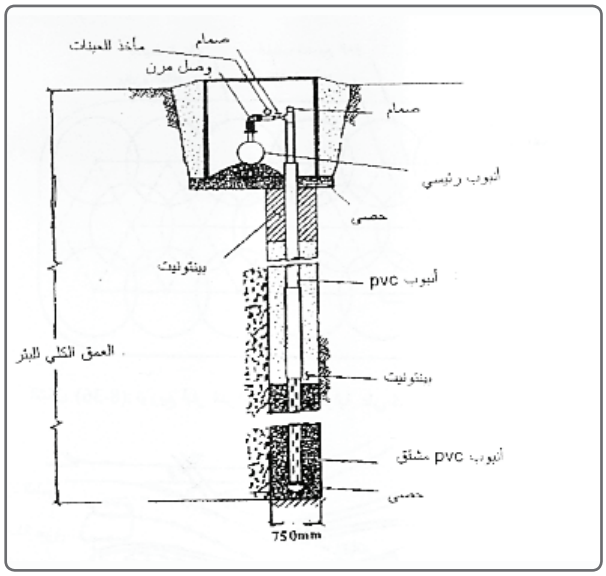


-باستخدام الآبار المحيطية ب-باستخدام الخنادق المحيطي.

توصل آبار الاستخلاص إلى أنبوب رئيسي، يتصل بدوره مع أجهزة كهربائية خاصة بتوليد ضغط انفراغي في المجموعة. تنفذ آبار الاستخلاص بقطر من 90- 45 سم، يتم نصب أنبوب بلاستيكي داخل كل بئر، قطر الأنبوب من (10-15) سم، تكون الأنابيب مثقبة في الجزء السفلى منها والموجود في طبقة حصوية، أما الجزء العلوي من الأنبوب فيكون غير مثقب وموجود ضمن طبقة من التربة، كما في الشكل (12-34)

الشكل -12-34:

تفصيلة بئر استخلاص غازات موقع طمر صحي.



ب- استخدام الخنادق المحيطية لاستخلاص الغازات:

تستخدم هذه الطريقة لاستخلاص الغازات المنبعثة من المواقع ذات العمق الذي يقل عن 8 متر، وتنفذ الخنادق المحيطية في التربة الطبيعية المجاورة لمحيط الموقع، بملء الخندق المحيطي بالحصى، ويوضع داخل الخندق أنبوب بلاستيكي مثقوب أفقياً يعترض الحركة الجانبية المحتملة لغازات الموقع، انظر الشكل (12-32-ب)، يوصل الأنبوب الأفقي إلى مجمعات رئيسية، أو إلى أجهزة سحب الغاز، ومن ثم إلى أجهزة التخلص أو الاستفادة من هذه الغازات. يمكن أن يصل عمق الخندق المحيطي إلى عمق النفايات في الموقع أو إلى المنسوب الأعظمي المحتمل للمياه الجوفية، كما يمكن أن يوصل الخندق في أعلاه مع البطانة الغشائية لسطح الموقع.

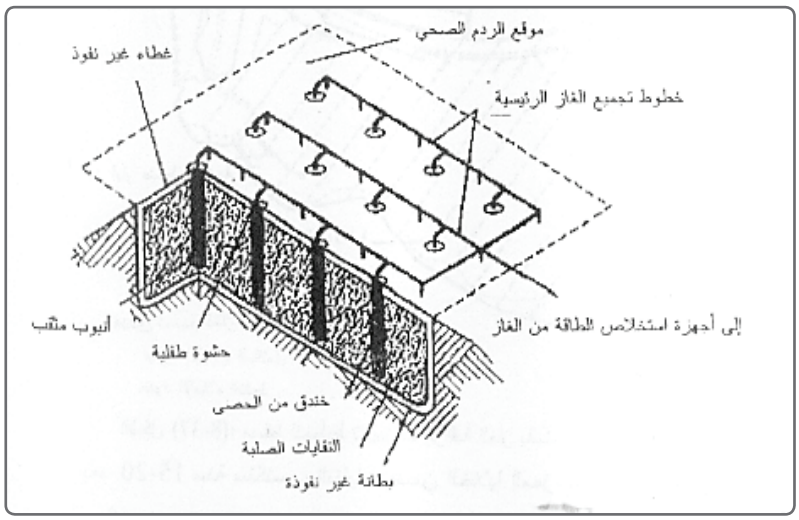
ج- استخدام آبار الاستخلاص العمودية وخنادق الاستخلاص الأفقية:

يستخدم كل من الآبار العمودية والخنادق الأفقية لاستخلاص الغازات من داخل موقع الطمر الصحي، ويمكن في بعض الحالات استخدام النوعين معاً في نظام واحد.

ينتشر استخدام آبار الاستخلاص العمودية في حالات الرغبة باسترجاع الغاز الحيوي والاستفادة من عناصره، انظر الشكل (12-35).

الشكل-12-35 :

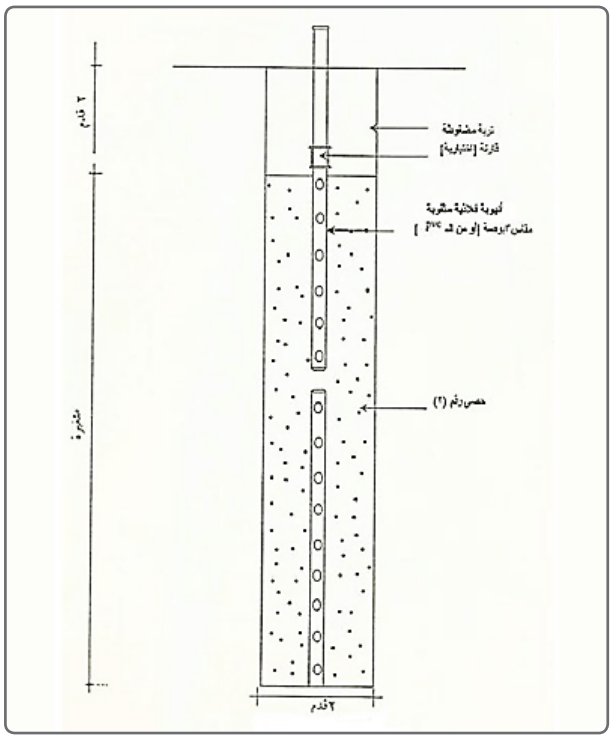
الآبار الشاقولية لاستخلاص الغاز من المطمر.



عند البدء بتصميم المقلب يتم وضع مخطط لآبار الغاز بحيث تخدم الآبار دوائر قطرها من 40 إلى 70 متر وتوزع الآبار بشكل متقاطع وبحيث تتقاطع دوائر التغطية للآبار لتغطي الآبار كل مساحة المطمر. تبدأ آبار الغاز العمودية من قاعدة المطمر وتستمر مع الطبقات المتتالية حتى طبقة التغطية النهائية للمطمر وتؤسس الآبار بوضع مواسير بلاستيك من مادة PVC مخرمة لتصريف الغاز بقطر (75 - 100ملم)، كما في الشكل (12-36) محاطة بأسطوانة من الحصى نصف قطرها (0.3-0.5 م) ومحاطة بشبك ليعمل على تماسك الحصى مع عدم استخدام الإسمنت وذلك لضمان مرور الغاز، وتنتهي فوهة البئر بغطاء من الإسمنت أو مادة مشابهة لمنع تسرب تربة التغطية إلى داخل البئر، وقبل بدء عملية طمر النفايات يتم وضع طبقة اسمنتية عند قاعدة الماسورة لتثبيتها تحت قاعدة الخلية، مع مراعاة أن لايقل ارتفاع الماسورة عن متر واحد من سطح الطبقة المؤقتة وذلك للاستفادة منها عند عمل طبقة جديدة، وهكذا بالنسبة لبقية الخلايا.

الشكل 12-36:

طريقة تنفيذ الآبار العمودية لاستخلاص الغاز من المطمر.

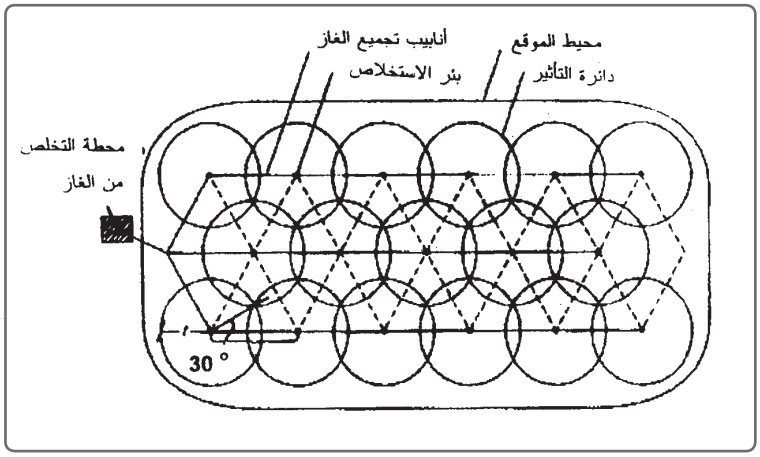


في حالة المطامر التي بدأ فيها الطمر دون تأسيس آبار، يتم حفر عدد من الآبار في الخلايا المقفلة، وتُوضع بها مواسير لسحب الغاز، مع قفل منطقة الحفر بإحكام لمنع تسرب الغاز منها. وبعد استكمال آبار الغاز يتم ربط ببعض بشبكة أفقية من مواسير البلاستيك أو الحديد المجلفن بخطوط فرعية بقطر (75ملم)، وتربط بخط رئيسي بقطر (150 ملم) ينتهي بمضخة لسحب الغاز موصولة بمشعلة لحرق الغاز الناتج من الاحتباس، ويفضل تغطية شبكة الأنابيب بطبقة من الرمل لحمايتها من الصدمات والعوامل الجوية.

وتوزع الآبار العمودية على الموقع بحيث يغطي مجال تأثيرها كامل سطح الموقع تقريباً، كما في الشكل أدناه.

الشكل 12-37:

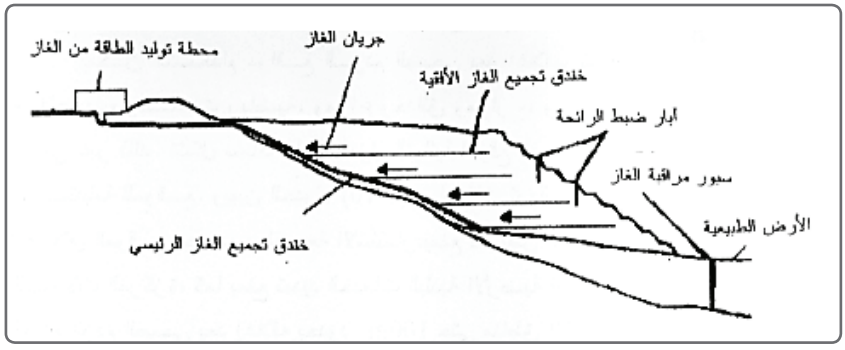
توزع الآبار العمودية على موقع المطمر ليغطي مجال تأثيرها كامل سطح الموقع.



تعد الخنادق الأفقية لانتزاع الغاز حلاً بديلاً للآبار الشاقولية، كما في الشكل أدناه.

الشكل 12-38:

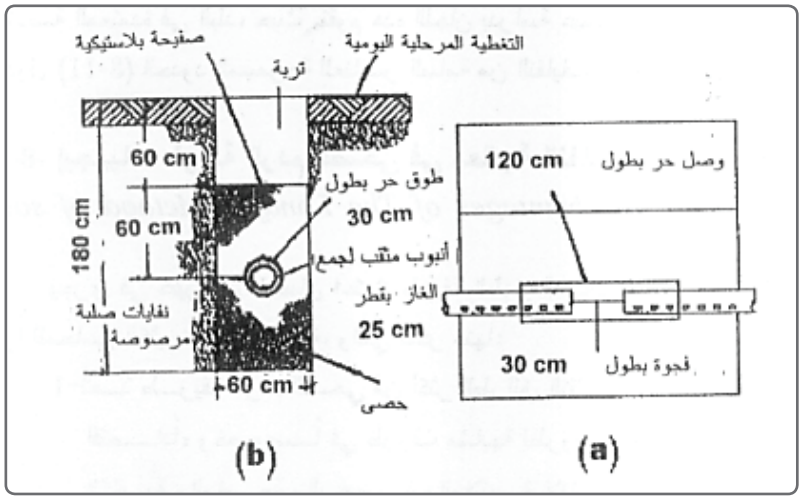
مقطع جانبي يظهر خنادق تجميع الغاز الأفقية.



ويتم تنصيب الخنادق الأفقية عادة بعد إتمام نطاقين أو اكثر من الخلايا اليومية، حيث يجري شق الخندق في النفايات المرصوصة ثم يملأ حتى ثلثه بالحصى وينصب الأنبوب المثقوب، ثم يردم بطبقة من الحصى، ثم بأخرى من التربة، كما في الشكل (12-39).

الشكل 12-39:

تفاصيل الخنادق الأفقية لاستخلاص الغاز.



(a) مقطع عرضي في الخندق (b) منظر جانبي للخندق.

تسمح حرية حركة الأنبوب المثقوب باستمرارية عمله حتى في حالات الهبوط التفاضلي المتوقع مع الزمن لخلايا الطمر الصحي. يجري شق الخنادق الأفقية أفقياً كل 67 متر وعموديا كل 27 متر تقريباً.

ويمكن تحديد كمية الغاز الناتجة في مطامر النفايات الصلبة من العلاقة (12-5)

$$k\times t\text{-}Qa.t = 1.868 \times M \times TC \times fAO \times fA \times f0 \times fs \times k \times e$$

حيث إن:

$Qa.t$: الكميات الفعلية لغاز المطامر الناتج (م ^{3} / سنة)

M: كمية النفايات في المطمر (م ^{3})

TC: متوسط محتوى الكربون في النفايات (كيلو جرام/ م ^{3} النفايات)

fAO: عامل ابتداء الوقت (يعبر عن خسائر الكربون من عمليات الاستقلاب الهوائي 08 ... 09)

fA: عامل تدهور (بالنسبة لأجزاء من المواد العضوية غير القابلة للتحلل 06 ... 09)

F0: عامل الأمثل (ما يخص الآثار من تشغيل المطمر 06 ..... 07)

Fs: عامل يتعلق بالأجزاء غير القابلة للاسترداد من غاز المطمر بواسطة نظام تنفيس الغاز (03 ... 09)

k: ثابت نضوب الغاز ($k = \ln 0,5 \times T1/2$)

T1/2: وقت النضوب ل 50% من كمية الكربون

مثال (12-1):

بلدة عدد سكانها 30000 نسمة، يخلف الفرد الواحد 0,8كغ/اليوم من الفضلات البلدية غير القابلة للاسترجاع. يراد انشاء مطمر كثيف مع رص للفضلات بحيث ينخفض حجم الفضلات إلى النصف فإذا كانت الكتلة الحجمية للفضلات قبل الرص 250 كغ/م^3. وعدد طبقات الفضلات في المطمر ثلاثةسمك الواحدة منها 1،6م بعد الرص ويفصل كل طبقتين متتاليتين من الفضلات طبقة تغطية بسمك 0,3م بينما سمك طبقة التغطية السطحية 0,9 م. والمطلوب :

1. أحسب مساحة المطمر اللازمة لاستيعاب فضلات البلدة لمدة عشرة أعوام

2. إذا ضبطت جميع العوامل المؤثرة على فعالية الهضم اللاهوائي للفضلات بحيث تكون نسبة غاز الميثان في الغاز العضوي 70% فإذا علمت أن القدرة الكامنة الحرارية الدنيا للميثان تساوي 6500 كيلو كالوري /م^3. وبفرض أن حجم الغاز الحيوي الناتج سنويا عن الطن الواحد من الفضلات هو 6م^3. فاحسب الطاقة الكامنة السنوية في المطمر بعد عشرة أعوام من بدء استثماره .

الحـــل:

1 لنحسب كمية الفضلات الناتجة عن البلدة خلال العشرة أعوام بفرض أن عدد السكان يبقى ثابتا:

$$M = 0,8 \times 30000 \times 365 \times 10 = 8760000\ KG = 87600\ T$$

أما حجم الفضلات بادخال فعل الرص فيساوي:

$$V = \frac{87600000}{250 \times 2} = 175200\ m^3$$

فتكون مساحة المطمر اللازمة لاستيعاب هذه الفضلات:

$$A = \frac{175200}{1,6 \times 3} = 36500\ m^3$$

2 لنحسب حجم الغاز العضوي الناتج سنويا عن كتلة الفضلات المجمعة خلال العشرة أعوام:

$$V_1 = M \times 6 = 87600 \times 6 = 52600\ M^3 / Yar$$

بما أن نسبة غاز الميثان في الغاز العضوي % 70 فالقدرة الحرارية الدنيا للغاز الحيوي:

$$0,70 \times 6500 = 4550\ kcal / m3$$

فتكون الطاقة الكامنة السنوية في كتلة الفضلات في المقلب بعد عشرة أعوام من بدء استثماره.

$$525600 \times 4550 = 239,15 \times 107\ Kcal$$

12-21- تصميم نظام المراقبة البيئية : Design of environmental monitoring system

الهدف من نظام المراقبة البيئية هو معرفة فيما إذا كان المطمر يعمل وفقاً لتصميمه، ولضمان أنه يوافق المعايير البيئية المنظمة. ويتم مراقبة المطمر في أربع مناطق هي:

1- على المطمر وضمنه.

2- المنطقة تحت المطمر مباشرة (التربة غير المشبعة فوق المياه الجوفية).

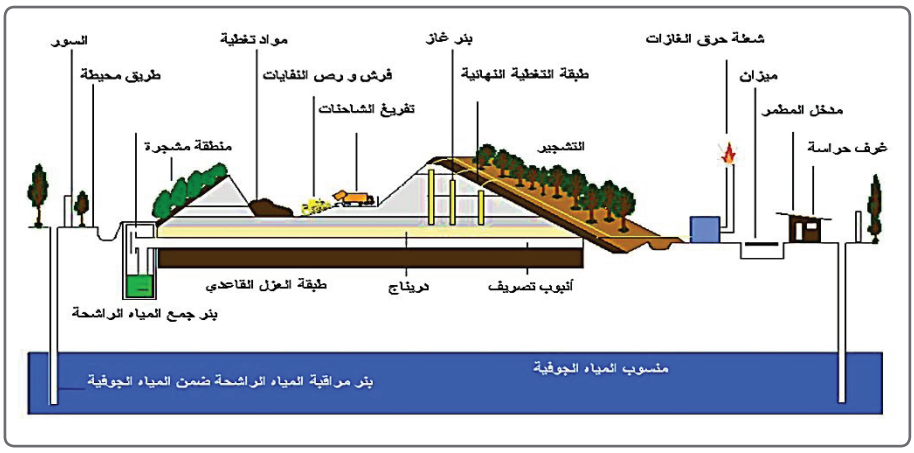
3- في منطقة المياه الجوفية تحت المطمر وحوله.

4- في الهواء المحلي فوق المطمر وحوله.

تتم عملية المراقبة من خلال أخذ عينات من المياه الجوفية والعصارة، والهواء، كما في الشكل (12-40) وتحليلها بشكل دوري، عادةً شهرياً خلال فترة الإنشاء وحتى أربع سنوات بعد إغلاق المطمر، ثم تصبح نصف سنوية بعدها. على الأقل يجب تأمين أربع مجموعات من آبار المراقبة للمياه الجوفية حول المطمر.

الشكل 12-40:

مراقبة المياه الجوفية في منطقة المطمر عن طريق أبار خاصة



12-22- التكلفة الاقتصادية لموقع الطمر الصحي وتشغيله واستثماره:

تتعلق تكلفة الموقع بثمن شراء أرض الموقع (يُفضّل البحث عن أراض رخيصة أو تلك التي تحتاج إلى استصلاح)، ونشير أنه ليس مؤكداً أن يكون الموقع الأرخص هو الأفضل، وهذا يتعلق بتحضيرات الموقع (تصميم وحفر وبناء وردم وطرق وشبكات مياه وصرف صحي وكهرباء وآلات ونقل... إلخ)، فقد يكون الموقع الأقرب يحتاج لعدة شروط لحماية البيئة المحيطة، وحماية المياه السطحية والجوفية، وكذلك من ضمن التكلفة تحسب أجور العمال ونفقات التشغيل للموقع وتنظيمه وتطويره كي يلائم الطمر، ويدخل ثمن مبيع الأرض بعد إغلاق الموقع أو استثماره (كملاعب بمختلف أشكالها، وحدائق، ومنتزهات، واستراحات... إلخ) بالحساب، فكلما كان الموقع جيد واستثماره مرغوب تقل التكلفة الاقتصادية الكلية للموقع.

وعلى أية حال يتم حساب الجدوى من اختيار الموقع من جميع النواحي الهندسية والبيئية والصحية والاقتصادية والاجتماعية. وعندما تُقدر جميع نفقات التكلفة وايرادات الاستثمار بشكل أولي يتم اختيار الموقع المناسب، لكن التكلفة النهائية للموقع فتُقدر بعد مضي فترة على إنهائه.

وبشكل عام تُعد تكاليف الطمر الصحي من أرخص عمليات التخلص من النفايات البلدية باستثناء قيمة الأرض.

12-23- تأهيل مكبات النفايات:

المقصود بتأهيل مكبات/ مطامر النفايات هو التخلص من الأخطار والسلبيات الناتجة عن مناطق الرمي العشوائي، وتحويل الموقع إلى مكان محمي بيئياً، مع إمكانية الاستفادة منه في متابعة طمر النفايات بشكل صحي، أو استخدام الموقع لأغراض أخرى.

12-23-1- أسباب تأهيل المطامر العشوائية :

هناك ثلاثة أسباب استراتيجية رئيسية لعمليات تأهيل المطامر:

- الاستفادة من المواد المستخرجة لإعادة التدوير
- الاستفادة من المواد المستخرجة لإنتاج الطاقة
- استصلاح الأراضي

قد يكون لكل من هذه الأسباب مبررات مستقلة لتأهيل المطامر ولكن يمكن أيضا أن تكون مجتمعة لتحقيق منافع أوسع وزيادة فرص تأهيل المطامر، ولا بد من أخذ الفوائد الناجمة عن حماية مصادر الموارد بعين الاعتبار.

12-23-2-منهجية تأهيل مطامر النفايات العشوائية :

1. **تقدير الخطر البيئي** يتم حسب نوع وكمية النفايات المتواجدة في المطمر وتسرب السوائل للمياه الجوفية أو لمناطق مياه الشرب.
2. **هل تتواجد النفايات الخطرة** مثل الزيوت، الدهان، المواد الكيماوية
3. **تقدير حجم ونوع الأعمال:** تشمل دراسة شاملة للمطمر بالكامل وللمنطقة المحيطة، وينصح في هذه المرحلة بالخطوات التالية:

- **دراسة الموقع وجمع المعلومات** حول المواد الموجودة في المطمر.
- **دراسة الطبقات الجيولوجية للموقع** في حال وجود خطر تسرب العصارة للمياه الجوفية.
- **تعيين و فصل المواد الخطرة** والتخلص منها في مواقع خاصة.
- **تسوية الطبقة السطحية** حسب الشكل الطبوغرافي للمنطقة.
- **تغطية الموقع بالمواد اللازمة وبالتربة.**
- **تحضير الموقع للزراعة**، زراعة الموقع بنباتات مناسبة للمنطقة.
- **إجراء الصيانات الدورية.**
- **عزل المنطقة بسور.**

- **تحليل التربة، رفع ونقل المواد:** تشمل دراسة الموقع وتركيب النفايات الموجودة، تجميع وفصل النفايات غير المرغوب فيها.
- **فصل وجمع الغاز والعصارة:** قد يصعب تجهيز شبكة جمع عصارة سفلية، فيتم عندها جمع العصارة من أطراف المطمر.
- **تغطية المطمر:** اختيار نوع التغطية حسب طبيعة المنطقة ونوع النفايات المطمورة ونسبة هطول الأمطار.
- **التغطية بالتربة:** بعد تسوية الموقع وإعطائه الشكل المناسب للمنطقة يتم التغطية بالتربة المناسبة للزراعة في المنطقة وفق سمك مناسب لنوع المزروعات والغرض من التغطية.
- **زراعة السطح الخارجي للمطمر:** وذلك لمنع عمليات جرف التربة وتحسين الشكل العام، وذلك بنباتات محلية مناسبة للمنطقة.
- **المراقبة والتقرير:** تتم المراقبة وتقديم التقارير اللازمة أثناء التنفيذ، وبعد انتهاء العمل.

12-23-3- المراحل الأساسية لتأهيل المطامر العشوائية للنفايات:

لتأهيل وترقية مطمر عشوائي مكشوف إلى مطمر صحي للنفايات، يجب النظر في ثلاثة أشياء مهمة في جوانب السيطرة. هذه الجوانب الثلاثة هي النفايات، والغازات والمياه، والوصول. وتعد السيطرة المناسبة على هذه الجوانب أمر لا بد منه لإنشاء وتشغيل منشأة التخلص من النفايات كمطمر صحي للنفايات.

يمكن السيطرة على النفايات عن طريق إنشاء حدود فيزيائية تماماً لاحتواء النفايات بأمان وبطريقة منظمة. النفايات المرمية يجب تغطيتها بالتربة أو غيرها من المواد المناسبة للقضاء على تكاثر الذباب وانبعاثات الروائح من النفايات.

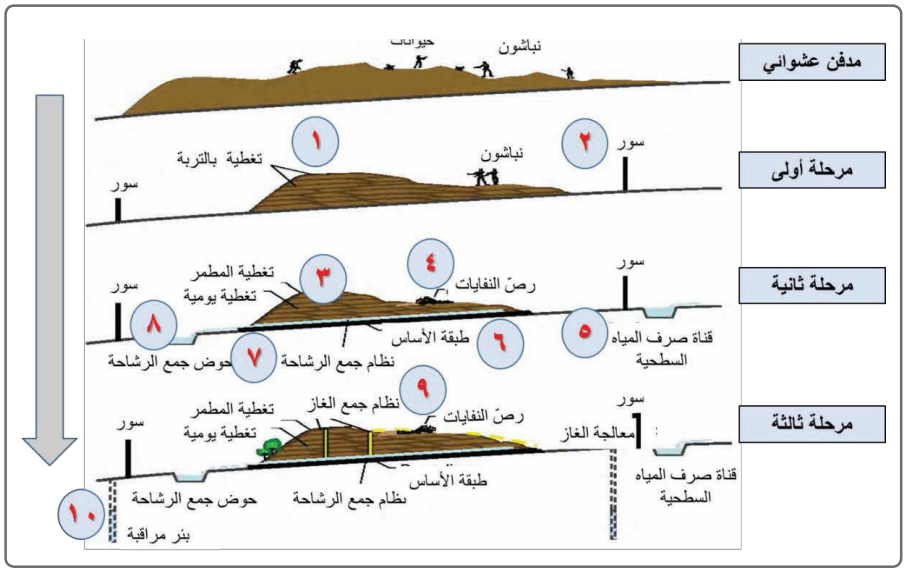
ويلزم التحكم في عصارة النفايات والغازات الناتجة عن التحلل الحيوي لأن بعض هذه الغازات قد تسبب حرائق و/أو انفجارات في مطامر النفايات. يجب التحكم في غازات طمر النفايات لمنع الحركة غير المرغوب فيها إلى داخل بحيث يمكن تجنب أي حوادث.

يهدف التحكم في المياه إلى هدفين، أحدهما للمياه السطحية والآخر للعصارة. يمكن أن يمنع التحكم في المياه السطحية والعواصف المياه من دخول مطمر النفايات، ونتيجة لذلك يساهم في تقليل كمية العصارة.

يجب ملاحظة تسلسل الأعمال منعا من حدوث تخريب لاحق لها لتنفيذ عمل يتطلب سبقا للعمل الآخر، كما يظهر في الشكل (12-41)[127].

الشكل 12-41:

مراحل تأهيل المكبات العشوائية للنفايات .



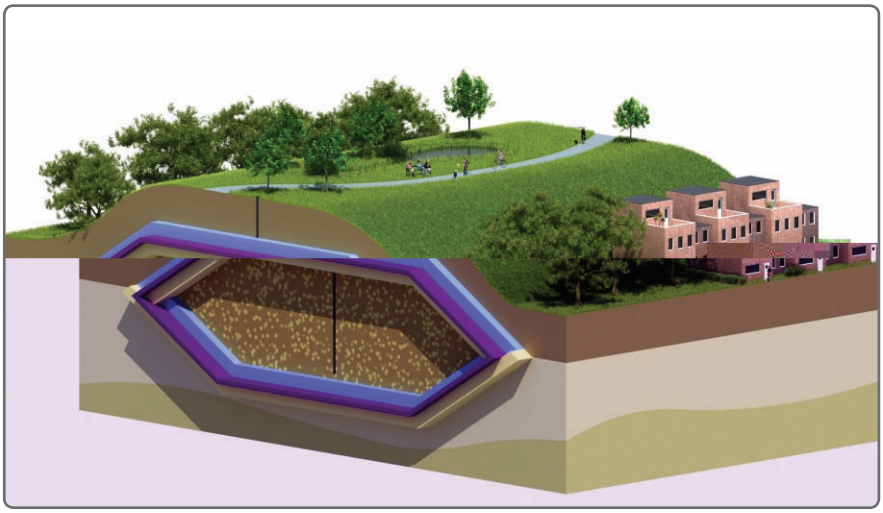
12-24- خطة إغلاق المطمر: (Closure plan)

تتضمن خطة إغلاق المطمر المكونات الآتية:

- خطة تشجير لتثبيت طبقة التغطية النهائية للمطمر، كما في الشكل (12-42).
- خطة لإدارة المياه السطحية ومياه الأمطار فوق المطمر بنظام تصريف فعال.
- خطة تفتيش وصيانة لغطاء المطمر والتجهيزات حوله.

الشكل 12-42:

التشجير لتثبيت طبقة التغطية النهائية للمطمر.



12-25- تحديد استعمال المطمر بعد إغلاقه:

يمكن الاستفادة من مكان المطمر الصحي بعد إغلاقه كمنتزه عام أو ملعب أو مخيمات واستراحات، وحدائق، وقد يسمح ببعض المزروعات الخفيفة التي تمكن من تثبيت التربة، لكن يجب الحصول على موافقة لجان الصحة المختصة المعتمدة محلياً، حيث تقوم هذه اللجان بدراسة عينات التربة للموقع لتحديد تراكيز العناصر السامة من النفايات الصلبة في التربة. وإذا كانت التربة تتحمل زراعة أشجار حراجية فيسمح بزراعتها، وذلك حسب سمك طبقة النفايات المكبوسة، و سمك طبقة التغطية النهائية للمطمر الصحي

يؤثر تحديد نوعية استعمال المطمر بعد إغلاقه في التصميم الهندسي للمطمر وطريقة تشغيله. كما يتطلّب ذلك مراقبة الانبعاثات الغازية بشكل مستمر، وإنشاء نظام تحكم في هذه الانبعاثات، والتحكم في انسياب مياه الأمطار بعيداً عن المطمر، ومراقبة والتحكم في هبوط الأرض.

يجب ألاّ تقل بداية استثمار الموقع بعد إغلاقه عن سنة واحدة، حيث إن

حرارة النفايات الصلبة ترتفع في السنة الأولى نتيجة العمليات البيوحرارية إلى أكثر من 30 درجة مئوية، وتظهر الانبعاثات الغازية الشديدة بما فيها الميثان. يجب أن يتم ترطيب المطمر في الأوقات الجافة من السنة وذلك للمساعدة على إتمام عمليات التحلل للنفايات الصلبة، حيث إن النفايات الصلبة تسحب الرطوبة بشكل كبير من الطبقات المعزولة بمدة من ثلاث إلى خمس سنوات. بعد 15-20 سنة ستكتسب النفايات ضمن الخلايا المعزولة التي تقع على عمق 1-2 متر خواص الترب الزراعية، وخلال هذه الفترة لم يثبت تحلل المواد العضوية الحاوية على السيللوز (ورق، قماش) والمواد البلاستيكية والمطاط، أمّا بالنسبة للخلايا العميقة فإن التحلل الكامل للنفايات والورق قد يستمر من (50-100) سنة، وبالتالي يستمر إطلاق غازات التحلل اللاهوائي لأوقات طويلة بعد إغلاق الموقع.

يخضع الموقع لمراقبة مستمرة بعد إغلاقه، وعادة يتم ملء أماكن الهبوط عند حدوثها بالتربة الزراعية، ومن خلال الدراسات التي تمت على مواقع مختلفة تبين أن 90% من حالات الهبوط التي حدثت لموقع الطمر الصحي تمت خلال السنوات الخمس الأولى من إغلاق المطمر. وتُجرى الدراسة على حالات الهبوط المتوقعة لمنسوب سطح موقع الطمر الصحي قبل التفكير بعمليات استثماره، ويرتبط الهبوط المتوقع بدرجة الرص الابتدائية لخلايا النفايات الصلبة، وبنوع هذه النفايات وخواصها، وبالعمق أو الارتفاع الكلي لخلايا الطمر الصحي.

لايُسمح بتَعريض مواقع الطمر الصحي لحمولات مركزة كبيرة بعد إغلاقه، كما يمنع تمديد البنى التحتية الأرضية فيها (شبكات المياه والصرف الصحي والهاتف والكهرباء).

12-26- إيجابيات الطمر الصحي و سلبياته:

لمعالجة النفايات بطريقة الطمر الصحي محاسن ومساوئ:

أ- إيجابيات الطمر الصحي:

1- قلة التكلفة الاقتصادية في حال توفر الأرض وبكلفة مناسبة، حيث أن كلفة الإنشاء والتشغيل منخفضة مقارنة مع الطرق الأخرى.

2- إمكانية استيعاب كميات هائلة من النفايات الصلبة، في حال عدم الحاجة لفرز النفايات بغرض تخفيف حجمها.

3- سهولة تطبيق هذه الطريقة نظراً لأنها لا تحتاج إلى تقنية عالية.

4- تعد هذه الطريقة مكملة للطرق الحديثة الأخرى (الحرق، التحلل الحراري، التحلل الحيوي) والتي ينتج عنها مواد غير قابلة للمعالجة والتي لا بد من التخلص منها.

5- إمكانية إعادة زراعة المنطقة بالأشجار الحراجية.

6- إمكانية الاستفادة من غاز الميثان في موقع الطمر الصحي.

7- تعد طريقة مناسبة جداً لدول تمتاز بمناخ شبه صحراوي، ووجود اراضي غير صالحة للزراعة أو الرعي.

ب- سلبيات عقبات الطمر الصحي:

توجد بعض السلبيات لهذه الطريقة والتي يمكن تجنبها، أو تقليلها إلى الحد الأدنى عند تطبيق طريقة الطمر الصحي حسب المواصفات العلمية واختيار الموقع المناسب، **ذلك بعد دراسة الآثار البيئية المحتملة ومنها ما يلي:**

1- تسرب الغازات الملوثة للهواء وإمكانية حدوث فجوات في مواضع الطمر الصحي، ومن أهم الملوثات الهوائية الناتجة عن مواقع طمر النفايات الصلبة هي غاز الميثان (CH_4) الذي يمكن أن ينتشر حتى بعد إغلاق الموقع بسنين طويلة، والغبار الذي يمكن أن يحمل المواد الكيماوية السامة وخصوصاً عند هبوب الرياح القوية إلى مسافات بعيدة.

2- احتمالية تلوث مصادر المياه بالعصارة الناتجة عن مواقع طمر النفايات .

3- زيادة التكلفة للمطمر الصحي مع الزمن بسبب متطلبات قوانين السيطرة البيئية المتزايدة، وبسبب ارتفاع أسعار بعض الأراضي.

4- إعتراض السكان القريبين من مواقع الطمر الصحي على إقامة هذه

المشاريع لِما لها من مشاكل مرتبطة بالضجيج والغبار والنفايات المتطايرة والروائح الكريهة وغيرها.

5- ضرورة المراقبة والإصلاح المستمرين لموقع الطمر حتى بعد إغلاقه بسنوات طويلة، نتيجة حالات الهبوط الممكنة في الموقع.

6- تعارض بعض مواقع الطمر الصحي مع خطة التوسع العمراني للمناطق السكنية.

7- ضرورة التقيد بتنفيذ عملية الطمر الصحي بمقاييسه الدقيقة، حتى لا تتحول عملية الطمر إلى مكب مكشوف.

الفصل الثالث عشر

إدارة النفايات الطبيـة

قدرت منظمة الصحة العالمية (WHO) بـأن هناك فـي كُلّ عام حوالـي 8 إلـى 16 مليـون حالـة جديدة مِنْ التهابِ الكبد الوبائي الفيروسـي النـوع HBV، و2.3 إلى4.7 مليون مِنْ حالاتِ التهابِ الكبـد الوبائي الفيروسـي النوع HCV . 80 ألـف إلـى 160 ألف مِنْ حالاتِ نقص المناعة المكتسب الفيروسـي HIV (الايـدز) بسـبب حُقَـنِ خطـرةِ، وفـي الغالـب بسبب أنظمةِ إدارةِ نفايات طبية سيّئةِ جداً.

تصبـح النفايـات الطبيـة بعـد المعالجـة الحراريـة الرطبـة (التعقيـم بالاوتوكلاف) نفايات غيـر خطـرة، ويمكـن التخلـص منها في مواقع الطمر.

13-1- المقدمـــة:

النفايات الطبية هي النفايات التي تنتج عن عمل المشافي والمراكز الطبية والعيادات والمختبرات والمعالجات المنزلية والأدوية منتهية الصلاحية، سواء المتعلقة بالإنسان أو الحيوان، ويحتمل أن تحمل عوامل جرثومية معدية أو كيميائية أو إشعاعية، يشمل ذلك إجراءات التعليم والبحوث المتعلقة بها.

تعتبر النفايات الطبية جزءاً من النفايات الخطرة، وذلك بسبب أثارها السلبية على العاملين في المؤسسات الصحية والمجتمع والصحة العامة إن لم تتم إداراتها بشكل سليم. قدرت منظمة الصحة العالمية بأن هناك كُلّ سَنَة حوالي 8 إلى 16 مليون حالة جديدة مِنْ التهابِ الكبد الوبائي لفيروسي النوع (HBV) و2.3 إلى 4.7 مليون مِنْ حالاتِ التهابِ الكبد الوبائي الفيروسي النوع (HCV) و80,000 إلى 160,000 مِنْ حالاتِ نقص المناعة المكتسب الفيروسي (HIV) (الايدز) بسبب حُقَنِ خطرةِ وفي الغالب بسبب أنظمةِ إدارةِ نفايات طبية سيّئةِ جداً[128].

13-2- أنواع النفايات الطبية

تصنف بشكل عام النفايات الطبية إلى فئتين رئيسيتين نفايات طبية خطرة ونفايات طبية عادية غير خطرة.

13-2-1- النفايات الطبية الخطرة:

وهي التي يمكن أن تحمل احتمال خطر حيوي/مكروبي أو كيميائي أو إشعاعي وهي تحتاج لإجراءات خاصة أثناء تداولها ومعالجتها والتخلص منها بشكل نهائي.
وهي سبعة أنواع:

- **النفايات الحيوية/المكروبية:** وهي النفايات التي من الممكن أن تحتوي على عوامل أحيائية ممرضة (جراثيم فيروسات طفيليات فطور.. الخ) وكمثال

عليها ضمادات الجروح والحروق ومزارع الجراثيم في المختبرات. والأجهزة والأدوات التي هي على تماس مع الدم و غيرها من سوائل الجسم.

- **النفايات الباثالوجية:** مثل الأعضاء البشرية المبتورة وأنسجة الجسم والأجنة الميتة وسوائل الجسم والدم وما شابهها التي تتطلب إجراءات خاصة.
- **النفايات الحادة الجارحة:** وهي الأشياء والأدوات التي يمكن أن تسبب وخزاً أو جرحاً في الجلد إذا لامسته مثل المشارط، وإبر المحاقن، ومجموعة السوائل الوريدية والزجاج المكسور وغيرها.

أما الأنواع الأخرى من النفايات الطبية الخطرة فهي النفايات الدوائية، والنفايات الكيميائية مثل مواد التصوير الشعاعي والمطهرات والمواد الكيميائية المخبرية، وحاويات الغازات المضغوطة مثل غازات التخدير وأكاسيد النتروجين والنوع الأخير من النفايات الطبية الخطرة فهو النفايات المشعة مثل النيوكليدات المستعملة في تشخيص الأورام وعلاجها وفي الأبحاث الطبية وغيرها.

13-2-2-النفايات الطبية غير الخطرة:

وهي التي لا يمكن أن تحمل احتمال خطر حيوي أو كيميائي أو إشعاعي. وهي تنتج عن مطابخ المؤسسات الصحية والأقسام الإدارية فيها. وينظر إليها على أنها نفايات عادية منزلية أو نفايات بلدية حيث تتم معالجتها والتخلص منها بنفس الطرق الخاصة بالنفايات المنزلية والبلدية.

13-3- مكونات وكميات النفايات الطبية

إن مكونات وكمية النفايات تختلف من مستشفى لآخر بل تختلف داخل المستشفى من قسم لآخر، فكمية ونوعية النفايات المتولدة في مشافي التوليد وأمراض النساء تختلف عن نفايات جراحة الفكين، كما أن النفايات داخل أقسام غسيل الكلى تختلف عن طبيعة وكمية النفايات المتولدة في أقسام الجراحة أو غرف العناية المركزة أو أقسام العزل... الخ. كما تتعلق كميات نفايات المشافي بمستوى الرعاية

الطبية بالإضافة إلى عوامل أخرى كعدد الأسرة الثابتة في المستشفي، متوسط مدة البقاء في المستشفى، نسبة الإشغال للأسرة ، فترة فراغ السرير.

لقد أجريت العديد من الدراسات حول النفايات الصلبة ومعدلات توليدها في المشافي، وتبين Moawad،1997 في دراسة أجريت في لبنان ان معدل إنتاج النفايات الصلبة هو 5.4 كغ/ سرير/ يوم، وان حوالي 19.5% من إجمالي تلك النفايات هي خليط من نفايات ملوثة وآلات حادة[129].

كما قام Coad. A, 1999 بإجراء دراسة في استراليا لحساب معدل تولد النفايات الصلبة في المشافي وبين أن معدل توليدها تراوح بين 2-2.5 كغم/ سرير/ يوم وان 15-25% منها كان معدياً[130]. كما قام الغويل[131] 2003 بدراسة النفايات الصلبة في مستشفيات بنغازي في ليبيا ووجد ان معدل تولد تلك النفايات هو 2.08 كغم/ سرير/ يوم وان 28.5% منها كان معديا. وأوضح الهاشمي، 2007 في دراسة أجريت في بغداد ان معدل إنتاج تلك النفايات تراوح من 0.32-1.68 كغم/ سرير/ يوم[132].

13-4- فرز وتعبئة النفايات الطبية عند المصدر:

إن عمليات الفرز وتحديد نوعية النفايات تساهم في التقليل من كمية النفايات الطبية وهي مفتاح الإدارة الفعالة لهذه النفايات. فالمناولة والمعالجة والتخلص المناسبين من النفايات حسب النوع يقلل التكاليف ويوفر حماية أكثر للصحة العامة. يجب أن يكون الفرز دائماً من مسؤولية منتج النفايات، وأن يتم في منطقة تكون أقرب ما يمكن من مكان تولد النفايات، وأن يحافظ عليه في مناطق التخزين وأثناء النقل.

إن الفرز أنسب طريقة لتعريف فئات نفايات الرعاية الصحية بتوزيع النفايات على أكياس بلاستيكية أو حاويات ذات الوان محددة.

13-5- تجميع وتخزين ونقل النفايات الطبية في الموقع:

تقع مسؤولية تجميع وتخزين ونقل النفايات الطبية من أماكن توليدها إلى

الأماكن المخصصة للتخزين (ريثما يتم ترحيلها من قبل الجهة الناقلة) على كاهل الجهة صاحبة الاختصاص في المنشأة المولدة لهذا النوع من النفايات.

أ- تجميع النفايات الطبية:

تجميع النفايات في القسم الذي أنتج هذا النوع من النفايات ويجب على كادر التمريض إغلاق الأكياس بإحكام عند امتلائها وتوضع حاويات الأدوات الحادة المغلقة بإحكام في كيس نفايات الرعاية الصحية المعدية ذي اللون الأصفر المزود ببطاقة بيان قبل نقلها من الجناح أو القسم المتولدة فيه.

ب- تخزين النفايات الطبية داخل الموقع:

يجب تحديد موقع لتخزين النفايات الطبية داخل المنشأة المولدة للنفايات الطبية، تجمع النفايات الخطرة من الحاويات الموجودة في الغرف وتوضع في حاوية كبيرة موجودة في نفس الطابق بانتظار ترحيلها إلى غرفة التخزين المركزية. تنطبق على هذه الحاوية الكبيرة نفس مواصفات الحاويات الأخرى للنفايات الطبية الخطرة.

تكون غرفة التخزين المركزية مغلقة ذات قفل ولا يسمح إلا للكادر المرخص له بالدخول إليها. وتوضع عليها علامة الخطر البيولوجي، وتكون بعيدة عن المطابخ وغرف المرضى ومستودعات الأغذية، وأرضيتها وجدرانها ملساء بهدف سهولة التنظيف، وتغطى كل الفتحات والبالوعات لمنع دخول الحشرات، وفيها ميزان لتحديد كمية النفايات، وفيها حاويات كبيرة لها غطاء، ومدة تخزين النفايات في فصل الشتاء 48 ساعة وفي فصل الصيف 24 ساعة، وإلا فيلزم تأمين وحدات تبريد خاصة لتجنب التحلل الحيوي للنفايات العضوية. ويمنع ضغط النفايات بالآلات.

ج- نقل النفايات الطبية داخل الموقع:

تنقل نفايات الرعاية الصحية داخل المشافي الكبيرة (من أماكن توليد النفايات

إلى اماكن تخزينها) بعربات ذات عجلات أو بواسطة الحاويات أو عربات اليد المجهزة بعجلات (التي لا تستخدم لأي غرض آخر) ويجب ان تستوفي المواصفات التالية:

- سهولة التحميل والتفريغ.
- عدم وجود أطراف حادة يمكن أن تسبب الضرر لأكياس النفايات أو الحاويات أثناء التحميل والتفريغ.
- سهولة التنظيف.
- أن تكون سليمة في نهاية عمليات النقل.
- يجب تنظيف وتطهير المركبات يومياً باستخدام المطهر المناسب وأن توضع كل أكياس النفايات المغلقة بإحكام في مواقعها.

د- نقل وترحيل النفايات الطبية خارج الموقع:

على الجهة الناقلة للنفايات الطبية الخطرة التقيد بالتعليمات ونظم التحكم الخاصة بنقل النفايات الخطرة من خلال تحديد نوع الحمولة ومسار خط المركبة الناقلة وتحيد جهتي المصدر والوجهة لهذه النفايات والاحتفاظ بسجلات الاستلام والتسليم لكامل الكمية المنقولة مع ذكر التواريخ و انواع المستندات.

وتقع على منتج النفايات الطبية الخطرة مسؤولية التغليف الآمن ووضع بطاقة البيان الملائمة على النفايات التي تنقل خارج الموقع وتحديد المكان المتجهة إليه. يجب أن يكون التغليف ووضع البطاقات طبقاً للأنظمة الوطنية التي تحكم نقل النفايات الخطرة.

يطلب من القائمين على نقل و ترحيل النفايات الطبية ما يلي:

أ- استخدام آليات نقل خاصة بالنفايات الطبية تحقق شروط السلامة والأمان.

ب- الاحتفاظ بسجل يتضمن نوعية وكمية النفايات المستلمة من المنشأة الطبية والمسلمة إلى محطة المعالجة وساعة وتاريخ الاستلام والتسليم.

ولتحقيق وقاية عمال نقل النفايات يلزم تأمين ملابس وقائية خاصة لهم، وعلى العمال حمل كيس النفايات بالجزء الأعلى منه، وعدم مسك الكيس من الأسفل، و عدم ضم الأكياس المحتوية على النفايات إلى الجسم.

13-6- معالجة النفايات الطبية الخطرة:

المعالجة هي عملية مصممة لتغيير الصفة البيولوجية أو التركيب البيولوجي للنفايات الطبية، بغية تقليل أو القضاء على الكائنات الحية الممرضة بحيث لا تشكل هذه النفايات خطراً على الأشخاص الذين قد يتعرضون لها، وبعد إتمام عملية المعالجة بشكل صحيح، تصبح النفايات أو المخلفات الناتجة عنها شبيهة بالنفايات العادية ويمكن التخلص منها في مطمر صحي نظامي، وقد يستثنى من ذلك رماد المحارق الذي له صفات خطرة.

يتوفر خياران لمعالجة النفايات الطبية الناتجة عن المشافي، الخيار الأول هو المعالجة ضمن المشفى ذاته، أما الخيار الثاني فهو تطوير سياسة تشاركية على المستوى المحلي لمعالجة النفايات الطبية، حيث تنقل النفايات الطبية من المشافي ومؤسسات الرعاية الصحية الأخرى إلى مركز معالجة ينشأ بعيداً عن التجمعات السكنية مهمته معالجة النفايات الطبية. ولكل خيار من هذين الخيارين في معالجة النفايات الطبية ميزات و سلبيات.

13-6-1-مرافق معالجة النفايات الطبية لكل مشفى على حدا

تتصف معالجة النفايات الطبية لكل مشفى ضمن المشفى ذاته بالمزايا التالية:

- ملائمة لطبيعة نفايات المؤسسة الصحية.
- تخفض المخاطر التي قد تترافق مع نقل النفايات من المؤسسة الصحية إلى مركز المعالجة المركزي.

لكن يتصف هذا الخيار بالسلبيات التالية:

- الحاجة إلى كوادر فنية أكثر للتشغيل، وصعوبة نسبية في مراقبة الأداء مما قد يؤدي إلى ضعف معايير التشغيل ومن ثم زيادة تلوث البيئة والجوار،
- التسبب في مخاطر صحية جديدة على السكان المجاورين للمشفى.

13-6-2-مرافق معالجة على المستوى المحلي ضمن مركز متخصص

يتمتع هذا الخيار بالمزايا التالية:

- خدمة العديد من مؤسسات الرعاية الصحية الصغيرة منها والكبيرة.
- كفاءة تشغيل جيدة، وكفاءة اقتصادية أكثر للوحدات الكبيرة من حيث التكلفة والسعة.
- تكلفة أقل عند ضرورات التعديل أو التوسع مستقبلاً.
- أسهل للإشراف والمراقبة والمتابعة، ويلزمه موارد بشرية أقل من حيث العدد والوقت.

لكن يتصف هذا الخيار بالسلبيات التالية:

- أخطار صحية وبيئية قد تترافق مع نقل النفايات من المؤسسة الصحية إلى مركز المعالجة في حال عدم التقيد باشتراطات النقل الآمن.
- يحتاج للعديد من التقنيات لتلائم تنوع النفايات الواردة إليه بسبب تنوع مجال عمل المؤسسات الصحية.
- الحاجة إلى رأس مال كبير لتنفيذ المركز المتخصص لمعالجة النفايات الطبية.

13-6-3- تقنيات معالجة النفايات الطبية

تم تطوير طرق مختلفة لمعالجة النفايات الطبية ولكل منها مزايا ومواصفات خاصة بها، وعند اختيار طريقة المعالجة لابد من تقييم المخاطر النسبية إضافة إلى

التكامل مع الهيكل العام لاستراتيجية إدارة النفايات الطبية في ضوء الظروف المحلية.

يجب أن يتم الاختيار النهائي لنظام المعالجة بعناية بأخذ بعين الاعتبار عدد من المعايير:

- كفاءة المعالجة.
- الشروط الصحية والبيئية.
- تقليل حجم النفايات و كتلتها.
- شروط السلامة والصحة المهنية.
- كمية النفايات المطلوب معالجتها والتخلص منها/طاقة استيعاب نظام المعالجة.
- أنواع النفايات المطلوب معالجتها والتخلص منها.
- متطلبات البنية التحتية.
- خيارات المعالجة والتقنيات المحلية المتاحة.
- خيارات التخلص النهائي المتاحة.
- متطلبات التدريب لتشغيل الطريقة المختارة. اعتبارات التشغيل والصيانة.
- المساحات المتاحة.
- موقع منطقة المعالجة ومرفق التخلص والمنطقة المحيطة بهما.
- تكاليف الاستثمار والتشغيل.
- قبول عام.
- المتطلبات التنظيمية.

ومن أهم طرق معالجة النفايات الطبية:

أ- المعالجة الحرارية الرطبة (التعقيم بالاوتوكليف)

يقوم التطهير الحراري الرطب (بالبخار) على تعريض النفايات المعدية الممزقة لبخار ذي درجة حرارة وضغط مرتفعين. هذه العملية تثبط معظم أنواع الجراثيم إذا كانت درجة الحرارة وزمن التماس كافيين. وتحتاج الأبواغ الجرثومية إلى درجة حرارة 121درجة مئوية على الأقل حيث من المتوقع تثبيط نشاط 99.99% من الجراثيم.

تحتاج المعالجة الحرارية الرطبة إلى أن تكون النفايات ممزقة قبل المعالجة، ويوصى بطحن أو سحق الأدوات الحادة لزيادة كفاءة التطهير. هذه العملية غير ملائمة لمعالجة النفايات التشريحية وجثث الحيوانات، كما أنها لا تعالج النفايات الكيميائية أو الصيدلانية بكفاءة.

ب- التعقيم بأشعة المايكروويف

تحطم معظم الجراثيم بتأثير موجات المايكروويف ذات التردد 2450 ميجاهرتز وبطول موجي 12.24 سم. يتم تسخين الماء الموجود داخل النفايات بسرعة بواسطة موجات المايكروويف ويتم تدمير المكونات المعدية بالتوصيل الحراري.

في وحدة معالجة المايكروويف تنقل أداة التحميل النفايات إلى داخل جهاز التقطيع حيث تصبح قطعا صغيرة. وبعدها يتم ترطيب النفايات ونقلها إلى غرفة الأشعة المزودة بسلسلة من مولدات موجات المايكروييف، ثم يتم تعريضها للموجات لمدة 20 دقيقة. تضغط النفايات داخل الحاوية وتدخل ضمن مسار النفايات البلدية إلى المطمر المركزي.

يجب فحص كفاءة التطهير/ التعفيم للمايكروييف بشكل روتيني من خلال الاختبارات الجرثومية والفيروسية. حيث يوصى بإجراء اختبار جرثومي روتيني لإثبات انخفاض عدد الأبواغ الحية بنسبة 99.99%.

ج- الترميـــد

إن تقنية ترميد (حرق) النفايات الصلبة تعمل على تعقيم النفايات وتعتبر طريقة الترميد هامة للتخلص من النفايات الطبية الخطرة.

تعمل معظم مرمدات (محارق) النفايات على درجة حرارة ضمن المجال (980 إلى 1090) درجة مئوية، والتي تضمن الحرق الجيد، والتخلص من الروائح الكريهة، كما ويتضمن هذا المدى للحرارة حماية مواد البطانة الحرارية داخل حجرة الاحتراق.

ليست جميع أنواع النفايات الطبية قابلة للحرق، فمن تلك غير القابلة للحرق:

- عبوات الغاز المضغوط.
- الكميات الكبيرة من المواد الكيميائية.
- مواد التصوير والأشعة.
- النفايات الحاوية على معادن ثقيلة (مقياس الحرارة، بطاريات مستعملة).

د- الاحتواء والتغليف (الكبسلة)

إن التخلص من نفايات الطبية غير المعالجة في المطامر البلدية أقل ملاءمة مما إذا كانت معالجة أولية. وأحد خيارات المعالجة الأولية هو الاحتواء والتغليف التي تشمل تعبئة الحاويات بالنفايات، وإضافة مادة للتثبيت وإغلاق الحاويات بإحكام. تستخدم في هذه العملية إما صناديق مكعبة مصنوعة من البولي ايثيلين عالي الكثافة، أو براميل معدنية تملأ لثلاثة أرباع حجمها بالأدوات الحادة ومتبقيات المواد الكيميائية أو الصيدلانية. بعد ذلك يتم ملء الصناديق أو البراميل بمادة وسيطة مثل الرغوة البلاستيكية، أو الرمل البيتومينى، أو مونة الاسمنت، أو مادة طينية. يتم إغلاق الحاويات بإحكام بعد جفاف المادة الوسيطة، والتخلص منها في مواقع الطمر. وتعد هذه العملية رخيصة نسبياً وآمنة ومناسبة بشكل خاص

للمؤسسات التي تطبق برامج الحد الأدنى للتخلص من الأدوات الحادة ومتبقيات المواد الكيميائية أو الصيدلانية.

لا يُوصى بالاحتواء و التغليف المنفرد للنفايات المعدية غير الحادة، ولكن يمكن أن تستخدم بعد حرق هذه النفايات. ومن أهم مزايا هذه العملية أنها فعالة جداً في تقليل خطر الوصول المباشر إلى نفايات الرعاية الصحية الخطرة.

هـ- التخلص بالطمر الأرضي

من المقبول التخلص من بعض أنواع النفايات الطبية (النفايات المعدية والكميات الصغيرة من النفايات الصيدلانية) في المطمر الصحي، حيث أن الطمر الصحي يمنع تلوث التربة والمياه السطحية والمياه الجوفية ويحد من تلوث الهواء وانبعاث الروائح والتماس المباشر بالجمهور.

كما أن النفايات الطبية المعدية تصبح بعد المعالجة الحرارية الرطبة (التعقيم بالاوتوكلاف) نفايات غير خطرة، ويمكن التخلص منها في النهاية في مواقع الطمر. ومع ذلك فإن بعض أنواع النفايات الطبية (مثل نفايات التشريح) سيظل لها تأثير بصري كريه بعد التعقيم، وهذا غير مقبول. لذلك يجب جعل مثل هذه النفايات غير مميزة قبل التخلص منها، وفي حال لم يكن ذلك ممكناً فيجب وضع هذه النفايات في حاويات قبل التخلص منها.

الفصل الرابع عشر
إدارة النفايات الإلكترونية

تحتـوي النفايـات الإلكترونية على مـواد ضارة مثـل الزرنيـخ والكروم والزئبـق والنيـكل والبريليـوم والسـيلينيوم والكادميوم، فضلاً عن معـادن ثمينة ونـادرة، وكلها تتطلب عمليات معالجة متقدمة مـن أجـل اسـتعادتها وإعـادة تدويرهـا. ففي حين تعيد شـركة سـوني تدويـر ما يقـارب 53 % من إنتاجهـا، تقـوم شـركات أخـرى بإعادة تدوير ما نسبته 2 % أو أقل.

وهنـاك حوالـي 75 % مِـنْ المـوادِ الإلكترونيـةِ مَخْزُنـة بسـبب جهـل كيفيـة إدارتهـا، وتخَتلـطَ أحيانـاً بالنفاياتِ المنزلية التي يتم التخلص منهـا أخيـراً فـي المطامـر. وهـذا يَستوجبُ إجراءاتَ إداريةِ صارمة.

14-1- تعريف النفايات الإلكترونية

يطلق مصطلح النفايات الإلكترونية (E-WASTE) على جميع الأجهزة الكهربائية والقطع الإلكترونية (أجهزة كمبيوتر، هواتف محمولة، برادات، تلفزيونات...إلخ) تلك التي انتهى عمر تشغيلها الافتراضي، أو تعطلت لسبب ما، بحيث لا يمكن إعادة إصلاحها. ويمكن أن نطلق هذا المصطلح على كل جهاز تم استبداله بنسخة أحدث وأردنا التخلص منه.

14-2- مكونات النفايات الإلكترونية

تتكون النفايات الإلكترونية (E-WASTE) من مجموعة من المواد مثل النحاس والألومنيوم والزجاج الشفاف والبلاستيك والمطاط والمعادن الحديدية. وقد جاء في الملحق التاسع في اتفاقية بازل على أن النفايات الإلكترونية:

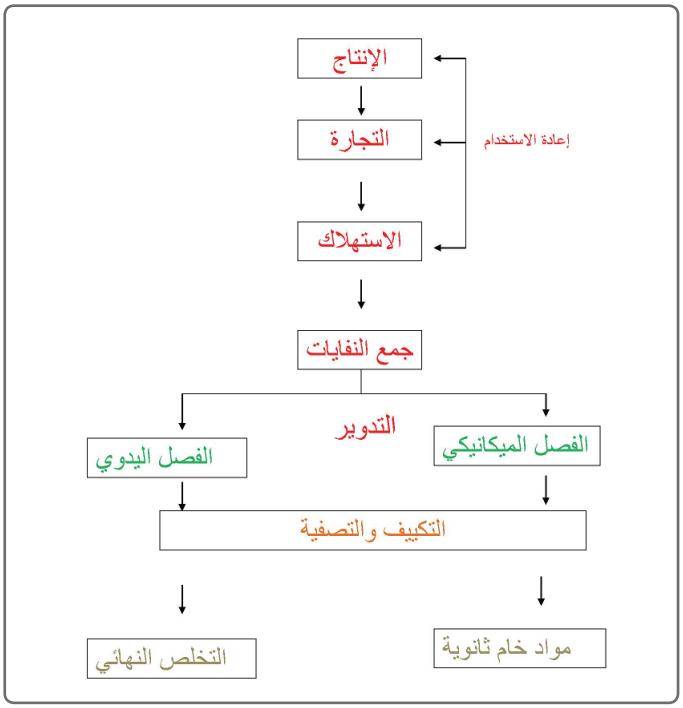
نفايات أو خردة بما في ذلك ألواح الدوائر الكهربائية المطبوعة (غير المشتملة على مكونات مثل أجهزة الشحن الكهربائي) والبطاريات، والمفاتيح ذات الموصلات الزئبقية والزجاج الناشئ من مصابيح الأشعة المهبطية، وأنواع أخرى من الزجاج المنشط، ومكثفات ثنائي الفينيل متعدد الكلور غير الملوثة بالمكونات مثل الكادميوم والزئبق والرصاص، أو ثنائي الفينيل متعدد الكلور أو ثنائي ايثرات الايثلين متعدد البروم. وتحتوي تراكيب كهربائية وإلكترونية بما في ذلك ألواح الدارات الكهربائية المطبوعة المعدة لإعادة الاستخدام (بصورة مباشرة)، وليس لإعادة التدوير أو التخلص منها بصورة نهائية. كما تحتوي النفايات الإلكترونية على مواد ضارة مثل الزرنيخ والكروم والزئبق والنيكل والبريليوم والسيلينيوم والكادميوم فضلاً عن معادن ثمينة ونادرة، وكلها تتطلب عمليات معالجة متقدمة من أجل استعادتها وإعادة تدويرها.

14-3- إدارة النفايات الإلكترونية

تشمل إدارة النفايات الإلكترونية عملية الجمع والنقل والفصل (اليدوي أو الميكانيكي أو كليهما)، كما يظهر في الشكل (14-1) ثم عملية المعالجة والتدوير أو الطمر أو الترميد.

الشكل 14-1:

مراحل إدارة النفايات الإلكترونية.



وكما هو الحال في إدارة النفايات الطبية من الضروري وفي جميع مراحل (الجمع – النقل – الفرز – المعالجة – التخلص والطمر) للنفايات الإلكترونية إنجاز التوثيق والوزن والتسجيل لمعرفة المصدر والوجهة لجميع هذه النفايات والحال الذي آلت إليه في كل مرحلة من مراحل توليد النفايات ابتداء من المنتج الجديد في الأسواق إلى التخلص النهائي في المطمر للنفايات المتولدة عن هذا المنتج.

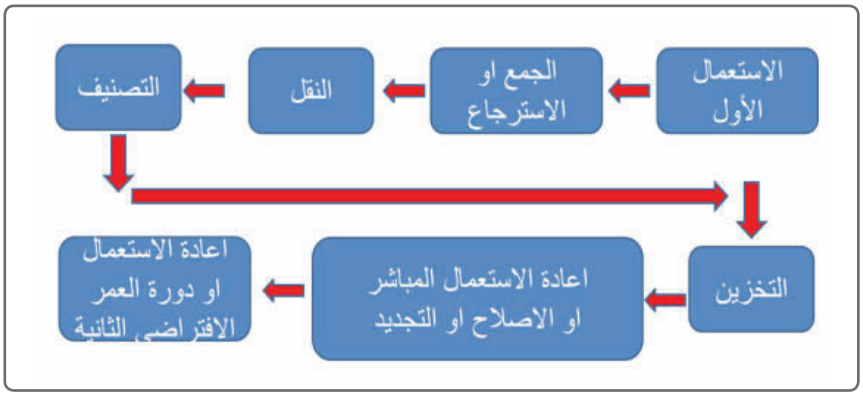
14-3-1- إصلاح التجهيزات الإلكترونية أو الاستفادة من مكوناتها:

قبل التوجه إلى معالجة النفايات الإلكترونية يفضل النظر في إمكانية الاستفادة من الأجهزة عن طريق إصلاح هذه الأجهزة وإطالة عمرها الافتراضي أو الاستفادة من مكوناتها في إصلاح تجهيزات أخرى. ويبين الشكل 15-2 المراحل التي تؤدي إلى إعادة الاستعمال أو دورة العمر الافتراضي الثانية للأجهزة الكهربائية والإلكترونية لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات. وهذا يوفر الإرشاد بشأن وضع المعايير الدنيا التي يمكن أن يمتثل لها مديرو نفايات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات في مراحل ما قبل معالجة هذه المخلفات وفي بعض مراحل معالجتها، بعد دورة العمر الافتراضي الثانية لها.

الشكل 14-2:

المراحل التي تؤدي إلى إعادة الاستعمال

للأجهزة الكهربائية والإلكترونية



14-3-2- فصل مكونات النفايات الإلكترونية

يمكن تحقيق فصل مكونات النفايات إما يدوياً أو ميكانيكياً. ففي الفصل اليدوي التي هي طريقة تقليدية لفَصْل الموادِ الخطرةِ، ولتَوليد موادِ قابلة للاسترجاع مِنْ النفايات الإلكترونية. وتتم عملية الفصل اليدوي بالأدواتِ البسيطةِ مثل المفكاتِ والمطارقِ والملاقطِ. ثم تُعالجُ بشكل مُنفصل.

أما الفصل الميكانيكي فهي الطريقُة الأكثرُ حداثةً، وتتم العملية إما بواسطة الفصل المغناطيسي أو بالفصل الهوائي، ويتم جمع الغبار الناتج عن عملية الفصل بوساطة مرشح غبار .

التصفية والتكييف: أغلب الأجزاء مَنْ الضَّرُوري أَنْ تُنقّي أَو تُكيّفَ للتمكن من بيعها كمواد أولية ثانوية وأجزاء أخرى يتم التُخلّصَ منْها في موقع الرمي النهائي. وتتضمّنُ التصفية عملياتَ كيميائيةَ وحراريةَ وميكانيكيةَ لأجزاء من التجهيزاتَ، مثل البطارياتِ، شاشات أنابيب أشعة المهبط CRT، معادن حديدية ولا حديدية، والبلاستيك القابل للتدوير. أما التَكيّف فيتضمن ترميد النفايات الناتجة مِنْ الأجزاء مثل النفايات البلاستيكِية والنفايات الخطرةِ .

14-3-3- معالجة النفايات الإلكترونية

لتكون عملية المعالجة ناجحة لا بد إن تتم وفق مراحل محددة وهي:

- لا بد في البداية من فرز هذه القطع الإلكترونية حسب فئاتها.
- عزل المواد السامة الداخلة في تصنيع هذه الأجهزة و تجنب التلوث.
- تفكيك الأجهزة إلى قطع ويتم ذلك على أيدي عمال ذوي خبرة مسبقة.
- فرز القطع المفككة حسب مواد التصنيع وإرسال كل فئة حسب طريقة التدوير المناسبة.

أ- مراحل معالجة النفايات الإلكترونية

تتم عملية المعالجة على مرحلتين أساسيتين، الأولى وتسمى مرحلة ما قبل المعالجة أو مرحلة التحضير للمعالجة، والمرحلة الثانية هي مرحلة المعالجة، وأخيراً يتم التخلص الآمن من بقايا النفايات الإلكترونية المعالجة.

وتتم في هاتين المرحلتين العمليات التالية:

- استعادة النفايات الخطرة الموجودة في مخلفات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية واستعمالها.

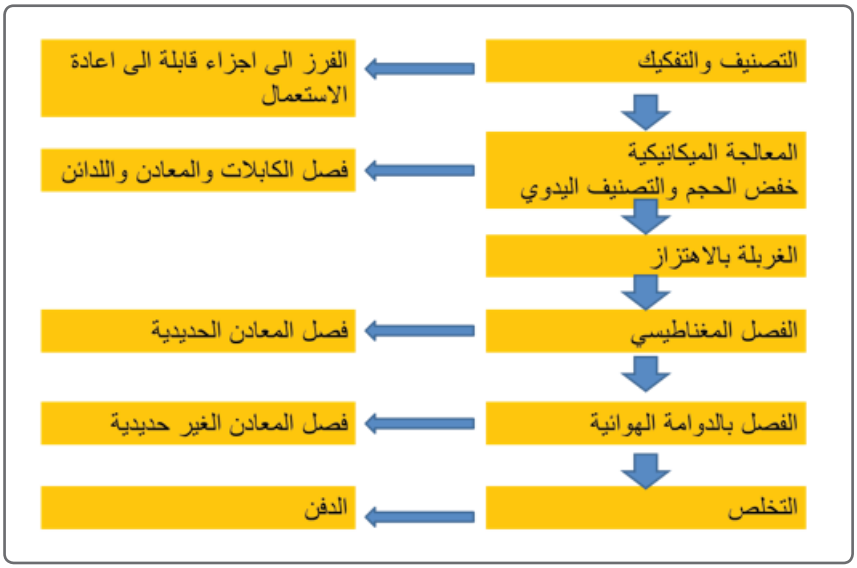
- استعادة المعادن الموجودة في مخلفات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية.

ويبين الشكل 14-3: خطوات معالجة نفايات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية المستخدمة لفصل الأجزاء المعدنية وغير المعدنية. وهذه المرحلة الأولية تسهل استعادة المعادن لاحقاً.

الشكل 14-3:

مراحل معالجة نفايات الأجهزة الإلكترونية

لفصل الأجزاء المعدنية وغير المعدنية



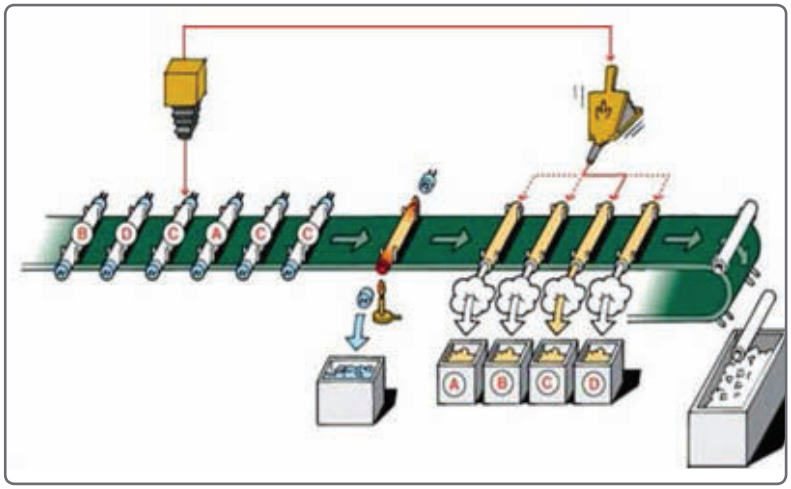
- **استعادة المعادن من البطاريات:** من الممكن في هذه الحالة استعادة الليثيوم (Li) والنيكل (Ni) والكادميوم (Cd) والمعادن الأخرى باستخدام عمليات التعدين السائلية والحرارية.
- **استعادة المواد الموجودة في أنابيب الأشعة الكاثودية واستعمالها.**
- **استعادة المواد القابلة للاستعمال** الموجودة في شاشات الكريستال السائل والبلازما: يتواجد داخل هذه الشاشات مصابيح فلورسنت (للإنارة الخلفية) تحتوي على الزئبق، إلى جانب أكسيد الإنديوم والقصدير

وطلاء الفلورسنت، في البلازما وشاشات الكريستال السائل (LCD). ويمكن استعادة الزئبق من المصابيح، فضلاً عن المواد الأخرى في هذه الشاشات، وذلك باستخدام التقنيات المناسبة. وهذا يتطلب بيئات مغلقة ومحكمة لا يتعرض فيها العاملون مباشرة لهذه المواد وحيث تتوفر أنظمة استخلاص الجسيمات لضمان الامتثال للحدود القصوى المسموح بها الوطنية للانبعاثات.

- **مصابيح الزئبق:** يجب توفير حاويات لتخزين النواتج، ويجب أن تكون مصممة لمنع تسرب الزئبق، وكذلك منظفات الشفط الصناعية التي تحتوي على مرشحات كربون منشط كما هو مبين في الشكل 14-4[133]. فيما عدا الزئبق، يمكن استخلاص الأجزاء المعدنية والبلاستيكية والغبار الفوسفوري من هذه المصابيح، مع التأكيد على ضرورة معالجتها لاحقاً. ويجب أن تمتثل الانبعاثات في الهواء والماء والتربة للمستويات الوطنية القصوى المسموح بها.

الشكل 14-4:

آلية نزع المعادن وشفط الغاز وتنظيف أنبوب الفلوريسنت من البودرة



14-4- إجراءات إدارة النفايات الإلكترونية:

حوالي 75 % منْ الموادِ الإلكترونيةِ مَخْزُنة بسبب جهل كيفية إدارتها، وتخَتلطَ أحياناً بالنفاياتِ المنزلية التي يتم التخلص منها أخيرا في المطامر. و هذا يَستوجبُ إجراءاتَ إداريةِ صارمة.

إدارةِ النفاياتِ الإلكترونيةِ الصناعية يَجِبُ أَنْ تَبْدأَ من نقطة التوليد. وهذا يتم تحقيقه بإتباع الإجراءات التالية: تعديل طريقةِ الإنتاج، وتخفيض الحجمِ، والاسترجاع وإعادة الاستخدام والتدوير.

14-4-1- تعديل طريقةِ الإنتاج:

يمكن أن يتم التعديل في طريقةِ الإنتاج بهدف تخفيض توليد النفايات. التعديل يمْكِنُ انجازه بتَغيير الموادِ الخام المستعملة لتصنيع المُنتَج، أَو بالاستعمالِ الأكثرِ كفاءة للموادِ المساهمة في طريقةِ الإنتاج أَو كليهما. يُمْكِنُ تَصنيف تقنيات تخفيض النفايات إلى ثلاثة أَصنافِ: تحَسينَ عمليات الصيانةَ والتشغيل، استبدال المادة، وتعديل تجهيزات العمليةِ.

يمْكِنُ أَن تُؤدي التحسينات في تشغيل وصيانةِ أجهزةِ العمليةِ لتقليل النفاياتِ بشكل ملحوظ. وهذه يُمْكِنُ أَنْ تُنجَزَ بمُرَاجَعَة إجراءاتِ التشغيل الحالية، وفحصِ أسلوب الإنتاج لتَحسين الكفاءة. كما يمكن لإجراءاتِ العمليةِ القياسية أَنْ تحسّنَ استعمالَ المواد الأولية في طريقةِ الإنتاج، وتخفّضُ كمية الموادِ الّتي سَتُفْقَدُ نتيجة التسرّباتِ والرشح. أَما برنامج الصيانةِ الصارم، بشكل صحيح، فيُمْكِنُ أَنْ يُخفّضَ حجم النفايات الذي يسببه فشلِ الأجهزةِ. ونؤكَد على أن برنامج تدريب المستخدم عنصر رئيسي لأيّ برنامج لتقليل النفاياتِ.

المواد الخطرة المستعملة في صناعة مُنتَج قَدْ تُستَبدلُ بمادّة أقل خطورة أَو غير خطرة. أو يتم تغيير في التقنية المستعملة في معظم عمليات التصنيع. تطبيق هذه التقنية لتقليل النفاياتِ و قَدْ تتطلّبُ فقط بَعْض التعديلاتِ العمليةِ البسيطةِ أَو قَدْ تَتطلّبُ أجهزةَ عمليةِ جديدةِ شاملةِ.

تَركيب أجهزةِ العمليةِ الأكثرِ كفاءة أَو تُعدّلُ الأجهزةَ الحاليةَ لاستغلال تقنيات الإنتاج الأفضلِ لتخفيض النفايات بشكل ملحوظ. حيث إن الأجهزة الجديدة أَو المُجَدَّدة يُمْكِنُ أَنْ تَستعملَ موادَ العمليةِ بشكل أكثر كفاءة لإنْتاج نفايات أقل. كما تُخفّضُ مثل هذه الكفاءة عددَ المُنتَجات المَرْفُوضة أَو التي خارج المواصفات، وبذلك تخفّضُ كميةَ المادّة التي يَجبُ أَنْ تُجدّدَ أَو يُتخلّصَ منْها. عمليةِ تَعديل أجهزةَ يُمكنُ أَنْ تَكُونَ طريقة مربحة جداً لتَخفيض كمية النفايات. في العديد منْ عمليات التصنيع الإلكترونية، التي تَتضمّنُ تغطية المُنتَج، مثل الطَلي الكهربائي أَو الدهان أَو المواد الكيميائية المستعملة لنَزْع الطلاء منْ المُنتَجات المَرْفُوضة للتمكن من تجديد الطلاء، هذه المواد الكيميائية، التي يُمْكِنُ أَنْ تَتضمّنَ الاحماض، سيانيد.. إلخ، يُمْكِنُ استرجاعها وبالتالي تُخفّيضَ كمية النفايات.

14-4-2- تخفيض حجم النفايات الإلكترونية :

يَتضمّنُ تخفيضُ الحجم التقنيات التي تُزيلُ الجزءَ الخطرَ منْ الجزء غير الخطر من النفايات. هذه التقنيات تُخفّضَ الحجمَ، وبالتالي تخفض كلفة التَخَلُّص منْ النفايات الخطرة.

يُمْكِنُ تقسيم التقنيات المستَعملَة لتَخفيض حجم النفايات إلى صنفين عامّين : التفرقة المصدرية وتركيز النفايات. تفرقة النفايات في العديد منْ الحالات تقنية بسيطة واقتصادية لتقليل النفايات. النفايات التي تَحتوي أنواعَ مختلفةَ منْ المعادنِ يُمْكِنُ أَنْ تُعالجَ بشكل منفصل للتمكن من استعادة المعادنَ.

تركيز النفايات السائلة قَدْ يَزيدُ إمكانيةَ استعادة المواد التي يُمْكِنُ أَنْ تُستَعملَ ثانية. وذلك باستعمال الترشيحَ بضغط فراغي، الترشيح فائق الدقة، التناضح العكسي،....الخ.

14-4-3- الاسترجاع وإعادة استخدام النفايات الإلكترونية :

هذه التقنية يُمْكِنُ أَنْ تُزيلَ كلفَة التخلص من النفايات، وتخفّضُ كلفَة المادة الخامِ وتُزوّدُ دخلاً منْ نفاية رائجة. النفاية يُمْكِنُ أَنْ تُستَعادَ في الموقع، أَو في وسيلةِ

تحسّين خارج الموقعَ. العديد مِنْ التقنيات الفيزيائية والكيميائية متوفرة لاسْتِرْداد النفايات الناتجة عن صناعة الأجهزة الإلكترونية، مثل التناضح العكسي، التحليل الكهربائي، التكثيف، الترشيح فائق الدقة، الطرد المركزي ... إلخ.

وتتضمن تقنيات الاسترجاع وإعادة الاستخدام الخطوات الثلاث التالية:

تكون الخطوةَ الأولى في هذه العملية إزالةُ المكوّنات الحرجة مِنْ النفاية الإلكترونية لتجنب التلوّث بالمواد السامّة أثناء عمليات السحب النهائية.

المكوّنات الحرجة تَتضمّنُ: زجاج رصاصي مِنْ شاشات أنابيب أشعة المهبط CRT، كما في الشكل (14-5)، غازات كلوروفلوروكربون CFC مِنْ الثلاجات والمصابيح والبطاريات.

الشكل 14-5

التعامل مع نفايات شاشات أنابيب الأشعة المهبطية.

أما الخطوة التالية فهي المعالجة الميكانيكية، للحُصُول على تركيز للمواد القابلة للتدوير من الحواسيب المكسورة وأيضاً من المواد الخطرة المنفصلة بشكل أكبر. وتتضمن المعالجة الميكانيكية سَحقُ الوحداتَ، التقطيع، الفصل المغناطيسي وبالتيارات الدوامية، الفصل الهوائي. ويتم ترشيح ومعالجة الغازات المنطلقة لتقليل مخاطرها البيئية .

14-5- تقدير كميات النفايات الإلكترونية

تعد نفايات السلع والأجهزة الإلكترونية من أسرع عناصر النفايات نمواً في عصرنا الراهن، نتيجة تزايد معدلات انتشار هذه السلع والأجهزة.

يمكن حساب كتلة نفايات الأجهزة الإلكترونية المنتجة سنوياً بتطبيق العلاقة[134]:

$$Ln/E=waste= rn\times mn$$

حيــث:

E-waste : كتلة النفاية الإلكترونية المتولدة سنوياً.

rn: عدد الأجهزة الإلكترونية من النوع n .

mn: الوزن لمتوسط للجهاز الواحد من النوع n.

Ln: العمر الفعال المتوسط للجهاز الواحد من النوع n .

يؤخذ الوزن المتوسط للجهاز الواحد mn، ومتوسط العمر الفعال من الجدول (14-1).

الجدول 14-1:

الوزن المتوسط ومتوسط العمر الفعال

للأجهزة الإلكترونية والكهربائية

نوع الجهاز	الوزن الوسطي (كيلوغرام)	المرجع	متوسط العمر الفعال
الحاسب الآلي المكتبي	9.9	Ecoinvent/2006	5
شاشة ذات أنبوب أشعة مهبط	14.1	Zumbuehl,D.2006 Laffely,J.2007	5
شاشة مسطحة	4.7	SWICO Recycling Guarantee Ecoinvent /2006	5

لوحة المفاتيح	1.0	Estimat / Ecoinvent v2.0	5
الفأرة	0.05	Estimat / Ecoinvent v2.0	5
الطابعة	6.5	Estimat / Ecoinvent v2.0	5
الحاسب الآلي المحمول	3.5	SWICO Recycling Guarantee Ecoinvent/2006	5
التلفاز ذو شاشة أنبوب اشعة مهبط	31.6	Ecoinvent/2006	10
غسالة ثياب آلية	65.0	Huisman et al .2008	15
ثلاجة	35.0	Huisman et al .2008	15
هاتف ثابت	1	Huisman et al .2008	15
هاتف محمول	0.1	Estimat	2

تم تقدير كتلة النفايات الإلكترونية والكهربائية المتولدة سنوياً في السعودية بحدود 3 مليون طن.

14-6- الحلول المقترحة لمشكلة النفايات الإلكترونية:

الحل الواضح يتمثل في قيام الشركات الإلكترونية الكبرى بإلغاء المواد الكيميائية السامة من منتجاتهم، وتحسين برامج إعادة التدوير. فالشركات التي أوجدت الطلبات الكبيرة للحصول على أحدث الهواتف النقالة الجديدة والحواسيب الشخصية الباهية الشكل مما أدى إلى ارتفاع معدلات الأرباح لديها بشكل هائل، فإن تلك الشركات مطالبة باعتماد المعايير البيئية الوقائية السليمة لا تجاهلها.

في مصنع إعادة التدوير، لا يعاد التدوير سوى لجزء ضئيل من الهواتف النقالة القديمة. وفي العام 2006، تم شحن أكثر من مليار هاتف محمول إلى جميع أنحاء العالم. ومع ذلك قامت شركة نوكيا عملاقة سوق أجهزة الهاتف بإعادة تدوير

2% فقط من خردة تلك الهواتف التي تبيعها[135]. أما في سوق الحواسيب، فإن الشركات العملاقة في ذلك المجال لا تفعل الكثير أيضاً، حيث تتم إعادة التدوير لـ 9% من تلك الحواسيب القديمة فقط. في حين يبقى أكثر من 90% منها خارج هذه الحلقة. نحن نعتقد أن على الشركات الإلكترونية العملاقة أن توفر إعادة تدوير جميع منتجاتها القديمة. أما إذا فشلت تلك الشركات في تطبيق هذا الأمر، يجب حينها سن تشريعات صارمة لضمان إعادة تدوير كل تلك المنتجات بسلامة. وهنا نشير إلى النموذج الياباني التي تفرض فيه تشريعات صارمة، مما يجعل شركة يابانية عملاقة كشركة سوني تعيد تدوير ما يقارب 53% من إنتاجها. وهذا الرقم هو 5 أضعاف معدل إعادة التدوير على مستوى العالم وهو بالتالي أفضل، والأهم في ذلك أنه موجود ومطبق.

الفصل الخامس عشر

إدارة نفايات البناء والهدم

هي مجموعة متنوعة من المخلفات الناشئة عن تشييد، أو هدم المباني، أو البنية التحتية المدنية، والتربة والصخور، والنباتات الناتجة من تجريف الأراضي أو الأعمال المدنية، والمخلفات المرتبطة بصيانة الطرق.

وقد وصل معدل نفايات البناء والهدم لدرجة لا يمكن احتمالها، مقارنة بما ينتج من مخلفات عن أنشطة وفعاليات بشرية أخرى.

15-1- تعريف نفايات البناء والهدم

عرفت المفوضية الأوربية (European Commission) نفايات البناء والهدم بأنها مجموعة متنوعة من المخلفات، ناشئة عن تشييد أو هدم المباني أو البنية التحتية المدنية، والتربة والصخور، والنباتات الناتجة من تجريف الأراضي أو الأعمال المدنية، والمخلفات المرتبطة بصيانة الطرق[136]. وتصنف نفايات البناء والهدم في فئة واحدة نتيجة تقارب مكوناتهما.

15-2- مكونات نفايات البناء والهدم

تضم مكونات نفايات البناء والهدم قائمة عريضة من عناصر ومكونات المباني التي يتم هدمها والمواد التي يتم استهلاكها في عمليات البناء الجديد مثل الخرسانة وحديد التسليح والحجر و الطوب بالإضافة إلى المواد غير المستهلكة التي تستخدم كمواد مساعدة في عمليات البناء مثل الخردوات وقوالب صب الخرسانة والدعائم الخشبية والمثبتات والمسامير والأوتاد.

تتعرض جميع المواد التي يتم إحضارها لموقع المشروع بمختلف وظائفها الأساسية والمساندة لأن يصبح جزء منها لسبب أو لآخر، في نطاق المخلفات التي يتم التخلص منها عادة عند نهاية المشروع[137]، وتختلف طبيعة المواد المكونة للمخلفات الإنشائية باختلاف طبيعة المبنى، فمثلا قد تحوي المخلفات الناتجة عن هدم المباني القديمة أنابيب رصاصية وأخشاب، بينما تحوي المباني الحديثة البلاستيك والزجاج وحديد التسليح والسيراميك وصفائح التوصيلات الإلكترونية وغيرها.

15-3- كميات نفايات البناء والهدم

تختلف كمية ونوعية المواد المكونة للنفايات الناتجة عن أعمال الهدم والإنشاء حسب نوع المشروع، وأنواع مواد البناء المستخدمة، وسياسة إدارة الأنقاض، ونظام

البناء المستخدم، كما وتختلف من منطقة لأخرى ومن بلد لآخر تبعاً للظروف التي قد تكون استثنائية كحدوث كوارث طبيعية أو حروب.

وللتعريف بحجم مشكلة نفايات البناء والهدم أوضحت إحدى الدراسات التي أجريت في المملكة المتحدة بأن معدل نفايات البناء والهدم وصل لدرجة لا يمكن احتمالها مقارنة بما ينتج من مخلفات عن أنشطة وفعاليات بشرية أخرى. وأشارت إحدى الدراسات التي أنجزت في عام 1994 إلى أن حجم ما ينتج عن صناعة البناء والتشييد من مخلفات سنوياً في أوروبا الغربية يبلغ ضعفي حجم المخلفات الصلبة الأخرى التي تنتج سنوياً[138]. وفي فرنسا بلغت كمية المخلفات في عام 2008 الناتجة عن المباني إضافة للأشغال العامة من طرق وجسور 254.5 مليون طن[139].

ذكرت وكالة حماية البيئة الأمريكية EPA-USA بأن مخلفات أعمال الانشاء والأنقاض الناتجة عن المباني تقدر بـ 1.27 كغ/شخص/يوم، وتشكل نسبة 25% إلى 40% من إجمالي النفايات المتولدة في الولايات المتحدة الأمريكية[140]. وفي الدول العربية نلاحظ نقصاً واضحاً في تقدير حجم نفايات البناء والهدم، سواء تلك الناتجة في مواقع المشاريع الانشائية أو التي يتم التخلص منها في المطامر الرسمية أو المكبات العشوائية، فقد أشارت إحدى الدراسات إلى عدم وجود إحصاءات دقيقة توضح حجم نفايات البناء والهدم في مصر[141]. كما أوضحت دراسة أخرى بأن الجهات الرسمية في المملكة المغربية لا يوجد لديها تصور دقيق أو مؤشرات حقيقية حول حجم مشكلة نفايات البناء والهدم في المملكة المغربية[142]. وبينت دراسة حديثة في المملكة العربية السعودية أن كمية مخلفات البناء والإنشاء تقترب من 40% من المجموع الكلي لجميع النفايات في السعودية[143]. بينما بيّنت دراسة أنجزت في سورية عام 2004، وقامت بها شركة تريفالور الفرنسية، إن إنتاج نفايات البناء والهدم على مستوى سورية يقدر بحوالي 7900 طن في اليوم، (ما يعادل 2.9 مليون طن/سنة)، وبمعدل 14/365 ، أي 0.4 كغ/ شخص/اليوم[144].

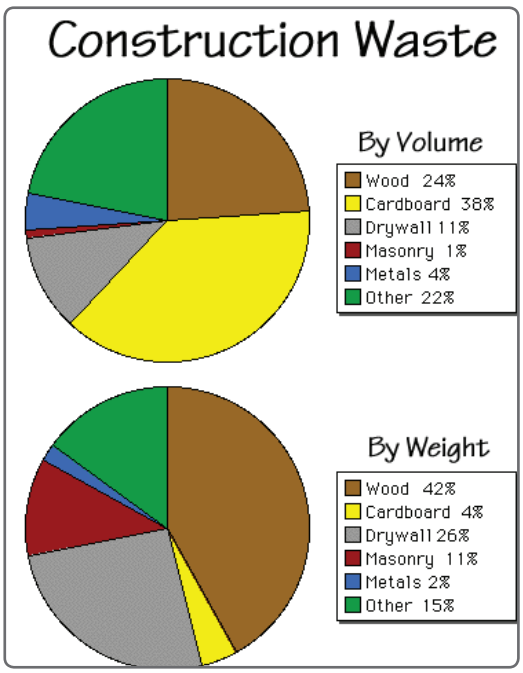
تختلف صفات نفايات البناء والهدم حسب خطورتها. وتشكل النفايات الخاملة كالحجارة والخرسانة العادية و الطوب النسبة الأعلى من إجمالي نفايات البناء

والهدم (أكثر من 80%)، بينما تشكل النفايات غير الخطرة كالحديد والالمنيوم والبلاستيك والخشب نسبة قريبة من 15% أما النفايات الخطرة كالدهانات والاسبستوس وغيرها فتشكل أقل من 5%.

في الولايات المتحدة تشكل نفاياتُ الخشب النسبة الأعلى وزناً في مكونات نفاياتُ البناء، بينما يشكّل الورق والكرتون النسبة الأعلى حجماً[145]، كما يظهر في الشكل (15-1).

الشكل 15-1:

التركيب النوعي لمخلفات الهدم والإنشاء.



15-4- التأثيرات السلبية للتخلص العشوائي من نفايات البناء والهدم:

لمخلفات البناء والهدم تأثيرات سلبية عديدة قد لا تكون دائماً واضحة بالنسبة لمدراء المشاريع أو المهندسين المشرفين، وتتضمن: ضياع في الموارد، هدر المواد الأولية للبناء، هدر وضياعات في الطاقة، المساهمة في ازدياد الغازات الدفيئة وعلى رأسها غاز CO_2.

وبما أن أغلب نفايات البناء والهدم تصنف ضمن المواد التي تقبل التدوير أو إعادة الاستخدام لذلك ظهرت الحاجة إلى دراسة آليات معالجة هذه المخلفات وبيان كيفية الاستفادة منها ضمن خطة بيئية واقتصادية بآن واحد، حيث تشكل هذه المعالجة تحسيناً للواقع البيئي وترشيداً لاستخدام الموارد الطبيعية.

يوجد عاملان يساهمان بقوة في جعل إعادة استخدام وتدوير نفايات البناء والهدم أكثر نجاعة من التخلص منها: زيادة تكاليف الحصول على المواد الأولية الخام ونقلها، وهذا يؤثر على اقتصادية العملية، وتقليل البصمة البيئية لمواد البناء و الوصول إلى موارد بديلة أقل تكلفة.

يدفع التقييد أو التقليص بخصوص فتح، أو توسعة منشآت جديدة للتخلص من النفايات القائمين على إدارة المخلفات ليكونوا انتقائيين بخصوص المخلفات التي يقبلونها. وتضاعف زيادة الضريبة البيئية على طمر المخلفات تكلفة التخلص، ويسمح بتحويل جزء كبير من كمية المخلفات من المطامر إلى مراكز المعالجة والتدوير. إضافة إلى أن الطمر غير النظامي لنفايات البناء والهدم، قد يسبب مخاطر صحية في المستقبل و يقلل من قيمة الأراضي.

15-5- نظام مقترح لإدارة نفايات البناء والهدم

العنصر الأول في نظام إدارة المخلفات هو الوقاية بالتجنب أو التقليل من إنتاج المخلفات، الذي هو من أفضل الحلول وفي أعلى سلم الأولويات، لأن ذلك يدرأ المشكلة قبل حدوثها، وبذلك تتحقق الناحيتين الاقتصادية والبيئية معاً، ويمكن تطبيق تجنب أو تقليل إنتاج المخلفات على مشاريع البناء، حيث تترافق عملية بناء وتشييد المباني مع ضياع وهدر في المواد المستخدمة لما يصل في بعض الحالات إلى 10% [146]، وتراوح معدل توليد مخلفات البناء في المتر المربع للطابق ي في مدن الدول النامية بين 66 و110 كغ. وهذا معدل مرتفع مقارنة مع الدول الصناعية حيث بينت دراسة في الولايات المتحدة أن المعدل هو21 كغ/م^2 طابقي، ولتقليل إنتاج مخلفات بناء وتشييد المباني في مدن الدول النامية يلزم تحديد بدائل حديثة لأساليب الإنشاء وطرق التنفيذ ونوعية مواد البناء بحيث تنتج مخلفات أقل[147].

ويمكن الوصول لمفهوم تقليل إنتاج النفايات من المصدر بعد فهم واستيعاب أسباب نشوءها وإعادة تصميم وهندسة وبناء عمليات وممارسات للحد من إنتاجها[148]، ويمثل هذا المفهوم توجهاً نحو تغيير طريقة التفكير السائد بمفهوم النفايات وإدارتها باتجاه بداية التسلسل الهرمي للنفايات والذي يبدأ بالمنع أو التقليل. وهذا يعني أن أي نظام إدارة لمخلفات البناء يجب أن يحول التحديات إلى فرص لإيجاد الحلول، وذلك عن طريق إيجاد وسائل مبتكرة تبدأ من المراحل الأولى للمشروع أي من مرحلة الدراسة الأولية ثم مرحلة التصميم ثم التخطيط فالتنفيذ.

يمكن التقليل من مخلفات البناء بشكل ملحوظ إذا تم تطبيق إدارة المخلفات كجزء من إدارة المشروع. كما أن تقديم التدريب المناسب للعمال والطاقم الإداري هي أفضل وسيلة فعالة لتطبيق إدارة مخلفات البناء.

وظهرت توجهات معمارية جديدة نحو إيجاد مدارس جديدة في التصميم، تهدف إلى تخفيض المخلفات الناتجة عن المشروع بالتقليل من مواد البناء المستخدمة في المشروع. أحد هذه التوجهات هو التقليل من الأعمال التي تنتج مخلفات بكميات كبيرة، كالأعمال التي تتطلب استعمال الكسوة، وذلك بالاستغناء عنها نهائياً، من خلال تصميم الواجهات الخارجية والداخلية، بأسلوب لا يحتاج إلى تغطية بأي من عناصر الكسوة، مع مراعاة الناحية الجمالية، ويتم ذلك باختيار أسلوب الإنشاء وطريقة التنفيذ اللذين يحققان هذا الغرض، كاستخدام قوالب معدنية لصب العناصر الخرسانية، للحصول على سطوح خرسانية ملساء، لا تحتاج إلى تغطية من مواد الأكساء الخارجي أو الداخلي وإنما تعالج بطريقة خاصة. والنتيجة هي التقليل من مخلفات الكسوة والوصول لحالة (صفر انتاج نفايات).

وتبين أن مشاريع البناء التي تعتمد أسلوب العناصر مسبقة الصنع تنتج كمية من المخلفات قليلة مقارنة مع حالة المشاريع التي تعتمد الأسلوب التقليدي في الإنشاء لأنه من الصعوبة ضبط هدر المواد في مواقع الإنشاء.

وظهرت أساليب بديلة للإنشاء أو ما يسمى بـ «الطرق الحديثة في البناء» ويقصد بذلك تصنيع المساكن في المعامل، حيث يتم إنجاز وحدات الإنشاء قبل إرسالها إلى موقع الإنشاء، وتفيد المراجع بأن 40% من المساكن التي تنشأ حديثاً في اليابان تُنشأ بطرق البناء الحديثة، وهناك عدة أسباب تجعل من التوجه نحو هذا النوع من الإنشاء محبذاً، فهي تحقق فوائد بيئية واقتصادية واجتماعية تتمثل في سرعة الإنشاء والتقليل من العيوب، وتحسين الجودة، والحماية من الظروف الجوية، وكذلك التخفيف من الضجيج المزعج نتيجة الابتعاد في تنفيذ الأعمال عن الورشة، بالإضافة إلى التقليل من الطاقة المستخدمة وتخفيض المخلفات الناتجة عن المنشأة، حيث تتم مراقبة العمل بظروف أفضل تسمح بتحسين أداء العمال والتقليل من الأخطاء التي تحدث في الموقع، وإعادة العمل، بالإضافة إلى الحفاظ على صحة وسلامة العمال وتجنب الحوادث.

ومن الأمثلة للعناصر المسبقة الصنع التي يتم تنفيذها في مشاريع إنشاء المباني السكنية، استخدام وحدات حجمية مسبقة الصنع كدورات المياه وغرفة الحمامات والدوش والمطابخ، وغرف الملابس[149].

ويبين الجدول (15-1) محاسن ومتطلبات الخيارات الأساسية في إدارة مخلفات البناء والإنشاء.

الجدول 15-1:
محاسن و متطلبات الخيارات الأساسية
في إدارة مخلفات البناء والإنشاء.

خيارات المعالجة	الطرائق	المحاسن	المتطلبات
تقليل من المصدر	تنظيف الموقع: من أوراق الأشجار وعدم قطع الأشجار ما أمكن × تحسين الخطة الخاصة بتعديل الأرضيات لتجنب تولد زيادات نتيجة القص والقطع	×توفير في الأموال نتيجة لتقلص كلف المواد، وتقليص أجور العمالة والتخلص من النفايات	التكلفة المستقطعة من المشترين ×توفير فنيين في أعمال الزراعة الديكور ومراقبة العمل
إعادة الاستخدام	إعادة استخدام القطع في البناء للجدران . إعادة استخدام الطوب كمواد لإملاءات السقوف . ×المشاريع التي تهدم قد تحتوي مواد يمكن انقاذها مثل مغاسل المطبخ ، الأنابيب، الأخشاب، الأرضيات وغيرها.	×توفير تكلفة التخلص من المواد × تقليل التكلفة الاولية للمواد × تحسين كفاءة الاستخدام في المواد	تدريب طاقم البناء
التدوير	تجهيز حاويات لنقل كل المواد المطلوب تدويرها. × طاقم البناء يجب أن يكون مسؤول عن وضع المواد في الحاوية الخاصة لكل مادة .	قيمة أعلى للمواد المدورة . منظورة للمشترين المتوقعين . جدول جمع النفايات يوضع على أسس الحاجة.	يتطلب تدريب أكثر لطاقم البناء. ×حاويات كثيرة في الموقع. ×تلوث قسم من المواد في الحاويات يقلل من تسويقها .

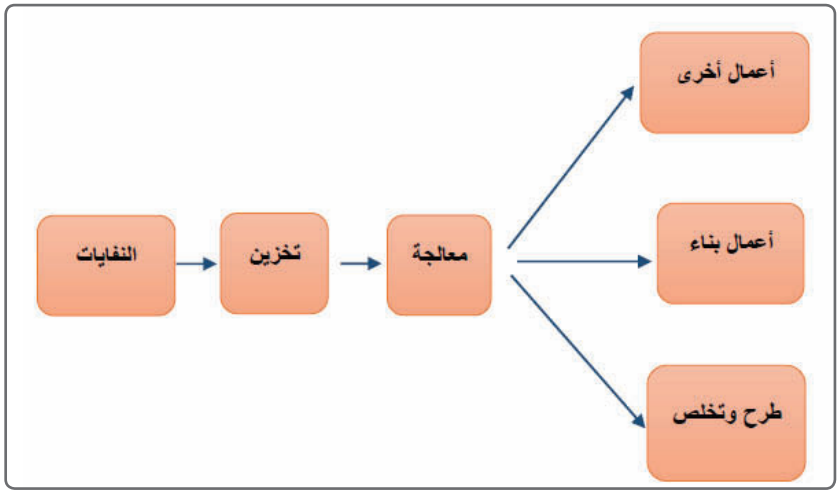
يمكن أن يتم فصل مواد المخلفات من مصدر التوليد أثناء أعمال البناء أو الهدم، ذلك بمعالجة المواد لإزالة المكونات غير المرغوب فيها. و يساهم الفصل من المصدر في توليد المخلفات بكفاءة أكبر بالنظر إلى الفوائد المتعلقة بالوقت والتكلفة والحفاظ على الطاقة. وفي حالات أخرى، هناك حاجة إلى نهج فصل أكثر تخصصاً

لضمان إنقاذ وإعادة استخدام وإعادة تدوير مواد معينة مثل ألواح السقف، البلاستر والبلاستيك والتركيبات والكابلات والأنابيب والزجاج وما إلى ذلك، قبل البدء بالهدم بحيث تكون المنتجات المعاد تدويرها مطابقة للمواصفات والمعايير المطلوبة.

العناصر الأخرى لنظام الإدارة بعد عنصر الوقاية تبدأ منذ تولد المخلفات في مواقع البناء أو الهدم، ثم عملية جمع المخلفات المتولدة وتخزينها مؤقتاً في أماكن تولدها، ثم نقلها لتدويرها أو لمعالجتها ثم تدويرها في أعمال البناء ضمن المركز الثابت للفرز والتدوير أو محطات التدوير المتنقلة، أو التخلص بالطرح في المطامر للنفايات غير القابلة لإعادة الاستخدام ولا للتدوير كما يظهر في الشكل (15-2).

الشكل 15-2:

مخطط تدفق نفايات البناء والهدم.



15-5-1- المتطلبات اللازمة لإنشاء المركز الثابت لفرز وتدوير نفايات البناء والهدم

يمكن أن ينشأ المركز الثابت لفرز وتدوير نفايات البناء والهدم ويشغل من قبل القطاع الخاص وتشرف عليه مؤسسة عامة، أو ينشأ ويشغل من قبل القطاع العام. و تتم عمليات فصل المخلفات إلى ثلاث فئات: مخلفات غير خطرة قابلة لإعادة الاستخدام ويتم تسويقها (المنيوم، حديد، خشب، بلاستيك..إلخ.)، ومخلفات

خاملة قابلة للتدوير (حجارة، طوب، خرسانة..إلخ) حيث تنقل لمحطة تدوير نفايات البناء والهدم لتصنيع منتجات يتم تسويقها، ومخلفات غير قابلة لإعادة الاستخدام ولا التدوير (مخلفات مختلطة مع مواد خطرة كالدهانات الحاوية على مذيبات عضوية، لمبات إنارة نيون أو لدات LED، اميانت.. ..إلخ) حيث ينتهي بها المطاف بطمرها في مطامر نفايات البناء والهدم .

ويلزم تجهيز البنية التحتية الضرورية لتشغيل المركز الثابت لإدارة المخلفات وتدويرها (مصدر ماء وكهرباء) على الأرض المخصصة للمركز الثابت، وتأمين كسارات وغرابيل ثابتة وفاصل مغناطيسي، وإنشاء مطمر للتخلص من المرفوضات.

خطوات اعادة تدوير مخلفات الهدم:

أ- القص والهدم:

تم رصد سبعة أساليب للهدم واستكماله وهي: الهدم بواسطة الكرة الحديدية، الهدم بالشد، الهدم بالنقار، الهدم باستخدام الكماشة، الهدم باستخدام معدات القص، الهدم باستخدام البلدوزر والتركس، الهدم باستخدام المتفجرات.

ب- فرز الأنقاض:

حيث قسم من الأنقاض يعاد تدويره ويتم نقله إلى أماكن مخصصة لإعادة التدوير وأخرى لا يعاد تدويرها و يتم معالجتها وفقاً لكل مادة حيث إن منها ما يحتاج لمعالجة قبل النقل إلى مطامر النفايات ومنها يتم نقله مباشرة إلى مطامر النفايات.

ج- إعادة تدوير الأنقاض:

خطوات إعادة تدوير مخلفات الهدم:

- **التكسير:** يتم التكسير في بموقع تواجد الأنقاض أو المنازل المهدمة، يتم جمع البلوك والكتل الخرسانية والأسقف وترحيلها إلى الكسارة التي يتم بداخلها عملية التحضير لإعادة تدوير الانقاض.

- **فرز المواد:** بعد أن تتم عملية تكسير المواد تنتقل إلى مرحلة الغربلة وإعادة الفرز إلى صنف واحد أو صنفين أو أكثر حسب الحالة التي ستستخدم بها المواد الحصوية المعاد تدويرها .

- **آلية الاستخدام:** يجب وضع معايير محلية لتدوير مخلفات الهدم، وتهدف هذه المعايير إلى وضع مواصفات المواد الحصوية بما يحقق الشروط والمواصفات الخاصة والعامة لاستخدام هذه المواد ووضعها في مجال البناء والتشييد. كما يجب أن تتم دراسة الأثر البيئي لعملية تدوير نفايات الابنية وانسجامها مع معايير العمارة الخضراء وأن يتم اتخاذ كافة الاحتياطات الصحية والبيئية لمنع انتشار الغبار وجسيمات الاسمنت بهواء الموقع والمناطق المجاورة له.

يبين الجدول (15- 2) المعلومات المتوفرة حول كميات الخرسانة التي تم تدويرها وفق تقرير (Industry Monitoring Construction) في العديد من دول العالم :

الجدول 15-2:

كميات الخرسانة التي تم تدويرها في عدد من دول العالم (2007)[150]

الدولة	C&DW الكلية (MT)	C&DW المدورة (MT)	C&DW المدورة %
استراليا	14	8	57
بلجيكا	14	12	86
كندا	N/A	8 (recycled concrete)	N/A
جمهورية التشيك	9 (incl. 3 of concrete)	1 (recycled concrete)	45 (concrete)
انكلترا	90	46	50 – 90
فرنسا	309	195	63
ألمانيا	201	179	89
ايرلندة	17	13	80
اليابان	77	62	80
هولندا	26	25	95
النرويج	N/A	N/A	50 – 70
البرتغال	4	Minimal	Minimal
اسبانيا	39	4	10
سويسرا	7 (incl. 2 of concrete)	2	Near 100
تايوان	63	58	91
تايلاند	10	N/A	N/A
الولايات المتحدة	concrete) 317 (incl. 155 of	127 (recycled concrete)	82

تدوير الأنقاض في منطقة الخليج العربي[151]:

تشير الدراسات الإقليمية بأن دول الخليج مجتمعة تنتج أكثر من 120 مليون طن من النفايات سنوياً، والتي يتكون 18.5 % منها من مخلفات الإنشاء والهدم الصلبة.

وفق إحصائيات أجريت من قبل بلدية دبي تبين أن نسبة نفايات البناء والهدم تشكل 75%من اجمالي 10000طن من النفايات العامة التي تنتجها المدينة يومياً، وتشكل أنقاض الهدم حوالي 70 % من هذه الكمية وتنبهت حكومة الكويت إلى المشاكل التي تسببها مخلفات هدم المنشآت.

ولكي يتم تقليل مساحة الأراضي اللازمة لوضع هذه المخلفات، فقد وافقت حكومة الكويت لشركة (Environmental Protection Information Centre EPIC) أن تبدأ بإنشاء محطة لإعادة تدوير مخلفات الإنشاء وذلك بطاقة يومية (7-20) ألف طناً من مخلفات الإنشاء.

وتعد الإمارات العربية المتحدة أحد أكثر البلدان النشطة في منطقة الخليج العربي في تطبيقات إعادة تدوير الخرسانة. فقد وقع مختبر دبي المركزي اتفاقية مع هيئة تدوير الإمارات وبلدية دبي لدراسة وتقييم مخلفات الهدم الإنشائية. وحيث أن هذه المخلفات يتم إهمالها عادة من قبل المتعهدين، فإن المشروع يهدف لإيجاد تطبيقات مفيدة لاستخدام أنقاض البناء. وفي أبو ظبي، تم دعم العديد من المشاريع المتعلقة بالبناء الأخضر ومواد الإنشاء الصديقة للبيئة. وأما إمارة الشارقة فقد كان لها نصيباً من هذه الفعاليات في مجال المنشآت المستدامة. حيث إنه تم مؤخراً افتتاح محطة تدوير جديدة في المنطقة الصناعية في الشارقة. حيث تستقبل هذه المحطة الخرسانة ومخلفات إنشائية أخرى من مختلف المناطق في الإمارات وتقوم بمعالجتها ليتم استخدامها مرة أخرى لأغراض إنشائية.

15-5-2- مكونات المراكز الثابتة لمعالجة نفايات البناء والهدم:

يسمح إنشاء مراكز المعالجة والتدوير لنفايات البناء والهدم بجوار المدن بتقليل تكلفة النقل، وكذلك انبعاثات الغازات الدفيئة[152]. ومن أهم العوامل المؤثرة على اختيار موقع مركز معالجة نفايات الهدم:

- طريقة المعالجة المختارة.
- الجدوى الاقتصادية.
- المخططات التنظيمية والتخطيط الإقليمي والتوسعات المستقبلية للمنطقة.
- القيمة الاقتصادية للأرض.

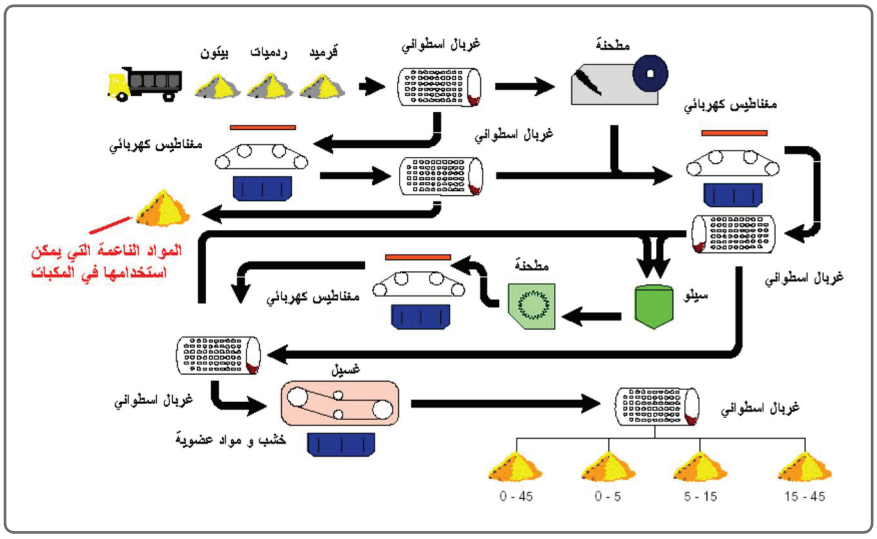
يتضمن غالباً المركز الثابت لمعالجة و تدوير نفايات البناء والهدم على كسارة

رئيسة كبيرة تعمل بالتزامن مع كسارة ثانوية، ويشمل أيضاً تجهيزات متنوعة من أجل عمليات الفرز والإزالة كالفاصلات الكهرومغناطيسية والغرابيل وذلك لإنتاج مواد حصوية ذات جودة عالية. أما المنتجات الناعمة كثيراً فيمكن استخدامها كطبقات تغطية مرحلية في مطامر النفايات البلدية.

ويبين الشكل (15-3)، مكونات محتملة لمركز معالجة وتدوير ثابت لنفايات البناء والهدم.

الشكل 15-3:

مكونات محتملة للمركز الثابت لمعالجة نفايات البناء والهدم.



15-5-3- محطات التدوير المتحركة أو القابلة للنقل

إن العامل المحدد في الجدوى الاقتصادية لمحطات التدوير المتحركة أو القابلة للنقل هو مسافة نقل نفايات البناء والهدم، فإذا كان موقع إنتاج نفايات البناء والهدم بعيداً عن المركز الثابت لمعالجة وتدوير النفايات، يكون من الأجدى اقتصادياً اللجوء إلى المحطة المتنقلة خاصة إذا كانت كمية المخلفات تزيد عن 5000 طن.

15-5-4- اختيار نموذج محطات المعالجة والكسارات

يعتمد اختيار محطات المعالجة والكسارات المناسبة لمشروع إعادة تدوير المخلفات الخاملة وعلى رأسها الخرسانة على عدة عوامل ليكون المشروع ناجحاً. ما الذي يدخل إلى الكسارات، وما الذي يستخدم في تعبئتها (شاحنة تحميل أو مجرفة) وما هي الخصائص المطلوب توفرها في المنتج النهائي. كل هذه العوامل تحدد حجم ونوع وسعة الكسارة أو مجموعة التكسير. ونذكر من الكسارات الأكثر انتشاراً في مراكز ومحطات تدوير نفايات البناء والهدم:

1- الكسارات الفكية حيث يقوم الفك بالضغط على الخرسانة بين صفيحتين إحداهما ثابتة والأخرى متحركة. تقل أبعاد قطع الخرسانة أثناء انتقالها على طول المسار المتضيق بين الصفيحتين. يتم استخدام الفكوك ككسارة أولية حيث تعطي عادة منتج بأبعاد من 10 سم إلى أقل من 20 سم.

2- الكسارات الصدمية تتكون من عجلة دوارة لها قضبان أو مطارق تقوم بدفع الخرسانة باتجاه صفيحة صلبة أو عدة صفائح أو باتجاه قضبان أخرى. يمكن استخدام هذه الكسارات ككسارات أولية أو ثانوية كما يمكن استخدامها في المرحلة الثالثة من عملية التكسير، و ينتج عادة عن هذه الكسارات منتج ذو أبعاد أصغر من 10 سم.

3- أما الكسارات المخروطية التي تعتمد على آلية الضغط أيضاً حيث يتم ضغط الخرسانة بين صفيحتين مخروطيتين. تكون الخرسانة التي يتم ملؤها في هذه الكسارات عادة بأبعاد أصغر من 15 سم كون هذه الكسارات تستخدم معظم الوقت ككسارات ثانوية بعد استخدام الكسارات الفكية أو الصدمية. المنتجات التي يتم الحصول عليها من الكسارات المخروطية عادة ما تكون بأبعاد أصغر من 3.25 سم.

الكسارات القابلة للنقل تكون موضوعة على هيكل ذو إطارات مطاطية، ويتم نقلها باستخدام مقطورة شاحنة إلى الموقع المحدد. في موقع العمل يتم تحريك هذه الكسارات باستخدام الرافعات أو القاطرات.

تتطلب أغلب مشاريع إعادة التدوير من العاملين إنتاج منتج نهائي بمواصفات حجمية محددة ووفق التدرج المطلوب، وعند استخدام كسارة صدمية لسحق الخرسانة يمكن الحصول على نسبة عالية من الحصويات الخشنة المعاد تدويرها دون عجينة اسمنتية.

15-5-5- مكونات المحطات المتنقلة لمعالجة نفايات البناء والهدم:

تتحرك محطات المعالجة المتنقلة نحو مواقع تواجد مخلفات الهدم بكميات غير كبيرة، كما في الشكل (15-4).

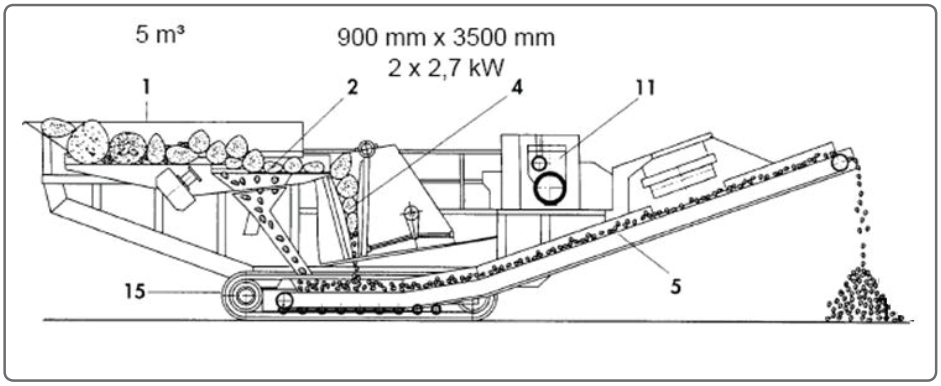
الشكل 15-4:

محطة متنقلة لمعالجة نفايات البناء والهدم.

وتقوم المحطة المتنقلة بمعالجة نفايات الهدم وذلك عند وجود كميات من المخلفات تتناسب مع استطاعة المحطة المتنقلة، كما في الشكل.

الشكل 15-5:

محطة متنقلة لمعالجة نفايات البناء والهدم



وتستخدم المحطات المتنقلة لمعالجة مخلفات الهدم في مواقع وجود المخلفات ذاتها، والمواد الناتجة عن المحطة المتنقلة تستخدم في نفس الموقع، لكن جودة المواد الناتجة عن المحطة المتنقلة تكون أدنى من جودة المواد الناتجة عن المركز الثابت للتدوير بسبب صغر حجم المحطة المتنقلة مقارنة بالمركز الثابت. وغالباً ما تتكون المحطات المتنقلة من كسارة واحدة بالإضافة إلى بعض أجهزة الفرز، وإن إزالة الملوثات والمعادن يتم بالفرز اليدوي وبالفاصلات الكهرومغناطيسية.

وتؤدي المحطات المتنقلة إلى عمليات نقل قصيرة، خاصة إذا كانت المخلفات التي تعالج يعاد تدويرها في نفس الموقع الناتجة منه. و من سلبيات المحطات المتنقلة مقارنة مع مركز التدوير الثابت، إطلاق تراكيز عالية من انبعاثات الغبار وإصدار مستوى عال من الضجيج قد لايكون مقبولاً في المناطق السكنية. ويمكن استخدام المواد الحصوية الناتجة عن المحطات المتنقلة في صناعة الطوب باستخدام مكابس بلوك قابلة للنقل مع انتقال محطات المعالجة.

15-6- جمع و ترحيل الأنقاض ضمن المدينة و البلدات و التجمعات السكانية المختلفة

يتم جمع و ترحيل نفايات البناء والهدم بعدة أساليب وذلك حسب كمية الأنقاض المتشكلة و نوعية المشاريع و ذلك على الشكل التالي:

بالنسبة للمشاريع الكبيرة و التي تتشكل فيها كميات من المخلفات أقل من أو تعادل 5000 طن يتم توريد الحاويات الخاصة بنقل المخلفات مباشرة إلى موقع المشروع و تكون الحاويات إما محملة على قاطرات خاصة أو تكون من النوع الذي يتم وضعه على الأرض مباشرة، و بعد امتلاء هذه الحاويات يتم ترحيلها مباشرة إلى مركز المعالجة الثابت أو تنقل لموقع محطات المعالجة المتنقلة و ذلك حسب رأي الإدارة.

بالنسبة لكميات نفايات البناء والهدم الصغيرة و التي لا تزيد عن 3 إلى 5 طن يتم ترحيل هذه النفايات من قبل منتج النفايات إلى مركز المعالجة الثابت أو المحطة المتنقلة الموجودة في أقرب موقع من المشروع.

تتحمل الجهة المنتجة للنفايات تكلفة نقل هذه النفايات إلى مركز المعالجة الثابت أو المحطات المتنقلة بالإضافة إلى تكلفة معالجة المخلفات ضمن محطات المعالجة.

الفصل السادس عشر

النفايات كبيرة الحجم

هي النفايات ذات الحجم الكبير، والتي لاتستوعبها حاويات النفايات المنزلية وتشمل الأثاث المنزلي وتركيبات الهندسة الصحية. ويفضل التبرع بها لجمعية خيرية تقوم بتأهيلها وتوزيعها على المحتاجين أو بيعها بأسعار زهيدة وهذا يساعد الجمعيات الخيرية على مساعدة المحتاجين وجمع الأموال لخدمات أخرى في المنطقة المحلية.

16-1- تعريف النفايات كبيرة الحجم

النفايات كبيرة الحجم مصطلح يعبر عن النفايات ذات الحجم الكبير والتي لاتستوعبها حاويات النفايات المنزلية وتشمل الأثاث المنزلي وتركيبات الهندسة الصحية (أحواض الاستحمام، أحواض، غسيل الأيدي ..إلخ)، ويتم في بعض الدول تصنيف الأدوات الكهربائية المنزلية (ثلاجة غسالة أجهزة تدفئة وتكييف..إلخ) وكذلك أغصان وجذوع الأشجار مع النفايات كبيرة الحجم على الرغم من إمكانية جمع الأعصان وجذوع الأشجار بشكل منفصل لتقطيعها أو لتحويلها إلى كمبوست.

16-2-معدل إنتاج النفايات الكبيرة الحجم

- لا يوجد معدل محدد لإنتاج الشخص من النفايات الكبيرة الحجم مع عجز الشركات عن جمع كامل النفايات كبيرة الحجم.

- يتراوح إنتاج الشخص من النفايات في بعض دول العالم التي لديها إحصاء عن إنتاج النفايات الكبيرة الحجم بين 75 – 10 كغ للشخص الواحد سنويا.

غالباً ما تستخدم شاحنات الكلاب المعروفة باسم اللوادر الرافعة المفصلية في جمع النفايات الضخمة، وتعتمد العديد من دول العالم الترحيل المجاني للنفايات الكبيرة الحجم إذا كانت محدودة العدد (غالباً حتى 6 قطع) وإذا زاد عن ذلك يتم الترحيل مقابل أجر من منتج النفاية.

16-3-الخيارات المتاحة للتخلص من النفايات كبيرة الحجم

- التبرع بها لجمعية خيرية للبيع تقوم بتأهيلها وتوزيعها على المحتاجين أو بيعها بأسعار زهيدة وهذا يساعد الجمعيات الخيرية على مساعدة المحتاجين وجمع الأموال لخدمات أخرى في المنطقة المحلية.

- بيع الأشياء التي يرغب بالتخلص منها إذا كانت في حالة جيدة

- بعض تجار التجزئة يستبدل العناصر القديمة بجديدة ويستلم القديمة ولا سيما الأجهزة الكهربائية والأثاث.

- إعداد موقع إلكتروني تعرض فيه الأشياء التي يريد أي شخص التخلص منها- وهي في حالة مقبولة بحيث تتيح التسليم المباشر لها إلى شخص محتاج لها في المجتمع على أن يكون العرض مجاني وهذا غالباً ما يكون أسرع وأسهل طريقة للتخلص من عنصر مفيد.

- استخدام شركة النفايات الخاصة بجمع النفايات الكبيرة الحجم عن طريق الاتصال الهاتفي حيث يحدد موعد لوضع النفايات أمام المنزل لتقوم الشركة المعنية بالمرور لالتقاط هذه النفايات.

- تسليم النفايات لمراكز تجميع خاصة بالنفايات الكبيرة الحجم.

- تسليم النفايات لمركز إعادة الاستخدام والتدوير.

- جمعها عن طريق شركات النظافة في المنطقة بواسطة حاويات خاصة أو عن طريق تجميعها من الأحياء والطرق.

ويفضل في هذه الحالة تحديد محطات إنتقالية خاصة كمراكز تجميع للنفايات الكبيرة الحجم وذلك لتقليل مدة النقل إلى المطمر ولتخفيض حجم النفايات التي سيتم نقلها عن طريق تحطيم ورص النفايات في المحطة بواسطة آليات مناسبة.

16-4-مراكز تجميع النفايات الكبيرة الحجم

مركز تجميع النفايات الكبيرة هو مكان مراقب ومغلق حيث يقوم منتجو النفايات في المنازل والشركات الصغيرة بإحضار النفايات الكبيرة من مناطق مختلفة للتخلص منها.

ويميز هنا نوعان من المراكز:

أ- **مراكز تجميع متكاملة**: الأكثر كمالاً وملاءمة لكمية النفايات وعدد الناس الذين يمكن أن يكونوا في المناطق المدنية. وتبنى عادة مراكز التجميع المتكاملة مع رصيف ليساعد الناس على تفريغ النفايات ولسهولة تحرك الشاحنات.

ب- **مراكز التجميع البسيطة (دون أي رصيف)**: وذلك عندما تكون مصادر النفايات التي يستطيع الإنسان إحضارها منخفضة.

الفصل السابع عشر

الاتفاقيات الدولية والإقليمية والتشريعات الوطنية المنظمة لإدارة النفايات

هناك خمسة مبادئ عامة ذات صلة خاصة هي: مبدأ السيادة الدائمة على الموارد الطبيعية، وعدم التسبب في ضرر عابر للحدود، ومبدأ الإجراءات الوقائية، ومبدأ التعاون المشترك، ومبدأ التنمية المستدامة، ومبدأ الاحتراز.

وقد أدى تفعيل هذه المبادئ في سياق النفايات إلى تطوير مبادئ جديدة، مثل الاكتفاء الذاتي، وتقليل إنتاج النفايات، والإدارة السليمة بيئياً، والموافقة المسبقة عن علم. وكلها يتم تفعيلها بشكل أكبر في تفاصيل القواعد المنصوص عليها في اتفاقية بازل والمعاهدات الدولية الأخرى التي تتناول إدارة النفايات.

17-1- المقـدمـــة

تحكم قوانين إدارة النفايات عمليات النقل والمعالجة والتخزين والتخلص من جميع أنواع النفايات، بما في ذلك النفايات الصلبة البلدية والنفايات الخطرة ونفايات الرعاية الصحية والنفايات المشعة وغيرها. تم تصميم قوانين وتشريعات النفايات بشكل عام لتقليل أو القضاء على التخلص غير المنضبط لمواد النفايات في البيئة بطريقة قد تسبب ضررًا بيئيًا أو بيولوجيًا، وتشمل القوانين المصممة تقليل انتاج النفايات وتعزيز أو فرض إعادة تدوير النفايات. وتشمل الجهود التنظيمية تحديد وتصنيف أنواع النفايات وتفويض ممارسات النقل والمعالجة والتخزين والتخلص من النفايات.

17-2- الاتفاقيات الدولية والإقليمية المنظمة لإدارة النفايات الخطرة

في سياق إدارة النفايات، هناك خمسة مبادئ عامة ذات صلة خاصة: مبدأ السيادة الدائمة على الموارد الطبيعية وعدم التسبب في ضرر عابر للحدود، ومبدأ الإجراءات الوقائية، ومبدأ التعاون المشترك، ومبدأ التنمية المستدامة، ومبدأ الاحتراز.

أدى تفعيل هذه المبادئ في سياق النفايات إلى تطوير مبادئ جديدة، مثل الاكتفاء الذاتي و تقليل انتاج النفايات والإدارة السليمة بيئياً والموافقة المسبقة عن علم ، وكلها يتم تفعيلها بشكل أكبر في تفاصيل القواعد المنصوص عليها في اتفاقية بازل والمعاهدات الدولية الأخرى التي تتناول إدارة النفايات. لقد تم تطبيق هذه المبادئ العامة في تنمية النظام القانوني الدولي للإدارة وحركة النفايات عبر الحدود.

17-2-1- إتفاقية بازل [153]

جرت أول محاولة للتصدي عالمياً للمشاكل المتعلّقة بإدارة النفايات الخطرة بواسطة برنامج مونتيفيديو لعام 1981،الذي أفضى في سنة 1985 إلى اعتماد المبادئ التوجيهية والمبادئ المتفق عليها في القاهرة من أجل الإدارة السليمة بيئياً للنفايات

الخطرة («مبادئ القاهرة التوجيهية») وإلى المفاوضات التي دارت فيما بعد برعاية برنامج الأمم المتحدة للبيئة بشأن وضع اتفاقية عالمية للتحكّم في نقل النفايات الخطرة عبر الحدود .

وتمخضت المفاوضات عن اعتماد اتفاقية التحكّم في نقل النفايات الخطرة والتخلّص منها عبر الحدود، من جانب مؤتمر المفوضين في بازل (سويسرا) في 22 آذار/مارس 1989 وحينها، قام ممثلو 53 حكومة والجماعة الاقتصادية الأوروبية بالتوقيع على الاتفاقية. وبدأ في 5 أيار/مايو 1992 نفاذ الاتفاقية التي أصبحت، بحلول 7 تشرين الثاني/نوفمبر 2005 ، تضم 166 طر فاً .

ويتمثّل الهدف العام للاتفاقية في حماية صحة الإنسان والبيئة من الآثار الضارة الناجمة عن توليد النفايات الخطرة ونقلها عبر الحدود وإدارتها. ويستند هذا الهدف إلى دعامتين رئيسيتين هما :

- وجود نظام عالمي للتحكّم في نقل النفايات عبر الحدود؛
- الإدارة السليمة بيئي ا للنفايات .

وخصصت المادة الأولى لتحديد نطاق الاتفاقية حيث عرفت «النفايات الخطرة» التي تخضع للنقل عبر الحدود بأنها

(أ) النفايات التي تنتمي إلى أي فئة واردة في المرفق الأول، إلا إذا كانت لا تتميز بأي من الخواص الواردة في المرفق الثالث؛ و

(ب) النفايات التي لا تشملها الفقرة (أ) ولكنها تعرف أو ينظر إليها، بموجب التشريع المحلي لطرف التصدير أو الاستيراد أو العبور، بوصفها نفايات خطرة .

أما «النفايات الأخرى» فهي النفايات التي تنتمي إلى فئة واردة في المرفق الثاني والتي تخضع للنقل عبر الحدود .

- تستثنى من نطاق هذه الاتفاقية النفايات التي تخضع، لكونها مشعة، لنظم رقابة دولية أخرى، من بينها صكوك دولية مطبقة بشكل محدد على المواد المشعة .

- تستثنى من نطاق هذه الاتفاقية النفايات الناجمة عن العمليات العادية للسفن، والتي يغطي تصريفها صك دولي آخر .

وتسعى اتفاقية بازل إلى تنظيم نقل النفايات عبر الحدود بجملة من الوسائل منها إقامة نظام للإخطار المسبق باعتزام طرف من الأطراف تصدير نفايات خطرة وغيرها من النفايات، واشتراط أن تقدم الأطراف الأخرى موافقة مكتوبة (يشار إليها «بالموافقة المسبقة عن علم») قبل أن يتسنى للشحنات من هذه النفايات عبور أو دخول المناطق التي تقع ضمن ولايتها القضائية (أي المجالات الأرضية والبحرية والجوية التي تمارس في نطاقها الأطراف مسؤوليات تنظيمية وإدارية طبق ا للقانون الدولي . .)

وتشمل عبارة «عمليات التخلّص» لأغراض اتفاقية بازل، العمليات التي تفضي إلى التخلص النهائي، وكذلك العمليات التي تفضي إلى استخلاص الموارد وإعادة تدويرها واستصلاحها وإعادة استخدامها .

وتشكّل الخطورة الكامنة في النفايات أساس تنظيم نقل النفايات عبر الحدود، وهي تحدد باستخدام قوائم فئات النفايات التي يتعين التحكّم فيها (ترد القوائم في المرفق الأول والمرفق الثاني) إلى جانب قائمة الخواص الخطيرة (المرفق الثالث).

وفي المادة الخامسة من اتفاقية بازل المتعلقة بالسلطات المختصة وجهات الاتصال، بين بأن على الأطراف تيسيرا لتنفيذ هذه الاتفاقية القيام بما يلي :

- تعيين أو إنشاء سلطة مختصة واحدة أو أكثر وجهة اتصال واحدة. وتعين سلطة مختصة واحدة لاستلام الإخطار في حالة دولة العبور .

- إبلاغ الأمانة، خلال ثلاثة أشهر من تاريخ بدء نفاذ هذه الاتفاقية بالنسبة لها، بالوكالات التي عينتها لتكون جهات اتصال وسلطات مختصة بها .

- إبلاغ الأمانة بأي تغييرات تتعلق بالتعيين الذي أجرته بموجب الفقرة 2 أعلاه خلال شهر واحد من تاريخ تقريرها لتلك التغييرات .

وخصصت المادة التاسعة لموضوع الاتجار غير المشروع الذي عرف بأنه :

أ- نقل عبر الحدود لنفايات خطرة أو لنفايات أخرى :

- دون إخطار جميع الدول المعنية عملا بأحكام هذه الاتفاقية؛ أو
- دون الحصول على موافقة الدول المعنية عملا بأحكام هذه الاتفاقية؛ أو
- بالحصول على موافقة الدول المعنية عن طريق التزوير، أو الادعاء الكاذب أو الغش من جانب المصدر أو المستورد ، حسب الحالة؛ أو
- لا يتفق من الناحية المادية مع الوثائق؛ أو
- نتج عن تخلص متعمد (مثل الإلقاء) من نفايات خطرة أو نفايات أخرى مما يتناقض مع هذه الاتفاقية والمبادئ العامة للقانون الدولي، يعتبر اتجار ا غير مشروع .

ب - في حالة نقل نفايات خطرة أو نفايات أخرى عبر الحدود يعتبر اتجار ا غير مشروع لكونه نتيجة تصرف قام به المصدر أو المولد، تضمن دولة التصدير أن النفايات قيد النظر :

- تتم إعادتها من جانب المصدر أو المولد، أو هي ذاتها عند اللزوم، إلى دولة التصدير، أو إذا تعذر ذلك من الناحية العملية؛
- يتم التخلص منها وفق ا لأحكام هذه الاتفاقية، في غضون 30 يوم ا من وقت إبلاغ دولة التصدير بالاتجار غير المشروع، أو خلال أي فترة زمنية أخرى قد تتفق عليها الدول المعنية. وتحقيق ا لهذه الغاية، على الأطراف المعنية ألا تعارض أو تعوق أو تمنع إعادة تلك النفايات إلى دولة التصدير .

ج - في حالة نقل نفايات خطرة أو نفايات أخرى عبر الحدود يعتبر اتجار ا غير مشروع

لكونه نتيجة تصرف قام به المستورد أو المتخلص، تضمن دولة الاستيراد أن يتولى المستورد أو المتخلص، أو هي ذاتها عند اللزوم، التخلص من النفايات قيد النظر

بطريقة سليمة بيئي ا في غضون 30 يوم ا من وقت إبلاغ دولة الاستيراد بالاتجار غير المشروع، أو خلال أي فترة زمنية أخرى قد تتفق عليها الدول المعنية. وتحقيق ا لهذه الغاية، على الأطراف المعنية أن تتعاون عند الاقتضاء في التخلص من النفايات بطريقة سليمة بيئياً.

د - في الحالات التي لا يمكن فيها إسناد مسؤولية الاتجار غير المشروع إلى المصدر أو المولد أو المستورد أو المتخلص، تضمن الأطراف المعنية أو أطراف أخرى، حسب الاقتضاء، من خلال التعاون، التخلص من النفايات قيد النظر بطريقة سليمة بيئي ا بأسرع وقت ممكن سواء في دولة التصدير أو دولة الاستيراد أو في مكان آخر، حسب الاقتضاء .

هـ - يضع كل طرف تشريعات وطنية/محلية ملائمة لمنع الاتجار غير المشروع والمعاقبة عليه. وتتعاون الأطراف بغية تحقيق أهداف هذه المادة .

وشهدت الاتفاقية، منذ اعتمادها، عدد ا من التطورات كان منها بالأخص الأمور التالية التي اعتمدها مؤتمر الأطراف :

« تعديل الحظر» في عام 1995 الذي كان الغرض منه حظر نقل النفايات الخطرة عبر الحدود من أجل التخلّص منها، والتخلّي التدريجي عن نقلها من البلدان المذكورة في المرفق السابع إلى البلدان غير المذكورة فيه وذلك لأغراض استرداد الموارد، أو إعادة تدويرها، أو استخلاصها، أو إعادة استخدامها في استخدامات مباشرة أو بديلة.

ولم يبدأ حتى 7 تشرين الثاني/نوفمبر 2005 نفاذ تعديل الحظر؛

- المرفقان الثامن والتاسع لعام 1998 ،وهما ينصان على المزيد من التفاصيل عن النفايات التي تنظمها الاتفاقية على النحو المدرج في المرفقين الأول والثالث؛

- إعلان بازل لعام 1999 بشأن الإدارة السليمة بيئيا ، الذي يحدد جملة من الإجراءات ذات الأولوية التي يتوقّع أن تركّز عليها الاتفاقية في العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، والذي يعيد التأكيد على أنّ الأهداف الرئيسية

لاتفاقية بازل تكمن في الحد من النقل عبر الحدود للنفايات الخطرة ولغيرها من النفايات، وفي منع توليد هذه النفايات وتقليلها إلى أدنى حد، وفي إدارتها بشكل سليم بيئياً، وفي الترويج بفعالية لنقل واستخدام التكنولوجيات الأنظف؛

- بروتوكول عام 1999 بشأن المسؤولية والتعويض عن الضرر الناجم عن نقل النفايات الخطرة والتخلص منها عبر الحدود، الذي يسعى إلى وضع آلية تضمن التعويض السريع والمناسب عن الضرر البيئي والإصابة الشخصية وما يلحق بالبضائع والممتلكات من تلف بسبب نقل النفايات الخطرة والتخلص منها عبر الحدود. ولم يبدأ حتى ٧ تشرين الثاني /نوفمبر 2005 نفاذ البروتوكول؛

- آلية في عام 2002 تهدف إلى تعزيز التعرف في وقت مبكّر قدر الإمكان على الصعوبات التي توجهها الأطراف في مجال التنفيذ والامتثال، وإلى اقتراح حلول لتجاوز هذه الصعوبات. ويراد لهذه الآلية أن تتسم «بعدم المواجهة، والشفافية، وفعالية التكاليف وأن تكون واقية وبسيطة ومرنة وغير ملزمة وموجهة نحو مساعدة الأطراف على تنفيذ أحكام اتفاقية بازل». وتقوم على إدارة هذه الآلية لجنة تتألّف من 15 عضوا ينتخبهم مؤتمر الأطراف؛

- البيان الوزاري لعام 2004 بشأن الشراكات للتصدي لتحدي النفايات العالمي، الذي يستند إلى إعلان بازل وإلى الخطة الاستراتيجية لاتفاقية بازل المعتمدين في 1999 وفي 2002 تباعا. وينص الإعلان على أربعة اتجاهات سياساتية ذات أولوية بالنسبة للمستقبل وهي: النهج الإقليمي، والتقليل إلى أدنى حد من النفايات، والإدارة المتكاملة للنفايات، ونهج دورة الحياة .

وتسعى الأطراف إلى ضمان السبل الكفيلة بجعل اتفاقية بازل والهيئات التابعة لها تعالج المسائل ذات الأولوية التي تطرحها مشكلة النفايات الخطرة في وقت من الأوقات.

وهي بذلك، تشكّل آلية استجابة يسعى المجتمع الدولي بها إلى حماية صحة الإنسان والبيئة من الآثار الضارة المحتملة للنفايات الخطرة

17-2-2-إتفاقية وايغاني [154]

إنها اتفاقية حظر استيراد النفايات الخطرة والمشعة إلى بلدان المنتدى الجزرية ومراقبة حركة النفايات الخطرة عبر الحدود وإدارتها داخل منطقة جنوب المحيط الهادئ، فتح باب التوقيع عليها في وايغاني ، في غينيا الجديدة عام 1995، و دخلت اتفاقية وايغاني حيز التنفيذ في عام 2001. ويجتمع مؤتمر الأطراف (COP) مرة كل سنتين.

وهدفت اتفاقية وايغاني إلى تقليل أو القضاء على تحركات المواد الخطرة والنفايات المشعة داخل منطقة المحيط الهادئ وتقليل إنتاج النفايات الخطرة والسامة في منطقة المحيط الهادئ وضمان الانتهاء من التخلص من النفايات بطريقة بيئية سليمة وقريبة من المصدر قدر الإمكان ومساعدة بلدان جزر المحيط الهادئ الأطراف في الاتفاقية في الإدارة السليمة بيئياً للنفايات الخطرة المنتجة. وتغطي الاتفاقية المواد السامة، والمتفجرة، والمسببة للتآكل، والنفايات القابلة للاشتعال والمعدية والمشعة.

وحددت الاتفاقية الالتزامات العامة للدول بحظر استيراد نفايات المواد الخطرة والمشعة. و ما يجب عليهم، حيثما أمكن ذلك من تقليل إنتاج النفايات الخطرة والتعاون لضمان معالجة النفايات والتخلص منها بطريقة سليمة بيئياً.

وتتمتع اتفاقية وايغاني بالعديد من الفوائد الاقتصادية والاجتماعية بالنسبة لمنطقة المحيط الهادئ، فهي توفر آلية وقائية فعالة لمنع تجار النفايات من جعل المحيط الهادئ مكبًا دوليًا للنفايات. ويمنع السفن من استخدام المحيط الهادئ كطريق سريع للنفايات الخطرة. و تنشئ آلية إقليمية لتسهيل تنظيف النفايات الخطرة والمشعة في المنطقة.

وتطلب الاتفاقية من الأطراف اصدار تشريع وطني يشبه التشريع في شكله المطلوب في اتفاقية بازل. ووصفت الاتفاقية أشكال مختلفة من المعلومات التي ينبغي أن تنتقل بين البلدان وإلى سكرتارية الاتفاقية. وتشمل هذه: إخطارات التصدير،

الموافقة المكتوبة أو الرفض على طلبات الاستيراد، توثيق الحركة، إخطار بالحادثة ومعلومات عن الإدارة السليمة للنفايات.

وتعهدت أمانة اتفاقية وايغاني بإقامة التدريب في جميع أنحاء المنطقة. هذا يساعد البلدان الجزيرية في المحيط الهادئ بتطوير القدرة على إدارة نفاياتها بطريقة سليمة بيئيا.

17-2-3- اتفاقية باماكو [155]

هي اتفاقية تحظر توريد أي نفايات خطرة (بما في ذلك النفايات المشعة) إلى أفريقيا، والتحكم في حركتها عبر الحدود، وإدارة النفايات الخطرة إدارة سليمة داخل أفريقيا. تم التفاوض على الاتفاقية من قبل اثنتي عشر دولة من منظمة الوحدة الأفريقية في باماكو، مالي في كانون الثاني/يناير عام 1991، ودخلت حيز التنفيذ في عام 1998..

نشأ الدافع لاتفاقية باماكو عن فشل اتفاقية بازل لحظر تجارة النفايات الخطرة والحد من نقلها إلى الدول النامية، وبعدما تبين أن العديد من الدول المتقدمة تقوم بتصدير النفايات السامة إلى أفريقيا. وقد تعزز هذا الانطباع في عدد من الحالات البارزة. أهمها، تلك التي وقعت في عام 1987، والمتعلقة باستيراد نيجيريا نفايات خطرة من شركة Ecomar Jelly Wax الإيطالية. وتستخدم اتفاقية باماكو شكل ولغة مماثلة لتلك التي استخدمت في اتفاقية بازل، ولكن أقوى بكثير في حظر جميع الواردات من النفايات الخطرة. بالإضافة إلى ذلك، فإنه لا استثناءات في بعض النفايات الخطرة (مثل تلك المواد المشعة) التي تضمنتها اتفاقية بازل.

17-2-4- النظام الموحد لإدارة النفايات في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية [156]

صدر النظام الموحد في عام 1999 م، بين الغرض من النظام الموحد بأنه وضع نظام مناسب للتحكم في عمليات انتاج وتخزين ونقل ومعالجة النفايات

والتخلص منها في الدولة وذلك بالطريقة التي تمنع الآثار الضارة بصحة وسلامة ورفاهية الإنسان. وتهدف شروط النظام الموحد إلى تشجيع وتطوير عمليات معالجة وإعادة استخدام الموارد بأسلوب تراعى فيه حماية صحة الإنسان والبيئة على المدى القريب والبعيد.

وذكر بأن مجال تطبيق النظام الموحد على أي شخص يدخل في عملية تجارية لجمع وتخزين أو لنقل أو لمعالجة أو للتخلص من النفايات المنزلية أو النفايات التجارية الصناعية أو النفايات الخامدة أو النفايات الخطرة.

17-2-5- النظام الموحد للتعامل مع المواد المشعة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية [157]

اعتمد النظام الموحد للتعامل مع المواد المشعة من قبل المجلس الأعلى الذي هو السلطة العليا لمجلس التعاون في الكويت، في تشرين الثاني/ديسمبر 1997.

و حدد هدف النظام الموحد للتعامل مع المواد المشعة في وقاية صحة الإنسان وحماية البيئة من أخطار الأشعة والمواد المشعة التي يتعرض لها من المصادر المختلفة وإقرار الحدود المقبولة للتلوث الإشعاعي في المواد الغذائية والأعلاف الحيوانية، وقد اعتمد المجلس الأعلى في دورته الثلاثين والتي عقدت في الكويت عام 2009 خمسة أدلة ارشادية منها الدليل الارشادي لوضع مستويات الخطة الوطنية للاستجابة لمواجهة الطوارئ الإشعاعية والنووية لدول مجلس التعاون. ودليل استرشادي آخر لوضع مستويات الإجراءات في النويدات المشعة الموجودة في الأغذية أو المياه أو المحاصيل. بالإضافة إلى دليل التراخيص والتسجيل في مجال الإشعاع في دول مجلس التعاون. ودليل التفتيش الارشادي للتحقق من سلامة الممارسات الإشعاعية في مجال الوقاية في دول مجلس التعاون، ودليل برامج التدريب للعاملين في مجال الوقاية من الإشعاع للاستفادة منه في مجالات بناء القدرات والتأهيل للعاملين في مجال الوقاية من الإشعاع.

17-2-6- النظام الموحد لإدارة نفايات الرعاية الصحية في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية [158]

صدر النظام الموحد لإدارة نفايات الرعاية الصحية بدول مجلس التعاون لدول الخليج العربي و اعتمد من قبل المجلس الأعلى في مسقط ، في كانون الأول/ ديسمبر 2001.

تضمن النظام الموحد لإدارة نفايات الرعاية الصحية : أحكام عامة –اشتراطات منتج نفايات الرعاية الصحية الخطرة –اشتراطات نقل نفايات الرعاية الصحية الخطرة خارج المنشأة الصحية –اشتراطات مرافق معالجة نفايات الرعاية الصحية الخطرة خارج المنشأة – النقل عبر الحدود – العقوبات – أحكام ختامية

ذُكر في المادة 2 الهدف من النظام ونطاق تطبيقه حيث بين أن هذا النظام يهدف إلى وضع أسلوب تحكم ومراقبة مناسب لعمليات إنتاج وفرز وتخزين ونقل ومعالجة نفايات الرعاية الصحية الخطرة والتخلص منها بطرق آمنة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية. كما يهدف إلى دعم وتطوير عمليات معالجة هذه النوعية من النفايات، بما يحافظ على الصحة العامة، وعدم تلوث البيئة. ويطبق هذا النظام على كل منتج أو ناقل أو متخلص يعمل في عمليات جمع أو تخزين أو نقل أو معالجة أو التخلص من نفايات الرعاية الصحية الخطرة، وبالنسبة للمواد المشعة يتم التعامل معها وفقاً للنظام الموحد للتعامل مع المواد المشعة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية.

17-3- التشريعات الوطنية المنظمة لإدارة النفايات

صدرت في أغلب الدول العربية تشريعات وطنية منظمة لإدارة النفايات سواء كانت النفايات البلدية أو نفايات الرعاية الصحية أو النفايات الخطرة.

17-3-1- نظام إدارة النفايات في المملكة العربية السعودية [159]

صدر نظام إدارة النفايات بالمرسوم الملكي رقم (م/3) بتاريخ 05/01/1443

هـ الموافق: 2021/08/13م، وحل هذا النظام محل نظام إدارة النفايات البلدية الصلبة، الصادر بالمرسوم الملكي رقم (م/48) وتاريخ 1934/9/17هـ.

وتضمن نظام إدارة النفايات: التعريفات، أحكام عامة، مسؤولية منتج النفاية، التعاقد على تقديم خدمات إدارة النفايات، مسؤولية مقدم الخدمة، استيراد النفايات وتصديرها، التعامل مع الحالات الطارئة، المقابل المالي، المسؤولية المدنية والجزائية والتأهيل والتعويضات، المخالفات وضبطها وإيقاع العقوبات، أحكام ختامية، النشر والنفاذ

وصدرت اللائحة التنفيذية لنظام إدارة النفايات البلدية الصلبة في السعودية التي عرفت إدارة النفايات بأنه تنظيم أي نشاط أو ممارسة تتعلق بالنفايات من جمع النفايات ونقلها وفرزها وتخزينها ومعالجتها وتدويرها واستيرادها وتصديرها والتخلص الآمن منها، بما في ذلك العناية اللاحقة بمواقع التخلص من النفايات.

وأكدت اللائحة التنفيذية على مشاركة القطاع الخاص في إدارة النفايات الصلبة.

وتم تعريف التصريح بأنه الوثيقة التي يمنحها المركز الوطني لإدارة النفايات الصلبة لمنشآت تدوير النفايات تفيد بتحقيقها ضوابط المركز واشتراطاته، قبل حصولها على التراخيص التي تصدرها الجهات المختصة وفق أنظمتها.

بينما الرخصة هي إذن مكتوب يصدره المركز الوطني لإدارة النفايات للقيام بأي نشاط يتعلق بإدارة النفايات، وعرفت مقدم الخدمة بأنه الشخص المرخص له أو المصرح له بمزاولة نشاط من أنشطة إدارة النفايات. وبينت اللائحة بأنه يُحظر ممارسة أي نشاط يتعلق بالنفايات من جمعها ونقلها وفرزها وتخزينها ومعالجتها وتدويرها واستيرادها وتصديرها والتخلص الآمن منها بما في ذلك العناية اللاحقة بمواقع التخلص من النفايات إلا بعد الحصول على الرخصة أو التصريح المناسب من المركز الوطني لإدارة النفايات الصلبة.

ووفقا لنظام إدارة النفايات المكون من 38 مادة، يُسمح للمركز الوطني لإدارة النفايات بإسناد تقديم بعض خدماته للقطاع الخاص.

وأوضحت إحدى مواد النظام أن منتج النفاية ومقدم الخدمة يتحملان المسؤولية المدنية والجزائية عن أي ضرر أو خطر على البيئة أو على الصحة والسلامة العامة وفقاً لما تحدده الأحكام النظامية ذات الصلة، بالإضافة إلى مسؤولية منتج النفاية عن معالجة وإزالة مختلف الأضرار والأخطار على البيئة أو على الغير، الناتجة عن إدارته للنفايات وعن المنتجات الثانوية المتولدة عنها.

وأشار النظام إلى وجوب نقل النفايات بطريقة لا تشكل تلوثا للبيئة. وفي حالة التلوث الناجم عن أنشطة النقل، يكون الناقل هو المسؤول عن عمليات التنظيف وإعادة الوضع الطبيعي للبيئة، بالإضافة إلى مسؤوليته عما يترتب على ذلك من أضرار.

ومن بنود المادة 26 فإن كل شخص يودع أو يستودع النفايات لدى شخص آخر غير مرخص له بذلك، يعد مسؤولاً بالتضامن مع هذا الشخص عن الأضرار والتعويضات الناجمة عن هذه النفايات.

وتنتقل ملكية النفايات إلى الدولة حال وضعها في الحاويات المخصصة لها أو بقربها، أو في حال وضعها في موقع عام لتخزينها، أو في مواقع التخلص الآمن منها، كما يحظر ترك النفايات بأنواعها أو دفنها أو حرقها أو إغراقها أو رميها في غير الأماكن المخصصة لها.

كما ألزم النظام منتج النفاية بالتقيد بترشيد استخدام المواد والموارد الطبيعية، إعادة استخدام المنتجات، تقليل النفايات، تخزين النفايات في الأماكن المخصصة لها، وفرز النفايات التي يمكن إعادة استخدامها أو تدويرها، وذلك بوضعها في الأماكن المحددة بعد إنتاجها.

ووفقاً لنظام إدارة النفايات، يجب على المجمعات السكنية والتجارية والجهات الإدارية الحكومية، التعاقد مع مقدم خدمة مرخص له.

ويكون التخلص الآمن أو معالجة أي من النفايات أو المواد أو الأجهزة والمنتجات غير الجديدة أو التي تم تدويرها وفقا لما يحدده المركز الوطني لإدارة النفايات، ولمجلس إدارته اقتراح تحصيل رسوم على استيراد النفايات وتصديرها وعبورها، والرفع بذلك وفقا للإجراءات النظامية.

وقد نص النظام على حظر استيراد أو إدخال النفايات الخطرة إلى المملكة أو إلى مياهها الإقليمية أو المناطق البحرية الأخرى التي تمارس عليها المملكة حقوق السيادة أو الولاية دون الحصول على الرخصة.

وعلى المركز الوطني لإدارة النفايات تحديد المقابل المالي للتراخيص والتصاريح والخدمات والأعمال التي يقدمها، كما عليه تحديد المقابل المالي على منتجي النفايات أخذا بالاعتبار التكلفة التشغيلية وذلك وفقا للضوابط والاشتراطات.

وعلى كل مقدم الخدمة الذي يقوم بتشغيل منشأة لإدارة النفايات عند حصوله على الرخصة أن يقدم تأمينا يغطي مسؤوليته عن الأضرار المتعلقة بالمسؤولية المدنية. وتضمَّن النظام بيان العقوبات تجاه المخلفات لبنود هذا النظام.

17-3-2- القانون الاتحادي رقم 12 لسنة 2018 في شأن الإدارة المتكاملة للنفايات في الامارات العربية المتحدة [160]

تبع هذا القانون اصدار قرار مجلس الوزراء رقم 39 لسنة 2021 بشأن اللائحة التنفيذية لقانون الإدارة المتكاملة للنفايات. يهدف القرار إلى تنظيم عملية إدارة النفايات وتوحيد آليات وطرق التخلص السليم منها، بالاستناد إلى أفضل الممارسات والتقنيات المتاحة، بغرض حماية البيئة وتقليل الضرر على صحة الإنسان. وصدرت في إمارة أبو ظبي وفي إمارة دبي العديد من الدلائل الارشادية المتعلقة بتنظيم إدارة النفايات.

لقد اعتمدت اللجنة الفنية التابعة لمجلس أبوظبي للجودة والمطابقة الدليل الإرشادي لخدمات مكافحة آفات الصحة العامة، وكذلك الدليل الإرشادي لخدمات

البنية التحتية لجمع ونقل النفايات البلدية الصلبة، اللذين أعدهما مركز أبوظبي لإدارة النفايات «تدوير»، وذلك بالتعاون مع مجلس أبوظبي للجودة والمطابقة، من خلال مجموعة العمل الفنية، التي تضم عدداً من الجهات المحلية والاتحادية، وذلك وفقًا للإجراءات المعتمدة بالمجلس، لتطوير عملية مطابقة المواصفات على مستوى الإمارة.

ويهدف الدليل الإرشادي لخدمات مكافحة آفات الصحة العامة إلى توفير مرجعية فنية موحدة متخصصة على مستوى الامارة خاصة بمكافحة آفات الصحة العامة، وتحديد معايير الجودة والإجراءات القياسية الموحدة لمكافحة آفات الصحة العامة على مستوى الإمارة، إلى جانب حماية المجتمع من نواقل الأمراض وتفشي الأمراض الوبائية وحمايته من الآثار السلبية المترتبة على الاستخدام الخاطئ للمبيدات والتي قد ينتج عنها حالات تسمم بالمبيدات أو وفيات.

يضاف إلى تلك الأهداف، الحفاظ على التنوع الحيوي وعدم تعريض الحشرات النافعة للمبيدات والاكتفاء باستهداف الآفات الضارة ومنع دخول أية آفات ضارة عبر المنافذ الحدودية (الجوية – البحرية – البرية)، بالإضافة إلى نشر الوعي والمعرفة بين المختصين حول طبيعة الآفات وتوحيد طرق مكافحتها، علاوة على توحيد المقاييس ومعايير الجودة والاشتراطات للإجراءات الخاصة بعمليات مكافحة آفات الصحة بشكل عام مما يساعد على تنظيم وتحسين خدمات مكافحة آفات الصحة العامة وتحسين أنظمة المتابعة والرقابة في القطاعين الحكومي والخاص.

إن إصدار وتطوير هذه الدلائل الإرشادية يساهم في توفير بيئة تشريعية وإدارية وفق أعلى المعايير، لتطوير الخدمات المقدمة من الجهات المسؤولة لصالح مجتمع إمارة أبو ظبي، بما ينسجم مع الخطة الاستراتيجية للمركز ويتناغم مع رؤية أبوظبي 2030».

ويحقق الدليل العديد من الفوائد لإمارة أبوظبي أهمها رفع مستوى الخدمات المقدمة بحيث توائم أفضل الممارسات والمعايير العالمية الذي سيساهم في رفع

مستوى الجودة والأمان والفعالية، وترشيد استخدام المبيدات بهدف الحفاظ على سلامة البيئة وتقليل فرص تطور مناعة الآفات ضد المبيدات، إضافة إلى ضمان عدم إضرار آفات الصحة العامة وتحديدا القوارض، بالبنية التحتية والتمديدات الحيوية لشبكات الصرف الصحي والاتصالات والتمديدات الكهربائية في المنشآت العامة والخاصة، وتأمين حماية المواد الغذائية والسلع التجارية من الأضرار أو التلف الذي قد يحدث نتيجة لانتشار آفات الصحة العامة وتغذيتها في الممتلكات العامة والخاصة.

وضمن ذلك الدليل، تم إعداد وتطوير 11 دليلاً إرشادياً لخدمات مكافحة آفات الصحة العامة والتي تخدم متطلبات إمارة أبوظبي، تمثلت في المرجع الموحد لنطاق وتكرارية الخدمة للمنشآت عالية الأهمية، ودليل الإدارة المتكاملة لمكافحة البعوض، ودليل الإدارة المتكاملة لمكافحة الذباب، ودليل الإدارة المتكاملة لمكافحة القوارض، ودليل الإدارة المتكاملة لمكافحة الصراصير، ودليل الإدارة المتكاملة لمكافحة بق الفراش، ودليل الإدارة المتكاملة لمكافحة النمل، ودليل الإدارة المتكاملة لمكافحة البراغيث والقراد، ودليل الإدارة المتكاملة لمكافحة الآفات الخطرة، ودليل الإدارة المتكاملة لمكافحة النمل الأبيض، ودليل الاستخدام المسؤول للمبيدات.

ويتضمن (الدليل الإرشادي لخدمات أدلة البنية التحتية لجمع ونقل النفايات البلدية الصلبة)، إلى جانب (تدوير)، 15 جهة ضمن مجموعة العمل، هي هيئة البيئة – أبوظبي، دائرة البلديات والنقل (بلدية أبوظبي)، هيئة أبوظبي للزراعة والسلامة الغذائية، هيئة الإسكان، شركة مساندة، دائرة التعليم والمعرفة، دائرة الثقافة والسياحة، شرطة أبوظبي، شركة أدنوك للتوزيع، شركة أدنوك، مجموعة الساحل الغربي، شركة بنية، شركة لافاجيت، شركة مدن العقارية، شركة هيدرا العقارية.

وتتمثل أهمية هذا الدليل لإمارة أبوظبي في توفير معلومات إرشادية لخدمات البنية التحتية لجمع ونقل النفايات البلدية الصلبة ضمن الدليل الإرشادي للبنية التحتية، لضمان التطابق بين الاحتياجات التي تضعها الجهات المختلفة والمعنية

بخدمات جمع ونقل النفايات البلدية الصلبة، ورفع مستوى الخدمات المقدمة بحيث توائم أفضل الممارسات والمعايير العالمية، وتحسين المظهر العام لحاويات النفايات في الأماكن العامة، إضافة إلى التحفيز على فصل المواد القابلة لإعادة التدوير من المصدر، وتوفير مرجعية فنية متخصصة على مستوى امارة أبوظبي.

ويحتوي الدليل الإرشادي على عدة أفرع تخدم البنية التحتية لجمع ونقل النفايات البلدية الصلبة، حيث يشمل الدليل عدة فئات من منتجي النفايات البلدية الصلبة، كما يشمل دليل البنية التحتية لإدارة النفايات ومتطلباتها، إلى جانب دليل إرشادي للمركبات ومعدات الخدمة، ودليل لمواصفات صناديق/ حاويات جمع النفايات ومواصفات، بالإضافة إلى أدلة لنقاط تجميع المخلفات في مناطق العزب والمزارع ومجمعات إعادة التدوير.

وأصدر مركز إدارة النفايات في أبو ظبي دلائل إرشادية لكافة القطاعات التي تنتج النفايات في الامارة بهدف توعية هذه القطاعات بطرق وممارسات خفض إنتاج النفايات وفرزها وإعادة تدويرها في إطار استراتيجية المركز لتخفيض إنتاج النفايات بما نسبته 20% سنوياً في مختلف الأنشطة توفير صناديق لفرز النفايات في أماكن العمل والمدارس وإعادة استخدام الأثاث المستعمل. وتحدد الدلائل الإرشادية آليات خفض النفايات وإعادة تدويرها في قطاع الهدم والبناء والمدارس والمنازل والشركات وغيرها من القطاعات في خطوة هامة لتقليل إنتاج النفايات من المصدر. وتتضمن الدلائل إرشادات توضح آليات خفض إنتاج النفايات بما يساعد في حماية البيئة ويوفر المال، إضافة إلى تحويل بيئة العمل لتكون أكثر كفاءة من خلال اتخاذ التدابير الكفيلة بتحقيق عدد من النتائج منها: خفض إنتاج النفايات، إعادة استخدام المواد للحصول على أقصى استفادة منها، وخفض تكاليف التخلص من النفايات ومعالجتها.

أما الدلائل الارشادية التي صدرت في إمارة دبي المتعلقة بالنفايات فمنها تم إصداره في عام 2015 ومنها تم إصداره في عام 2021 .

- **صدر في عام 2015 الدلائل الارشادية التالية:**

- الدليل الإرشادي الفني رقم (7) الفصل الإلزامي للنفايات.
- الدليل الإرشادي الفني رقم (6) إعادة التدوير بالمراكز التجارية.
- الدليل الإرشادي الفني رقم (5) تصنيف النفايات.
- الدليل الإرشادي الفني رقم (4) المسؤولية الممتدة.
- الدليل الإرشادي الفني رقم (3) تجارة النفايات.
- الدليل الإرشادي الفني رقم (2) تجميع ونقل النفايات.
- الدليل الإرشادي الفني رقم (1) متطلبات تخزين النفايات البلدية الصلبة.

- **بينما صدر في عام 2021**

- الدليل الإرشادي الفني رقم (11) – نقل ومناولة للنفايات الخطرة في إمارة دبي.
- الدليل الإرشادي الفني رقم (10) – التخلص من المواد غير المرغوب فيها.
- الدليل الإرشادي الفني رقم (9) – النفايات القابلة لإعادة التدوير .
- الدليل الإرشادي الفني رقم (8) – التخلص من النفايات الخطرة .
- الدليل الإرشادي الفني رقم (1) –صيانة وتنظيف مصائد الزيوت والشحوم.

ومن المؤكد أن هذه الدلائل تساهم في تعزيز الإدارة السليمة للنفايات.

17-3-3- قانون رقم (10) لسنة 2019 بشأن النظافة العامة في مملكة البحرين [161]

- صدر في مملكة البحرين قانون رقم (10) لسنة 2019 بشأن النظافة العامة بتاريخ: 22 رمضان 1440هـ الموافق: 27 مايو 2019م.
- لقد خصصت المادة 1 للتعاريف حيث تم تعريف البلدية أو الأمانة المختصة

بأنها الجهات المعنية بشئون النظافة للمنطقة أو المحافظة التابعة لها.

- وذكر في المادة (2) أنه يحظر إلقاء أو ترك النفايات في غير المواقع المحددة.
- وبين في المادة (3) أنه يشترط أن يتم فرز أو معالجة النفايات في أبنية محكمة تتوافر فيها مواصفات محددة.
- وذكر في المادة (4) أن على شاغلي المنازل والمكاتب حفظ النفايات في أوعية خاصة لها غطاء محكم، كما ذكر في المادة (5) أنه يجب على الجهة التي تسببت أو انتجت نفايات خاصة فصل هذه النفايات عن باقي النفايات الأخرى في مواقع منشآت مصدر تلك النفايات.
- وخصصت المادة 6 لموضوع نظافة العقارات وساحات ومناور هذه العقارات.
- بينما خصصت المادة 7 لموضوع السيارات والمركبات المهملة وجميع أنواع الخردة والسكراب ووضعها أو تركها في الشوارع والأرصفة.
- وفي المواد 8 و 9 و10 خصصت لموضوع نقل النفايات.
- وبينت المادة 11 أنه يكون لموظفي البلدية المختصة أو الأمانة المختصة الذين يتم تحديدهم بقرار من وزير العدل بالتنسيق مع الوزير صفة الضَّبْطية القضائية التَّحَقُّق من تطبيق أحكام هذا القانون ولائحته التنفيذية والقرارات المنفذة له، وضبْط وإثبات ما يقع من مخالفات لأحكامه وأحكام هذه القرارات. ويكون لهؤلاء الموظفين حق طلب المعلومات والبيانات والاطلاع على الوثائق والرُّخَص المتعلقة بالأماكن والأعمال الخاضعة لأحكام هذا القانون والقرارات المنفذة له، وتحرير المحاضر وسؤال المختصين في الأماكن المشار إليها، وإحالة المخالفة إلى الجهة المختصة.
- وذُكرت عقوبات المخالفات في المادة (12) من القانون.

17-3-4- القرار رقم 5 المتعلق بإدارة النفايات الإلكترونية في مملكة البحرين[162]

صدر القرار رقم 5 المتعلق بإدارة النفايات الإلكترونية في مملكة البحرين عن المجلس الأعلى للبيئة بتاريخ 12 ديسمبر 2021م

- ذكر في المادة (1) من هذا القرار تعريف المُنشأة بأنها كل مؤسسة تمارس أياً من الأنشطة الآتية: استخدام أو تجميع أو تصدير المخلَّفات الإلكترونية والكهربائية، أو تصنيع وصيانة الأجهزة الإلكترونية أو الكهربائية، أو عرْض وتخزين الأجهزة الإلكترونية والكهربائية لأغراض تجارية.
- وعرفت المخلَّفات الخطرة في المادة 1 بأنها أية مواد صلبة، شبه صلبة أو سائلة تحتوي على مخلَّفات غازية أو مجموعة مُرَكبَّات من المخلَّفات تؤدي إلى خطر أو خطر محتمل على الصحة العامة أو البيئة أو الحياة الفطرية نظراً لكميتها أو تراكيزها أو صفاتها الفيزيائية أو الكيميائية أو الحيوية عندما تدار بطريقة غير سليمة بيئياً.
- وعرفت المخلَّفات الإلكترونية والكهربائية بأنها الأجهزة والمعدات الإلكترونية والكهربائية المستخدمة أو أيُّ جزء منها، التي تحتوي أو يمكن أن تحتوي على مواد سامة كالرصاص والزئبق والكادميوم الواجب التخلص منها لأيِّ سبب، سواءً كانت تالفة أو قابلة لإعادة الاستخدام، والتي تنتج عن معالجتها بطريقة غير سليمة آثار سلبية على البيئة.
- وعرفت المخلَّفات المشعَّة بأنها أية مواد مشعَّة ناتجة عن ممارسات لا يُتوقع أن يكون لها أيُّ استخدام مستقبلي أو أية مواد ملوَّثة إشعاعياً بمستوى أعلى من مستوى رفْع الرقابة الذي يحدِّده الجهاز التنفيذي.
- وحدد في المادة (2) هدف القرار بأنه تنظيم عملية إدارة المخلَّفات الإلكترونية والكهربائية بطريقة سليمة وآمنة ومستدامة، بغرض السيطرة على هذه المخلَّفات بما يضمن المحافظة على الصحة العامة والبيئة.

- وبين في المادة (3) نطاق التطبيق للقرار بأنه ممارسة كل نشاط إعادة التدوير، كما تسري أحكامه على كل منتِج أو ناقل أو وحدة معالَجة متى كان النشاط الذي يمارسه أيٌّ منهم مرتبطاً أو متعلقاً كلياً أو جزئياً بإدارة المخلَّفات الإلكترونية والكهربائية.

- وحدد في المادة (4) الجهات المرخصة لممارسة النشاط بحيث يُحظَر على أيِّ شخص طبيعي أو اعتباري القيام بجمع أو نقل أو معالجة أو إعادة تدوير المخلَّفات الإلكترونية أو الكهربائية بغير ترخيص من الإدارة المختصَّة. وتخضع عمليات المعالجة وإعادة التدوير لإجراءات تقويم الأثر البيئي. ويُصدِر الجهاز التنفيذي قائمة بالشركات المرخَّصة لممارسة أيٍّ من هذه الأنشطة.

- وبين في المادة (8) بأنه لا يجوز لشركات المعالجة وإعادة التدوير المرخَّصة لها نقل وتخزين وممارسة العمليات المرخَّصة لها على المخلَّفات التي تحتوي على أجهزة الأشعة السينية والمواد المشعَّة إلا بعد مراجعة مستويات التعرض الإشعاعي مع الحدود الآمنة المسموح بها وِفقاً للمعايير الدولية والوطنية، وذلك تحت إشراف الإدارة المختصَّة وبالتنسيق مع الجهات المختصَّة.

- وخصصت المادة (9) لموضوع إدارة المخلَّفات المحتوية على وسائط التبريد وغيرها حيث بين بأنه لا يجوز لشركات المعالجة وإعادة التدوير المرخَّصة إفراغ أجهزة التبريد والتكييف وغيرها المحتوية على وسائط التبريد وإطلاقها في الهواء، كما يجب جمع وتخزين وسائط التبريد من وحدات التبريد ووحدات التكييف أثناء عمليات المعالجة وإعادة التدوير أو قبل التخلص من الوحدات بنهاية عمرها التشغيلي، وذلك لضمان إعادة استخدامها أو استصلاحها من قِبَل مراكز الإصلاح والصيانة المعتمَدة من المجلس.

- وبين في المادة (12) بأن على منتِج المخلفات التنسيق مع الإدارة المختصَّة

للتخلص من المخلَّفات الإلكترونية والكهربائية وِفْقاً للإجراءات المعمول بها، ويتم تسليم هذه المخلَّفات إلى ناقل مرخَّص له من الإدارة المختصَّة تمهيداً لنقلها إلى المواقع المرخَّصة والمخصَّصة لذلك. وُحظَر التخلص من هذه المخلَّفات في أيِّ موقع أو رميها في حاويات القمامة. وخصص الملحق 1 لبيان مواصفات حاويات جمع المخلَّفات الإلكترونية والكهربائية

17-3-5- قانون رقم (18) لسنة 2017 بشأن النظافة العامة في دولة قطر [163]

صدر في دولة قطر قانون رقم (18) لسنة 2017 بشأن النظافة العامة وتضمن القرار 15 مادة، وخصصت المادة 1 للتعريفات فعرفت البلدية المختصة بأنها البلدية الواقع في دائرتها النشاط أو المخالفة، بحسب الأحوال. وعرفت الإدارة بأنها الوحدة الإدارية المختصة بوزارة البلدية والبيئة، وتطرقت باقي المواد لمواضيع النظافة العامة، والعقوبات نتيجة مخالفة مواد القانون.

17-3-6- القرار رقم 6 الخاص باللائحة التنفيذية لإدارة النفايات الخطرة والطبية والبلدية الصلبة في دولة الكويت [164]

صدر القرار رقم 6 لسنة 2017 الخاص باللائحة التنفيذية لإدارة النفايات الخطرة والطبية والبلدية الصلبة عن الهيئة العامة للبيئة في دولة الكويت، وهو يمثل القواعد التنفيذية لأحكام المواد من 25 حتى 39 من قانون حماية البيئة رقم 42 لسنة 2014 وتعديلاته.

- تطرق هذا القرار لموضوع النفايات المشعة والنفايات الخطرة والنفايات البلدية الصلبة ونفايات الرعاية الصحية والحماة وبين القرار شروط إعطاء التراخيص للقيام بمختلف عناصر إدارة النفايات من الجمع والنقل والمعالجة والتخلص، وفصل في موضوع إقامة مرادم النفايات أو توسعتها، واحتوى القرار على عدد من الملحقات التي تساهم في تعزيز تطبيق إدارة بيئية سليمة للنفايات.

17-3-7- المرسوم السلطاني رقم 46 / 2009 في شأن قيام الشركة العمانية القابضة لخدمات البيئة (ش.م.ع.م) بإدارة وتشغيل قطاع النفايات [165]

صدر المرسوم السلطاني رقم 46 / 2009 آب/ أغسطس 2009 وتضمن المرسوم 8 مواد تقضي بتفويض مسؤولية إدارة النفايات البلدية والصناعية في سلطنة عمان إلى الشركة العمانية القابضة لخدمات البيئة وبما يتوافق مع المعايير والمواصفات البيئية العالمية. تتولى

وبعد إنشاء الشركة العمانية القابضة لخدمات البيئة «بيئة» قامت الشركة بإنجاز العديد من شراكات مع القطاع العام والقطاع الخاص ساهمت في تحسن إدارة النفايات والحفاظ على البيئة نظيفة وصحية في جميع مدن السلطنة.

17-3-8- قرار مجلس الوزراء رقم (3) لسنة 2019م المتعلق بنظام إدارة النفايات الصلبة في دولة فلسطين [166]

- صدر هذا القرار عن مجلس الوزراء في السلطة الفلسطينية، وخصصت المادة 1 من القانون للتعاريف حيث عرف المنتج ومقدم الخدمة ، و الجهات المختصة التي هي الجهة الحكومية صاحبة الصلاحية في الإشراف على عملية إدارة النفايات الصلبة، وفقاً للتشريعات النافذة.
- وبين في المادة 3 مهام الجهات المختصة بينما بين في المادة 6 أنه يتوجب على منتِج النفايات التجارية والصناعية والزراعية أو غيرها من النفايات الصلبة غير المنزلية جمعها ونقلها بطريقة سليمة وآمنة إلى الأماكن المخصصة لهذا الغرض وفقاً لأحكام هذا النظام. وأن على منتِج النفايات البلدية والخاصة الالتزام بوضع النفايات في الأماكن المخصصة لها وفقاً لتعليمات مقدم الخدمة والتخزين السليم بيئياً للنفايات قبل عمليات المعالجة أو إعادة التدوير أو التخلص النهائي منها، وفقاً لأحكام هذا النظام والتشريعات النافذة.

- وخصصت المواد 7 و8 لتحديد واجبات مقدمي الخدمة بحيث يتم الحفاظ على الصحة العامة والبيئة.

17-3-9-نظام إدارة النفايات الخطرة رقم (6) لسنة 2021م في دولة فلسطين [167]

عرفت إدارة النفايات الخطرة في هذا النظام بأنها أعمال إنتاج النفايات الخطرة أو فصلها أو فرزها أو تصنيفها أو جمعها أو تخزينها أو معالجتها أو حيازتها أو التخلص منها أو العناية اللاحقة بمواقعها، وكل ما يتعلق بجمع النفايات ونقلها.

17-3-10-القانون 49 المتعلق بـ ((نظافة الوحدات الإدارية وجماليتها)) في الجمهورية العربية السورية [168]

تضمن القانون الصادر عن وزارة الإدارة المحلية والبيئة بتاريخ 2004/12/5 سبعة فصول، خصص الفصل الأول للتعاريف حيث عرفت الوحدات الإدارية بأنها المحافظة أو المدينة أو البلدة- أو القرية أو الوحدة الريفية أو البلديات. وخصص الفصل الثاني لموضوع النفايات البلدية أما الفصل الثالث فتطرق لموضوع النفايات الصناعية، وخصص الفصل الرابع للنفايات السامة والخطرة ، والنفايات الطبية خصص لها الفصل الخامس، بينما خصص الفصل السادس لموضوع الجمالية العامة في الوحدات الإدارية، وبينت العقوبات في الفصل السابع من القانون.

17-3-11- قانون رقم 16 لعام 2020 (القانون الإطاري لإدارة النفايات) في المملكة الأردنية الهاشمية [169]

صدر في المملكة الأردنية الهاشمية قانون رقم 16 لعام 2020 (القانون الإطاري لإدارة النفايات).

تضمن القانون 32 مادة تخص جميع أنواع النفايات باستثناء ماذكر في المادة 5 أي باستثناء النفايات المشعة والانبعاثات الغازية في الغلاف الجوي ومياه الصرف الصحي والمادة الحيوية الصلبة الناجمة عنها

17-3-12- قانون رقم 9 - 10 يتعلق بتسيير النفايات ومراقبتها وإزالتها في الجزائر [170]

صدر في الجمهورية الجزائرية قانون رقم 01 -19 بتاريخ 12 كانون الأول/ ديسمبر 2001 يتعلق بتسيير النفايات ومراقبتها وإزالتها .

عرف القانون تسيير النفايات بأنه كل العمليات المتعلقة بجمع النفايات وفرزها ونقلها وتخزينها وتثمينها وإزالتها بما في ذلك مراقبة هذه العمليات. وتضمن القانون 72 مادة تخص النفايات المنزلية وماشابهها، والنفايات الضخمة والنفايات الخاصة ونفايات الانشطة العلاجية والنفايات الخاملة.

17-3-13- القانون رقم 28.00 المتعلق بتدبير النفايات والتخلص منها في المملكة المغربية [171]

صدر في المغرب في عام 2007 القانون رقم 28.00 المتعلق بتدبير النفايات والتخلص منها . وبعد ذلك صدر في المملكة المغربية ظهير شريف رقم 1-06-153 بتاريخ 22 نوفمبر/ تشرين الثاني تنفيذ للقانون رقم 1-06-153 بتاريخ 22 نوفمبر/ تشرين الثاني تنفيذ للقانون رقم 28.00 المتعلق بتدبير النفايات والتخلص منها ، وبعد ذلك تم تعديل القانون رقم 28.00 المتعلق بتدبير النفايات والتخلص منها وذلك بتاريخ 30أغسطس/آب 2012.

يرمي القانون 28.00 المتعلق بتدبير النفايات والتخلص منها إلى ارساء أسس نظام تدبير عقلاني حديث وفعال للقطاع قوامه مراعاة متطلبات التنمية المستدامة وحماية البيئة. عرف القانون تدبير النفايات بأنه كل العمليات المتعلقة بالجمع الأولي للنفايات وجمعها وتخزينها وفرزها ونقلها وإفراغها في المطارح ومعالجتها وتثمينها وتدويرها والتخلص منها بما في ذلك مراقبة هذه العمليات وحراسة مواقع المطارح (المطامر) خلال مدة استغلالها أو بعد إغلاقها، ويتضمن القانون 86 مادة مقسمة إلى تسع أقسام. غطت موضوع النفايات المنزلية والنفايات

المماثلة للنفايات المنزلية، والنفايات الصناعية والنفايات الطبية والصيدلانية والنفايات الخطرة والنفايات الخاملة. والنفايات الفلاحية (الزراعية).

17-3--14 قانون رقم 202 لسنة 2020 قانون تنظيم إدارة المخلفات في جمهورية مصر العربية [172]

صدر القانون رقم 202 في 13 تشرين الأول/أكتوبر سنة 2020 قانون تنظيم إدارة المخلفات في جمهورية مصر العربية

وتضمن القانون 80 مادة، خصصت المادة 1 لتعاريف العبارات والمصطلحات الواردة في القانون . حيث عرفت الجهات الإدارية المختصة بأنها الجهة المسؤولة عن إدارة المخلفات وهي المحافظة بنطاقها الإداري أو أجهزة هيئة المجتمعات العمرانية وذلك فيما يخص المخلفات غير الخطرة، وأيضا الوزارة المختصة بحسب الأحوال فيما يخص المواد والمخلفات الخطرة. وعرض في المادة 2 مهام الجهات الأدارية المختصة بالمخلفات غير الخطرة . ودعت المادة 3 إلى إنشاء هيئة عامة تسمى جهاز تنظيم إدارة المخلفات وبينت مهام هذا الجهاز. وذكر في المادة 15 أنه يتوجب على مولد النفايات أو حائزها اتخاذ جميع التدابير اللازمة والضرورية الخاصة بالتسلسل الهرمي لإدارة المخلفات. وبين في المادة 16 أن مولد المخلفات أو حائزها يتحمل تكلفة الإدارة المتكاملة للمخلفات بطريقة آمنة صحيا وبيئيا .

الفصل الثامن عشر

التوصيات

التوصيـــات

تمثل إدارة النفايات الصلبة تحدياً في الدول النامية ومنها الدول العربية، ولكن إنشاء نُظُم متكاملة لإدارة النفايات الصلبة مصممة جيداً في الدول العربية بمثابة موارد لإعادة الاستخدام والتدوير، وخلق فرص عمل جديدة، وتقليص من انبعاث غازات الاحتباس الحراري.

ومن أجل التحسين والوصول إلى إدارة متكاملة للنفايات الصلبة نوصي بما يلي:

- إنشاء قاعدة بيانات ومعلومات النفايات الصلبة. وستتيح المعلومات بشأن كميات النفايات المنتجة وتكوينها اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن الاستثمارات وانتقاء التكنولوجيات. ومن أجل كفالة تغطية فعالة للخدمات، وتشجيع الوصول إلى المعلومة البيئية وتعميمها للجميع.
- ثمة حاجة ماسة لاستحداث وتنفيذ أطر سياساتية وقانونية ومؤسسية شاملة على الصعيد الوطني، دعماً للإدارة المستدامة للنفايات الصلبة. ويمثل تحقيق عدم المركزية وتمكين السلطات المحلية أمراً حيوياً لضمان حصول الجميع على خدمات إدارة النفايات الصلبة الكافية والآمنة وبأسعار معقولة. إلا أن الأمر يتطلب العمل على إتاحة التمويل وتوفير إمكانية الحصول عليه، وهو شرط مسبق لإنشاء النُظُم والهياكل الأساسية لإدارة النفايات، وذلك على الصعيدين الوطني والمحلي على حد سواء. وينبغي أن يكون ذلك مقترنا بالاستعانة بمختلف الصكوك والآليات المالية من أجل كفالة الاستدامة. ويمكن أن تشكل آلية التنمية النظيفة مصدراً جيداً لتدفق الإيرادات التراكمية في سياق تنفيذ وتشغيل مشاريع إدارة النفايات. وينبغي بذل جهود متضافرة، من أجل تشجيع السلطات المحلية في الدول العربية على الاستفادة من هذه الآليات المالية الدولية.

- تتمثل بداية النجاح في إدارة النفايات في تقليل إنتاج النفايات بتقليص معدل انتاج الفرد من النفايات الصلبة المنزلية.
- يُعد الفرز من المصدر للنفايات الجافة القابلة لإعادة الاستخدام أو لإعادة التدوير عن النفايات الرطبة القابلة للتحلل الحيوي عنصراً أساسياً في إدارة النفايات، لأن خلط النفايات الورقية ونفايات النسيج مع النفايات الرطبة القابلة للتحلل الحيوي يؤدي إلى تلويث النفايات الورقية ونفايات النسيج مما يجعل تدوير الورق والنسيج غير ممكن.
- تساهم إعادة الاستخدام وإعادة تدوير النفايات في خلق الوظائف الخضراء. وزيادة اعتماد التكنولوجيات والعمليات الصناعية النظيفة والسليمة بيئياً سيساهم في تقليل انتاج النفايات.
- ونوصي مخططي إدارة النفايات باتباع نهج شامل لا يقتصر فقط على السلطات وشركات إدارة النفايات فحسب بل يعمل أيضاً مع مجموعة واسعة من أصحاب المصلحة.
- يلزم اعتماد نهج كلّي في تنسيق الإجراءات الرامية إلى تأسيس الاقتصاد الدائري في مجال إدارة النفايات، والتعامل معه من خلال الحوكمة الاستباقية التي تدعم استخدام النفايات كموارد وإزالة الحواجز عند الاقتضاء.
- ينبغي القضاء على الردم العشوائي والحرق المفتوح وضمان الإدارة المستدامة والسليمة بيئياً لجميع النفايات ولا سيما النفايات الخطرة. والتأكد من إخضاع جميع النفايات الخطرة للمراقبة السليمة، وتكوين أنظمة مراقبة و /أو تتبع النفايات في البلد لتحديد والتحكم في كل حركة النفايات إلى المواقع المصرح بها التي توفر النقل والتخزين والمعالجة والتخلص و/ أو التصدير بشكل آمن ومضمون، خاصة بالنسبة للنفايات الخطرة التي تتطلب معالجة متخصصة، من أجل إزالة التلوث وتأثيره السلبي على البيئة وعلى صحة الإنسان، وتحسين إطار الحياة.

- وتمثل مسائل التوعية والتثقيف وبناء القدرات في مجال إدارة النفايات على كافة الاصعدة وإشراك كافة أصحاب المصلحة أمورا أساسية في إنجاح إدارة النفايات في الدول العربية.
- ونوصي بالاعتراف بالقطاع غير الرسمي ودراسة إمكانيات إدماجه رسمياً في عملية إدارة النفايات لأن في ذلك فائدة لكافة أصحاب المصلحة، وتشجيع إشراك القطاع الخاص في ميدان إدارة النفايات بتعزيز البيئة التشريعية في البلدان العربية من أجل تهيئة بيئة مؤاتية لتعزيز ظروف الحياة والعمل في القطاع غير الرسمي والخاص.
- على مستوى التكنولوجيا نوصي بإعداد مبادئ توجيهية تقنية تتعلق بالدول العربية تكون ملائمة للسياق المحلي، ويمكن أن يشمل ذلك المبادئ التوجيهية الخاصة بمطامر النفايات السليمة بيئيا (فيما يتعلق باختيار الموقع، والتصميم، وعمليات التشغيل، والإغلاق)، والمعايير والمبادئ التوجيهية المتعلقة بالمحارق المنشأة لتدمير نفايات الرعاية الصحية . ويجب أن تتناول المبادئ التوجيهية المسائل التي تتسم بالتعقيد من قبيل معالجة السوائل الراشحة ومصانع تحويل النفايات إلى غاز حيوي.
- وينبغي اعطاء الأولوية إلى الخيارات التكنولوجية التي تنطوي على استعادة الموارد (المواد والطاقة). وثمة حاجة لتشجيع تكنولوجيات تحويل النفايات إلى الغاز الحيوي من أجل الاستفادة من المحتوى العضوي الثري (أكثر من 50%) ويمكن أن يمثل تحويل النفايات إلى طاقة خيارا محتملا لتأمين الطاقة.
- وبالرغم من وجود احتياج للتكنولوجيات ذات الصلة من الدول المتقدمة صناعياً من أجل التعامل مع تدفقات النفايات التي تتسم بالتعقيد من قبيل النفايات الإلكترونية والنفايات الخطرة، ينبغي إعطاء الأفضلية للتكنولوجيات المحلية والتشجيع عليها لأقصى قدر ممكن.
- كثيراً ما تكون المعلومات المتعلقة بالتكنولوجيات الملائمة (مدفوعة) من

جانب موردي/بائعي التكنولوجيا الذين يوصون بالاستعانة بتكنولوجيات بعينها . ومن المهم الاضطلاع بتقييمات مستقلة وسيتيح تحسن إمكانية الوصول إلى تكنولوجيات المعلومات ذات الصلة أساساً مفيداً للعمل في هذا الصدد.

- في الدول العربية يتسم استخدام التكنولوجيا الملائمة بالتباين. وعليه يجب التحقق من ملاءمة التكنولوجيا باستخدام أطر متكاملة (اقتصادية وبيئية واجتماعية) من قبيل تقييم استدامة التكنولوجيات. وهذا التقييم قائم على المشاركة بشكل كبير، ومن ثم فهو يعكس الأفضليات والقرارات المحلية. عند القيام باختيارات فيما يتعلق بالتكنولوجيات سيكون تقاسم ورقات البيانات الخاصة بالتكنولوجيا أمراً مفيداً من أجل تكوين فهم للمعدات والتكنولوجيات الأكثر ملاءمة.

- نوصي بأن يعمل الباحثون الجامعيون والعاملون والأخصائيون الميدانيون في إطار من الشراكة من أجل تطوير تكنولوجيا ملائمة تتسم بالفعالية من حيث التكلفة والتوصل إلى حلول ووضع معايير. وقد يوجد هذا أوجه للتكيف وابتكارات في تكنولوجيات تحويل النفايات إلى موارد. وينبغي توفير التمويل من أجل دعم الأبحاث القائمة على الشراكة وذات المنحى العملي.

- ينبغي بذل جهود مكثفة من جانب المنظمات الإقليمية، والعمل مع منظمات الأمم المتحدة، ومؤسسات التمويل الدولية والشركاء الآخرين من أجل تحسين إدارة النفايات الصلبة في الدول النامية لأن ذلك سيقلل من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري وسيخفف من تغير المناخ العالمي.

الرموز والمختصرات

الاســـم	Abbreviation	Name
المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة	ACSAD	Arab Center For The Studies Of Arid Zones And Dry Lands
مرافق المعالجة المسموحة	ATF	Allowable Treatment Facilities
الدراسات الأساسية لتقييم الأثر البيئي والاجتماعي	BESIA	Basic Environmental and Social Impact Assessment
النفايات البلدية القابلة للتحلل	BMW	Citizen Engagement
الأكسجين المستهلك للأكسدة الحيوية	BOD	Biological Oxygen Demand
تحليل الكلفة والفوائد	CBA	Cost Benefit Analysis
نفايات البناء والهدم	C@D waste	Construction and Destruction Waste
آلية التنمية النظيفة	CDM	Clean Development Technology
إشراك المواطنين	CE	Citizen engagement
الأكسجين المستهلك للأكسدة الكيميائية	COD	Chemical Oxygen Demand
منظمات المجتمع المدني	CSO	Civil Society Organizations
القيمة الحرارية	CV	Caloric Value
استهلاك المواد المحلية	DMC	Domestic Material Consumption
إدارة مخاطر الكوارث	DRM	Disaster Risk Management

المجلس الأوربي	EC	European Council
أوروربا ومنطقة آسيا الوسطى	ECA	Europe And Central Asia
خطة الإدارة البيئية	EMP	Environmental Management Plan
تقييم الأثر البيئي	EIA	Environmental Impact Assessment
نظام الإدارة البيئية	EMS	Environmental Management System
مسؤولية المنتج الممتدة	EPR	Extended Product Responsibility
قيمة العائدات الاقتصادية	ERR	The Value of Economic Returns
لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا	ESCWA	United Nations Economic and Social Commission for Western Asia
دراسة تقييم الأثر البيئي والاجتماعي	ESIA	Environmental and Social Impact Assessment Study
خطة الإدارة البيئية والاجتماعية	ESMP	Environmental and Social Management Plan
الاتحاد الأوروبي	EU	European Union
منظمة الأغذية والزراعة	FAO	Food Agriculture Organization
الوكالة الأوربية للبيئة	FEA	European Environment Agency
دراسة الجدوى	FS	Feasibility Study
مكافاة دوام كامل	FTE	
الناتج المحلي الإجمالي	GDP	Gross Domestic Product
غازات الاحتباس الحراري	GHG	Greenhouse Gases

الجمعية الألمانية للتعاون الدولي	GIZ	
نظام تحديد المواقع العالمي	GPS	Global Positioning System
نفايات خطرة	HW	Hazardous Waste
البولي ايتلين عالي الكثافة	HDPE	High Density Polyethylene
بلد مرتفع الدخل	HIC	High Income Country
النفايات الصلبة الخطرة	HSW	Hazardous Solid Waste
التحكم المتكامل في التلوث	IPC	Integrated Pollution Control
تكنولوجيا المعلومات والاتصالات	ICT	Information And Communication Technology
وكالة التنمية الدولية	IDA	International Development Agency
الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ	IPCC	Intergovernmental Panel On Climate Change
الوكالة الدولية للطاقة المتجددة	IRENA	International Renewable Energy Agency
الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة	ISWM	Integrated Solid Waste Management
كيلو /الشخص/ اليومي	Kg/capita/ day	Kilo capita Daily
تحليل دورة الحياة	LCA	Life Cycle Analysis
أمريكا اللاتينية ومنطقة البحر الكاريبي	LCR	Latin Caribbean Region
أقل البلدان نموا	LDCs	Least Developed Countries
غاز مطامر النفايات	LFG	Land Fill Gas
بلد منخفض الدخل	LIC	

بلد منخفض – متوسط الدخل	LMIC	Low-Middle-Income Country
المعالجة الميكانيكية البيولوجية	MBT	Mechanical Biological Treatment
التحليل متعدد المعايير	MCA	Multi-Criteria Analysis
الرصد والتقييم	M&E	Monitoring And Evaluation
الأهداف الإنمائية للألفية	MDG	Millennium Development Goals
الاتفاقيات البيئية المتعددة الأطراف	MEA	Multilateral Environmental Agreements
الشرق الأوسط ومناطق شمال افريقيا	MENA	Middle East And North African
تسهيلات إعادة استخدام المواد	MRF	Material Reuse Facility
النفايات الصلبة البلدية	MSW	Municipal Solid Waste
النفايات الطبية	MW	Medical Waste
خطة التنمية الوطنية	NDP	National Development Plan
منظمة غير حكومية	NGO	Non Governmental Organization
منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية	OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
التشغيل والصيانة	O&M	Operating And Maintenance
السياسة التشغيلية	OP	Operational Policy
إطار تقييم المخاطر التشغيلية	ORAF	Operational Risk Assessment Framework
الأشخاص المتضررين من المشروع	PAP	Project Affected People
عملية جمع النفايات بصورة أولية	IWCP	Initial Waste Collection Process
وقود مشتق من النفايات	RDF	Waste-Derived Fuel

منطقة جنوب آسيا	SAR	South Asia Region
إدارة النفايات الصلبة	SWM	Solid Waste Management
برنامج إدارة النفايات الصلبة	SWMP	Solid Waste Management Program
محطة تحويل	TS	Transfer Station
برنامج الأمم المتحدة الإنمائي	UNDP	United Nations Development Programme
مكتب الأمم المتحدة لخدمات المشاريع	UNOPS	United Nations Office for Project Services
البنك الدولي	WB	The World Bank
مجموعة البنك الدولي	WBG	World Bank Group
برنامج الغذاء العالمي	WFP	World Food Program
مخلفات المعدات الإلكترونية	WEEE	Waste of Electric and Electronic Equipment

جدول المصطلحات العلمية

انكليزي – عربي

- A -		
Absorption		امتصاص
Absorption ditch		حفرة امتصاص
Acid forming bacteria		البكتريا الصانعة للحمض
Acidogenesis		البكتريا الصانعة للحموض
Actinomycetes		الأكتينومايسيتس
Activated carbon		كربون منشط
Adsorption		الامتزاز – الادمصاص
Advantages		ايجابيات
Aerated Static Pile		الأكوام المهواة قسرياً
Aeration		تهوية
Aeration Tank		حوض التهوية
Aerobic bacteria		البكتريا اللاهوائية
Aerobic Decomposition		التحلل الهوائي
Aerobic Digestion		الهضم الهوائي
agricols waste		النفايات الزراعية
Agriculture Intensive		الزراعة المكثفة
Agricultural Wastes		النفايات الزراعية
Air Pollution		تلوث الهواء
Air Stripping		التجريد بالهواء
Air classifiers		مصنف هوائي

Alchole		الكحول (الغول)
Algae		أشنيات (طحالب)
Ammonia		الأمونيا
Anaerobic bacteria		البكتريا اللاهوائية
Anaerobic digestion		هضم لاهوائي
Angle of repose		زاوية الاستقرار
Ash		الرماد
Atmosphere		الغلاف الجوي
Attenuation		التخفيف
Auxiliary Supplementary Raw Materials Quality control		اختيار نوعية وطبيعة المواد الخام المساعدة
average particle size		حجم الحُبيبات المتوسط للخليط
- B -		
Bacteria		بكتريا
Bacteriological		البكتريولوجية
Bacteriological (bacterial) Properties of Solid Wastes		الخواص الجرثومية (البكتريولوجية) للنفايات الصلبة
Basin		حوض
Belts Magnets		مفرقات المغناطيسية على شكل أحزمة
Biochemical Oxygen Damaged (BOD)		سير ناقل طلب الأكسجين البيوكيميائي
Biogas		غاز حيوي
Biological Activity		النشاط البيولوجي
Biological Properties of Solid Wastes		الخصائص الحيوية للنفايات الصلبة
Biomass		الكتلة الحية (البيولوجية)

Bitumen		الاسفلت
Blowers		نافثات هواء
Boiler		مرجل
Bottom ash		رماد القاع
Boxes and Container Composting		صناديق وحاويات التحويل إلى كمبوست
Bulk and material density		كثافة كتل المواد والكثافة الظاهرية
Butyric Acide		حمض الزبدة
Buy-back Centers		مراكز لإعادة الشراء
- C -		
Calcium		كالسيوم
Caloric value		القيمة الحرارية
calorimeter		المسعر الحراري
Carbon Adsorption		الامتزاز بالكربون المنشط
Carbon dioxide		ثاني أكسيد الكربون
Carcinogenic		المواد المسرطنة
Catalytic incineration		الترميد بالحفز
Cell		حوض – خلية
Cellulose		سيللوز
Centrifuge		القوة النابذة
Centrifugation		الطرد المركزي
Channal/Tunnel Composting		قنوات وأنفاق التحويل إلى كمبوست
Chelation		الاستخلاب
Chemical treatment		معالجة كيميائية

Chemical composition		المكونات الكيميائية
Chemical neutralization		التحييد (المعادلة الكيميائية)
Chemical Oxidation		الأكسدة الكيميائية
Chemical Oxygen Demeaned (COD)		طلب الأكسجين الكيميائي
Chemical Precipitation		الترسيب الكيميائي
Classification of wastes		تصنيف النفايات
Clay pipe		أنابيب من الخزف
Cleanout		تنظيف
Coagulation		تخثير
Coefficient of absorption		معامل الامتصاص
Coliform		الكوليفوروم
collection capacity		سعة الجمع
Collection Line		خط التجميع
Collection Pipe		أنبوب التجميع
Collection Frequency		تواتر/تكرار عملية الجمع
Collection Vehicles		آليات التجميع
Colloid		غروي
Control Field Survey Inventory		الاهتمام بعمليات المسح التحكمي
Closure maintenance plan		خطة إغلاق المطمر الميداني
Combined Transfer Stations		محطات الترحيل المختلطة
Combustibles derivatives		تحويل النفايات إلى محروقات مشتقة
Commercial Solid wastes		النفايات الصلبة التجارية
Commercial waste		النفايات التجارية

Completely suspended		المعلقات الكاملة
Composting		التحويل إلى محسنات التربة
Compressed air		الهواء المضغوط (كومبوست)
Concrete pad		وسادة خرسانية
Contained Enclosed, In-Vessel Systems		أنظمة مغلقة
Contamination		تلوث
Corrosion		التآكل
Cycles of decay		دورات التحلل
Cylindrical tank		حوض اسطواني الشكل
- D -		
Hazardous waste		النفايات الخطرة
dead heading		الرحلات الخالية من التقاط النفايات
Consumption Rate Reduction		تقليل معدلات الاستهلاك
Degradable		قابل للتحلل
Degree of mixing		درجة المزج
Demolition and construction wastes		نفايات الإنشاء والهدم
Density		الكثافة
Deoxygenating		نزع الأكسجين
Deposits		رواسب
Design		تصميم
design life		العمر التصميمي
Design of environmental monitoring system		تصميم نظام المراقبة البيئية
Design period		زمن أو مدة التصميم

Determination of leachate quality and quantity		تحديد نوعية وكمية العصارة
Stage		المرحلة
Dewatering		إزالة الرطوبة
Diagram		رسم تخطيطي
Diffusion		انتشار
Digesting		هضم
Direct contact		التماس المباشر
Direct load transfer stations		محطات الترحيل المباشرة
Discharge pipe		أنبوب تصريف
Disintegration		انحلال، تفسخ، تحطم تفتت
Dispersion		انتثار، تشتيت، تفريق
Disposal		تخلص
Dissolved oxygen sag		النقص في الأكسجين المنحل
Dioxin		الديوكسن
Domestic waste		النفايات المنزلية
Domestic wastewater		مياه الصرف المنزلية
Domestic solid wastes		نفايات صلبة منزلية
door-to – door service		أسلوب التجميع من باب إلى باب
Down cycling		أقل جودة
Down feed system		التغذية غير المباشرة
Drainage network		شبكة تصريف
Design of environmental monitoring system		تصميم نظام المراقبة البيئية
Destructive distillation		التقطير الإتلافي أو التحطيمي

drag chains		السلاسل الساحبة
drop boxes		العربات ذات الحاويات القلابة الهابطة
Drum Magnets		المفرقات المغناطيسية الأسطوانية
Drying beds		أحواض (أسرة) التجفيف
dry collection hopper		قمع جمع جاف
Dry well		بئر جاف
Double liner system		نظام الطبقة المزدوجة
Dump		مكب
Dust		الغبار
- E -		
Earth		التربة- الأرض
Earthen reservoirs		الخزانات الأرضية
Ecotoxic		المواد السامة للبيئة
Eggs Develop		مراحل نمو البيضة
Energy		طاقة
Energy content		محتوى الطاقة
Elutriation		الترويق
Effective force		قوى فعالة
Efficiency		الكفاءة
Emergency spillway		مصرف للطوارئ
emissions		انبعاثات
Encrustation of pipe		انسداد الأنبوب
Endothermic		ماصة للحرارة
Energy recovery		استرجاع الطاقة

Equivalent length		الطول المكافئ
Erosion		التعرية
Estimation of leachate quality & quantity		تقدير نوعية العصارة بالمطمر وكميتها
Estimation of the moisture &content		تقدير محتوى الرطوبة
Ethylene dichloride		ثنائي كلور الإيثيلين
European Commission		المفوضية الأوربية
Evaporation		التبخير
Evaporator		مبخر
Evapotranspiration		الانفضاج التبخري
E-WASTE		النفايات الإلكترونية
Explosion		انفجار
Explosive substances		المواد القابلة للانفجار
Extraction		الاستخلاص
- F -		
Fast pyrolysis		التحلل الحراري السريع
Filtration		الترشيح
Filtration rate		معدل الترشيح
Fine particles		حبيبات/جسيمات ناعمة
First Stage Of Larval Period		الطور الأول من مرحلة اليرقة
Fixture unit		وحدة تصريف (وحدة تغذية)
Flammable		قابلية الاشتعال
Floating pumping station		محطة ضخ عائمة
Floor drain		مصرف أرضي

Flotation		التعويم (التطويف)
Flow		تدفق
Fluidized bed incinerator		أفران الترميد/ المحارق ذات السرير المميع
Flush tanks		أحواض الدفق
fly ash		الرماد المتطاير
Food wastes		النفايات الغذائية
Force of gravity		قوى الجاذبية
Flammable		قابلية الاشتعال
Flammable substances		المواد القابلة للاشتعال
fungi		الفطريات
Fume		دخان
furans		الفيوران
- G -		
Garwood Load Packer		شاحنة تتضمن ضاغط ميكانيكي
Gas – flaring Station		محطة إحراق الغاز
Gas holding tank		حوض جمع الغاز
Gas leak detector		كاشف تسرب الغاز
Gasification		التغويز(التحويل إلى غاز)
Geology		الجيولوجيا
General Chemical Analysis of Solid Waste		التحليل الكيميائي العام للنفايات الصلبة البلدية
Germicidal		مبيد للجراثيم
grates		شبكة قضبان حديدية
Gravel		حصى

Gravity		الجاذبية
greenhouse effect		أثر البيت الزجاجي
Ground relief		تضاريس الأرض الطبيعية
Ground surface		سطح الأرض
Ground water□□□		مياه جوفية
Growth yield		نتاج النمو
- H -		
Hard plastic		البلاستيك الصلب
Harmful		المواد الضارة ضار
Hauled – Container System (HCS)		نظام الحاويات المنقولة
Hazardous waste		نفايات خطرة
Health hazards of burning of municipal solid wastes		خطر حرق المخلفات البلدية الصلبة للمدن على الصحة
Heat		الحرارة
Heat value		القيمة الحرارية
Heat utilization		استخدام الحرارة
Heavy metals		معادن ثقيلة
Heterotroph		غيرية
Hexavalent Chromium		الكروم السداسي
Highly acidic		درجة حموضة عالية
High calorific value		القيمة الحرارية العليا
High pressure		الضغط المرتفع
High-Tec		أنظمة عالية التكنولوجيا
Humidity		رطوبة

Humus		الدبال
Hydraulic elements		العناصر الهيدروليكية
Hydraulic seal		عازل هيدروليكي
Hydraulic slope		الميل الهيدروليكي
Hydrocarbons		الهيدروكربونات
Hydrocracking		التفكيك المائي
Hydrology		الهيدرولوجيا
Hydrolysis		تحلل بالماء
Hydrostatic pressure		الضغط الهيدروستاتيكي
Hygroscopic		ماص للرطوبة
- I -		
Ignitability		قابلية الاشتعال
Impacts of solid waste		تأثيرات النفايات الصلبة
Impervious		لامسامي
Impounding reservoirs		خزانات التجميع
Impurities		ملوثات، شوائب
inept-operation		التشغيل غير الملائم
Incineration		ترميد، حرق النفايات
Incinerator		مرمد/محرقة
expansion area		مناطق التوسع
Index		معامل
Industrial waste		النفايات الصناعية
Inert		خامل
Infiltration		ارتشاح (تسرب)

Influence		تأثير
Integrated management		الإدارة المتكاملة
Intermediate Transfer stations		محطات النقل التحويل الوسيطة
Iron bacteria		البكتريا الحديدية
- K -		
Ketones		الكيتونات
Kiln		فرن
- L -		
Landfilling of solid waste		طمر النفايات الصلبة
Landfills		المطامر الصحية، مواقع الردم الصحي
Landfill boundary		حدود لموقع الردم
Land filtration		الترشيح الأرضي (عبر التربة)
Layout map		مخطط الموقع العام
Leach		ارتشاح، تسرب
Leachate		العصارة ، الرشاحة
Leachate drainage collection & removed system		نظام جمع وتصريف العصارة
Leachate management		إدارة عصارة نفايات المطمر
Lead		رصاص
level sites		محطات على مستوى سطح
live bottom, walking floor		الأرض الأرضية الحية (الأرضية المتحركة)
Loader		جرار التحميل
Low - Tec		أنظمة منخفضة التكنولوجيا

- M -		
Magnetic separation		الفرز المغناطيسي
Maintenance		الصيانة
Management of waste		إدارة النفايات
Mass Balance		موازنة الكتلة
Material		مادة
material recycling		تدوير المواد
Mechanical treatment		معالجة ميكانيكية
medical waste		النفايات الطبية
Mercury		زئبق
mesophilic		البكتريا الأليفة لدرجات الحرارة المعتدلة
Metal grid		حاجز قضباني معدني
Meteorological condition		الحالة الجوية
Methanogens		البكتريا الصانعة للميثان
Micro organism		الأحياء الدقيقة (عضويات مجهرية)
micro routing Collection routes		المسار الصغير
Mid -Tec		أنظمة متوسطة التكنولوجيا
millipede		دودة ألفية الأرجل
Mineral wastes		نفايات معدنية
Minimum calorific value		القيمة الحرارية الدنيا
Minimum grades		الميول الصغرى
Moisture		الرطوبة
Municipal solid wastes		النفايات الصلبة البلدية
Municipal Solid Waste Sampling Methods		طرق أخذ عينات النفايات الصلبة البلدية

- N -		
nematode		الدودة الخيطية
Neutralization		التعديل الكيميائي
Nitrate		النترات
Nitrification		النترجة
no putrescible		مواد غير قابلة للتحلل الحيوي
- O -		
Open or Outdoor Systems		أنظمة مفتوحة
operation Phases		المراحل المتعاقبة لتشغيل المطمر
Organic		عضوي
Organic acid		حامض عضوي
Organic Matter		مادة عضوية
Organic loading		الحمولة العضوية
Odor		الرائحة
Odor removal		إزالة الروائح
Off-site recovery		الاستعادة خارج الموقع
Open composting		محسنات التربة بالتقليب المفتوح
Operating cost		تكلفة التشغيل
Oxidation and reduction		الأكسدة و الإختزال
Oxidizing		المؤكسد
Oxygenation		اضافة الاكسجين
Oxygen deficit		العجز الأكسجيني
- P -		
packers		سيارات نقل النفايات

Parameter		المعامل
Particles		جسيمات دقيقة
Particle size		التركيب الحبي
Permanent Suspended Magnets		المفرقات المغناطيسية الدائمة المعلقة
Permeability		قابلية النفاذة
Permeable		منفذ
Physiological characteristics		الصفات الفيزيولوجية
Piezometric head		الضغط البيزومتري
phytotoxcity		السمية النباتية
Pipe insulation		عزل الأنابيب
Pipe jointing compound		مركب لوصل الأنابيب
Planning		تخطيط
Plasma conversion		التحويل البلازمي
Plastic pipes		أنابيب بلاستيكية
Pollutants		ملوثات
Pollution		تلوث
Pollution Loads		الحمولات الملوثة
poly chlorinated biphenyls (PCBs)		ثنائي الفينيل متعدد الكلور
Polyethylene		طبقة عازلة من البولي ايثلين
Population growth		تزايد السكان
population sample		عينة سكانية
Pores		مسامات
Porosity		مسامية

Porous		مسامي
Porous stratum		طبقة مسامية
Preciousness		نفاسة
Preliminary treatment		المعالجة الابتدائية
Pressure loss		فاقد الضغط
Principal Raw Materials Quality Control		التحكم في اختيار نوعية المواد الخام الأساسية
Product Lifetime		العمر الافتراضي للمنتج
product recycling		إعادة تدوير المنتج
Proper environment		البيئة الملائمة
Properties of solid waste		خواص النفايات الصلبة
Product reuse		إعادة استخدام المنتج
Pupal Stage		مرحلة العذراء
push blade		الحافة الدافعة
Putrefaction		التعفن
pyrolysis		التحلل الحراري
- R -		
Radioactive wastes		النفايات المشعة
Reactive		متفاعل
Reclamation		الاستصلاح والاسترداد
Recovery		الاسترجاع
Recycling		التدوير
Reduction		التقليل
Reduction Raw Material Volume		التقليل من حجم الماد الخام

Refuse		مرفوضات
Refuse-derived fuel (RDF)		وقود مشتق من النفايات
Reservoir		خزان
Residual Resources Research		أبحاث بقايا الموارد
Re-use		إعادة استخدام
Reverse osmosis (RO)		التناضح العكسي
Re-water		مياه الحلقات المغلقة
Rotating kiln		أفران الترميد ذات الأسطوانة الدوارة
Rough pipe		أنبوب خشن
Rotary Drum Composting		التحويل إلى كمبوست في الأسطوانات
Rotary screens		الدارة غرابيل دوارة
rubbish		القمامة
- S -		
Sale for reuse off-site		البيع من أجل إعادة الاستخدام خارج
Sand		الموقع رمل
Sanitary filling		الردم بالطريقة الصحية
Sanitary landfill		الطمر الصحي
Scrap		خردة
scraper		جرافة
Screen		مصفاة
Screening		الغربلة
scrubber		غاسلات الغازات
Scum		الخبث
Second Stage Of Larval Period		الطور الثاني من مرحلة اليرقة

Sedimentary deposits		نفايات رسوبية
Separation and volume reduction		الفصل و تخفيض الحجم
Sewage Sludge		حمأة ورواسب محطات معالجة مياه
Single composite liner system		الصرف الصحي نظام الطبقة المركبة المفردة
Single liner system		نظام الطبقة المفردة
Sludge digestion		هضم الحمأة
Sludge dewatering		إزالة المياه من الحمأة (التجفيف)
Sludge drying beds		أحواض تجفيف الحمأة
Sludge thickening		تكثيف الحمأة
Smooth pipe		أنبوب أملس
Smooth disposal system		نظام التخلص السلس
Solid refuse		النفايات الجافة (القمامة)
Solid waste collection routes		مسارات جمع النفايات
Solvant		مذيب
Source reduction		التخفيض عند المصدر
Specific gravity		الوزن الجاذبية النوعية
split stratophic level		محطات على مستويين مختلفين
standardization		توحيد القياس
Stationary – Container System (SCS)		نظام الحاويات الثابتة
Storage capacity		سعة التخزين
Substrate		ركيزة
Substitution		الاستبدال
Surface water		مياه المصادر السطحية

Surface water drainage system		نظام تصريف المياه السطحية للمطمر
Suspended solids		مواد صلبة معلقة
sustainable development		التنمية المستدامة
System		نظام
Surface water drainage system		نظام تصريف المياه السطحية للمطمر
- T -		
Tail race channel		قناة تصريف
Teratogenicity		التشوه الخلقي
Thermal incineration		الترميد الحراري
Thermophilic		البكتريا الأليفة لدرجات الحرارة
Thermoplastique		العالية البلاستيك الحراري
Thin Film Plastic		أكياس البلاستيك
Third Stage Of Larval Period		الطور الثالث من مرحلة اليرقة
tipper		الشاحنة القلابة
total collection capacity		سعة الجمع الكلية
Total Period		المدة الكلية
Toxic		سام
Toxicity Reduction		الخفض من درجة سمية النفاية
Toxic substance control act (TSCA)		قانون التحكم بالمواد السامة
transfer-point		نقطة انتقال
Transfer station		محطات التحويل
Transition flow		الجريان الانتقالي
Traps		المصائد

Treatment		المعالجة
Treatment and disposal alternatives		بدائل التخلص و المعالجةَ
Treatment plant wastes		نفايات محطات المعالجة
Trivalent Chromium		الكروم الثلاثي
Turbidity unit		وحدة العكارة
Turbulent flow		الجريان المضطرب
Tunnels		أنفاق
- U -		
Ultimate analysis		التحليل العنصري (التحليل النهائي الشامل)
Unit capacity		سعة الوحدة
Underground stratum		طبقة جوفية
unprocessed municipal solid waste		النفايات البلدية غير المصنعة
Urban waste		النفايات البلدية
U-turns		المنعطفات الراجعة
- V -		
Vacuum filtration		الترشيح الانفراغي
Velocity		سرعة
Ventilation		تهوية
Vents		أنابيب التهوية
Vent system		نظام التهوية
Vent pipe		أنبوب تهوية
Vital		حيوي
Volatile acid		حامض طيار

Volatile solids		المواد الصلبة المتطايرة
volatilization		التطاير
Volume-based fee system		رسوم على أساس الحجم
- W -		
Washing		غسيل
Waste		نفايات
Wastes disposal		التخلص من النفايات
wastes of open zones		نفايات المناطق المفتوحة
Waste Piles		أكوام النفايات
Waste Stream Segregation		الاهتمام بعملية فصل النفايات
waste volume and landfill capacity		حجم النفايات الصلبة وسعة المطمر
Weight-based fee system		تحصيل رسوم على أساس الوزن
Wet combustion		الاحتراق الرطب
Wetland areas		المناطق الرطبة
windrow composting		محسنات التربة بالسرابات
Woven fabric		النسيج المحاك
- Z -		
Zero waste		التخلص نهائيا من النفايات
Zero waste society		مجتمع لا يحتوي نفايات نهائيا

المصادر والمراجع

المصادر والمراجع

[1] Silva, A.; Rosano, M.; Stocker, L.; Gorissen, L. From waste to sustainable materials management: Three case studies of the transition journey. Waste Manag. 2017, 61, 547–557. [CrossRef] [PubMed]

[2] Taelman, S.E.; Tonini, D.; Wandl, A.; Dewulf, J. A Holistic sustainability framework for waste management in European Cities: Concept development. Sustainability 2018, 10, 2184. [CrossRef]

[3] Zohoori, M.; Ghani, A. Municipal Solid Waste Management Challenges and Problems for Cities in Low-Income and Developing Countries. Int. J. Sci. Eng. Appl. 2017, 6, 39–48. [CrossRef]

[4] Rodi´c, L.; Wilson, D.C. Resolving governance issues to achieve priority sustainable development goals related to solid waste management in developing countries. Sustainability 2017, 9, 404. [CrossRef]

[5] Majeed, A.; Batool, S.A.; Chaudhry, M.N. Informal Waste Management in the Developing World: Economic Contribution through Integration with the Formal Sector. Waste Biomass Valoriz. 2017, 8, 679–694.

[6] Wilson, D.C.; Velis, C.A. Global Waste Management Outlook; UNEP: Nairobi, Kenya, 2015; Volume 33, ISBN 1096–3669.

[7] د.بنود عبد الحكيم و د.بدور الهام 2013 « إدارة النفايات الصلبة وطرق معالجتها»، منشورات جامعة حلب 2013.

[8] د.بنود عبد الحكيم 2019 « دليل المهندس ، تصميم أنظمة مياه الشرب والصرف الصحي والنفايات الصلبة في المدن والمباني» ، منشورات فرع حلب لنقابة المهندسين السوريين 2019 ، ص 496.

[9] Mark Lennon 2005, " RECYCLING CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTES A Guide for Architects and Contractors" The Massachusetts Department of Environmental Protection With Support from: Armstrong World Industries Commercial Paving and Recycling Co. ERRCO C&D Recycling Gypsum Association Interface Flooring Systems.. The Institution Recycling Network

[10] the International Solid Waste Association (ISWA) 2013" WASTE ATLAS 2013 Report"

[11] نديم فرج الله ورفاقه 2017 «دور النظم غير الرسمية في استدامة المدن وقدرتها على الصمود «، تقرير بحثي نشر من قبل معهد عصام فارس للسياسات العامة والشؤون الدولية في الجامعة الأميركية في بيروت، أيلول 2017.

[12] الشبكة الإقليمية لتبادل المعلومات والخبرات في مجال إدارة النفايات في دول المشرق والمغرب العربي، «دليل مؤسسات المجتمع المدني».

[13] د.بنود عبد الحكيم 2019 « دليل المهندس ، تصميم أنظمة مياه الشرب والصرف الصحي والنفايات الصلبة في المدن والمباني» ، منشورات فرع حلب لنقابة المهندسين السوريين 2019 ، ص 501 .

[14] Milik S. Assessment of Solid Waste Management in Egypt during the Last Decade in Light of the Partnership between the Government and Private Sector. Cairo, Egypt: School of Humanities and Social Sciences, the American University in Cairo; 2010.

[15] الجزيرة .كوم « عدم الاستغلال الأمثل للنفايات يكبد المملكة 45 مليار ريال سعودي سنويا « عدد 3 جمادي الأول 1439 هـ.

[16] Rakhmatullayev, F.N.; Turabjanov, S.M.; Ponamaryova, T.V.; Rakhimova, L.S.; and Abdullaev, U.S. (2020) "INVESTIGATION OF MORPHOLOGICAL COMPOSITION AND EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF MUNICIPAL SOLID WASTE RECYCLING METHODS IN UZBEKISTAN," Technical science and innovation:

Vol. 2020 : Iss. 2 , Article 7.

[17] P. Suksabye1 , P. Menchai1 & S.R. Tuprakay 2014 “The physical and chemical properties of solid waste from water tourism. Case study: Taling Chan Floating Market, Bangkok, Thailand, Waste Management and The Environment VII 103

[18] Dr. McCreanor» Lesson 5:Physical, Chemical, and Biological Properties of MSW» http://faculty.mercer.edu

[19] Amrita Saha, Subhas Chandra Santra « Isolation and characterization of bacteria isolated from municipal solid waste for production of industrial enzymes and waste degradation» Journal of Microbiology & Experimentation, Volume 1 Issue 1 – 2014.

[20] بنود عبد الحكيم « التحكم المتكامل في التلوث طريق لتحقيق التنمية المستدامة « مجلة المدينة العربية العدد -140عام 2008.

[21] Chunlin Xin, Tingting Zhang, Sang-Bing Tsai, Yu-Ming Zhai and Jiangtao Wang “An Empirical Study on Greenhouse Gas Emission Calculations Under Diferent Municipal Solid Waste Management Strategies “Appl. Sci. 2020, 10, 1673

[22] Chérifatou Iyabo Biaou,et al 2019 “ Impact des Décharges Sauvages des Déchets Solides sur les Sols à Cotonou”, European Scientific Journal October 2019

[23] Mutasem El-Fadelf1Angelos N.Findikakis James O.Leckie” Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling”, Journal of Environmental Management Volume 50, Issue 1, May 1997, Pages 125-.

[24] Kanupriya Gupta 2010 “Consumer Responses to Incentives to Reduce Plastic Bag Use: Evidence from a Field Experiment in Urban India” Working Paper, No 65 – 11.

[25] Enywa MM, Nasinyama G and Sengendo H (2008)» Sensitivity Mapping and Hydrological Analysis and Modelling of Flooding Risk in Kasubi-Kawaala, Kampala».SNF Waste and Flood Team, Kampala, Uganda

[26] Pritish Behuria 2021 “Ban the (plastic) bag? Explaining variation in the implementation of plastic bag bans in Rwanda, Kenya and Uganda” EPC: Politics and Space 39(8).

[27] Jamaluddin Ahmed, 2021” THE MOST DANGEROUS POLLUTANT ON THE PLANET Causes and Effects of Plastic Pollution in Bangladesh.

[28] Shafiul Hossain, Md Anisur Rahman, Myisha Ahmed Chowdhury, Sajib Kumar Mohonta 2021 “Plastic pollution in Bangladesh: A review on current status emphasizing the impacts on environment and public health” Environ. Eng. Res. 2021; 26(6)

[29] محمد السيد سليمان «الأكياس البلاستيكية تهدد حياة دلافين البحر الأحمر»، المصري اليوم في 28-10-2020.

[30] Brahim Djemaci 2017 “L’impact social et environnemental du secteur informel des déchets solides en Algérie” Université de Rouen, CREAM, Mourad Kertous2 Université du Havre, EDEHN, Sahad Zerzour

[31] بنود عبد الحكيم و البابا محمد «إدارة نفايات الطبية الناتجة عن المشافي الجامعية في مدينة حلب.. الواقع وآفاق التطوير»، مجلة بحوث جامعة حلب-سلسلة العلوم الطبية العدد 13 لعام 2020.

[32] Brett H. Robinson, «E-Waste: An Assessment of Global Production and Environmental Impacts,» Science of the Total Environment 408, no. 2 (2009): 18391-.

[33] Lucy McAllister «The Human and Environmental Effects of EWaste»

[34] لمبروك فرج 2016 «لتلوث البيئي بالمخلفات الصلبة» ، ورشة عمل تقييم التلوث الكيميائي و البيولوجي: جامعة بنغازي - بنغازي – ليبيا، August 2016

[35] طارق المخمري 2016 « إدارة النفايات- تقارير موجزة حول القطاعات الاقتصادية الواعدة»، منشورات الهيئة العامة لترويج الاستثمار وتنمية الصادرات في سلطنة عمان 2016

[36] الصغير الغربي 2017 « هل تحل التكنولوجيا مشكلة النفايات بالمستقبل «، منشورات الجزيرة نت في 19 /2/2017.

[37] عبد الغني قطايا 2017 «تجارب عالمية ناجحة في التعامل مع النفايات»، منشور في موقع رصيف 22 ، بتاريخ الأربعاء 31 أيار /مايو 2017

[38] Hoornweg, D., and Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management. Urban development series knowledge papers, 15, 198-.

[39] David Meng-Chuen Chen, « The world's growing municipal solid waste: trends and impacts» Environ. Res. Lett. 15 (2020) 074021

[40] F.N. Rakhmatullayev « INVESTIGATION OF MORPHOLOGICAL COMPOSITION AND EVALUATION OF THE EFFEC TION OF THE EFFECTIVENESS OF MUNICIP TIVENESS OF MUNICIPAL SOLID AL SOLID WASTE RECYCLING METHODS IN UZBEKISTAN» Technical science and innovation Volume 2020 Issue 2 Article 7 72020-23-.

[41] EPA 2018 "Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States:Facts and Figures for 2018.

[42] David Meng-Chuen Chen, Benjamin Leon Bodirsky, Tobias Krueger, Abhijeet Mishra .and Alexander Popp 2020 " The world's growing municipal solid waste: trends and impacts "Environmental Research Letters 2020 .

[43] Ian Tiseo 2022 "Energy & Environment Waste Management Global waste generation - statistics & facts" Published by Ian Tiseo, Feb 15, 2022.

[44] البنك الدولي 2018» نفايات العالم ستنمو 70% بحلول 2050 ما لم يُتخذ إجراء عاجل « بيان صحفي رقم: 037/2018

[45] Hoornweg and Freire 2013 « What a waste : «WHAT A WASTE 2.0-A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050

[46] GIZ (2012) "Regional Profile on the Solid Waste Management Situation in Middle East and North Africa".

[47] مركز إدارة النفايات في أبو ظبي وشركة بترول أبو ظبي الوطنية 2018 ، «إحصاءات النفايات 2017 «، مركز الإحصاء في أبو ظبي 2018

[48] بنود عبد الحكيم و جعارة فاطمة 1999 « معدلات انتاج الفضلات الصلبة الناتجة من مدينة حلب «، مجلة بحوث جامعة حلب –سلسلة العلوم الهندسية، العدد 26 لعام 1999.

[49] Edjabou, V. M. E., Jensen, M. B., Götze, R., Pivnenko, K., Petersen, C., Scheutz, C., & Astrup, T. F. (2015) "Municipal solid waste composition: Sampling methodology, statistical analyses, and case study evaluation".Waste Management, 36, 1223-.

[50] عبد الماجد عصام محمد 2006 ، « هندسة النفاية و إدارتها» كتاب من منشورات دار أكاديمية السودان للنشر والتوزيع ، سلسلة الكتب العلمية والمنهجية رقم (1)، الخرطوم.

[51] وزارة الدولة لشؤون التنمية الإدارية في لبنان 2016 «دليل الإرشاد لإدارة متكاملة للنفايات الصلبة في لبنان» ، حلول بيئية مستدامة ، بيروت 2016 .

[52] Dornemann, Rudolph Henry (1986). A Neolithic village at Tell el Kowm in the Syrian Desert. Chicago, Ill.: Oriental Institute of the University of Chicago. Studies in ancient oriental civilization, no. 43 ISBN 01-45-918986-. OCLC 15583951

[53] Larry W. Mays"Survey of ancient water technologies in semi-arid and arid regions: traditional knowledge for the future" Water Supply (2017) 17 (5): 1278–1286.

[54] بخاري أمير 2015 « التشريعات المتعلقة بالنفايات الصلبة في سوريا 2015» .

[55] «CENTENARY HISTORY OF WASTE AND WASTE MANAGERS IN LONDON AND SOUTH EAST ENGLAND» (PDF). Archived from the original (PDF) on 201313-08-. Retrieved 201323-10-

[56] Paul T .WILLIAMS « Waste treatment and disposal «, John Wileu and sons Ltd, 2005.

[57] David C Wilson , Ljiljana Rodic,Anne Scheinberg,2012 " Comparative analysis of solid waste management in 20 cities", Waste Management & Research 30(3) 237–254

[58] Peter Schübeler, Karl Wehrle and Jürg Christen, SKAT" Conceptual Framework for Municipal Solid Waste Management in Low-Income Countries" , UNDP/UNCHS (Habitat)/World Bank/SDC, August 1996 .p17.

[59] Best Practices for Solid Waste Management: A Guide for Decision-Makers in Developing Countries October 2020EPA 530-R-20002-.

[60] David C. Wilson , Costas A. Velis and Ljiljana Rodic " Integrated sustainable waste management in developing countries" , Proceedings of the Institution of Civil Engineers Waste and Resource Management 166 May 2013 Issue WR2 Pages 57

[61] Best Practices for Solid Waste Management: A Guide for Decision-Makers in Developing Countries October 2020EPA 530-R-20002-.p 21.

[62] شركة الأرض للتنمية المتطورة للموارد «مشروع تقديم تدريب في مجال الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة « حلب 2020.

[63] عبد الماجد عصام محمد 2006 ، « هندسة النفاية و إدارتها» كتاب من منشورات دار أكاديمية السودان للنشر والتوزيع ، سلسلة الكتب العلمية والمنهجية رقم (1)، الخرطوم ص 175.

[64] شركة الأرض للتنمية المتطورة للموارد «مشروع تقديم تدريب في مجال الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة « حلب 2020.

[65] بنود عبد الحكيم و التنجي ندى «تقنيات إعادة التدوير « منشورات جامعة حلب 2017.

[66] Gunsilius, E., Bharati, C., Scheinberg, A. (2011) «The Economics of the Informal Sector in Solid Waste Management. GIZ and CWG.

[67] جابري محمد الطيب، و بوسماحة أحمد 2020 ،» دور نظم المعلومات الجغرافية في إدارة النفايات الحضرية مدينة تبسة نموذجا»،مجلة الأكاديمية للدراسات الاجتماعية والإنسانية، المجلد 12 ، العدد 01 ، جامعة حسيبة بن بوعلي بالشلف، الجزائر، ص، ص 162 – 176.

[68] KOLEDZI K. Edem, BABA Gnon AGBEBAVI James, KOFFI Demagna» 2015 Gestion des déchets dans les villes en développement : transfert, adaptation de schéma et sources de financement» Déchets Sciences et Techniques · March 2015.

[69] Ellen Gunsilius, Sandra Spies, Sofía García-Cortés, Martin Medina, Sonia Dias, Anne Scheinberg, Wael Sabry, Nader Abdel-Hady, Ana-Lucia Florisbela dos Santos, Silvio Ruiz» 2011 Recovering resources, creating opportunities-Integrating the informal sector into solid waste management»Published by: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH .

[70] Wael Salah Fahmia and Keith Sutton (2006) «Cairo›s Zabaleen garbage recyclers: Multi-nationals' takeover and state relocation plans» Habitat International Volume 30, Issue 4, December 2006, Pages 809837-.

[71] فرج الله نديم 2016، دور النظم غير الرسمية في استدامة المدن وقدرتها على الصمود»دراسة قدمت من قبل معهد عصام فارس، بيروت 2016 .

[72] Adrian Coad 2005 « «Private Sector Involvement in Solid Waste Management" , Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.

[73] البخاري أمير 2020 «تقديم تدريب في مجال الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة»، حلب ، شركة الأرض للتنمية المتطورة للموارد ص40.

[74] Indreas Benardos 2013 "Underground Solutions for Urban Waste Management: Status and Perspectives" ISWA – the International Solid Waste Association .

[75] Marlin STENER.(2009) "Solid Waste Management, Overview Assessment and Recommendations for Improvement".

[76] بنود –عبد الحكيم و ضاي محمد «واقع جمع ونقل النفايات الصلبة في حلب القديمة واقتراح آلية للتطوير» بحث منشور في مجلة بحوث جامعة حلب –سلسلة العلوم الهندسية العدد 22 عام 2009.

[77] العجي بسام 2005»معالجة النفايات الصلبة « منشورات جامعة دمشق كلية الهندسية المدنية 2005.

[78] Barbara Zeschmar-Lahl and Harald Schoenberger 2016 " Background Report on Best Environmental Management Practice in the Waste Management Sector " Document Report for the European Commission›s Joint Research Centre

[79] عبد الماجد عصام محمد 2006 ، « هندسة النفاية و إدارتها» كتاب من منشورات دار أكاديمية السودان للنشر والتوزيع ، سلسلة الكتب العلمية والمنهجية رقم (1)، الخرطوم، ص 48.

[80] Hobson, Kersty 2016. “Closing the loop or squaring the circle? “Locating generative spaces for the circular economy. Progress in Human Geography 40 (1) , pp. 88104-.

[81] Anna Rolewicz-Kalińska, Krystyna Lelicińska-Serafin and Piotr Manczarski 2020“ The Circular Economy and Organic Fraction of Municipal Solid Waste Recycling Strategies” Energies 2020, 13, 4366.

[82] بنود عبد الحكيم 2019 « دليل المهندس ، تصميم أنظمة مياه الشرب والصرف الصحي والنفايات الصلبة في المدن والمباني» ، منشورات فرع حلب لنقابة المهندسين السوريين 2019 ، ص 499.

[83] Hobson, Kersty 2016. “Closing the loop or squaring the circle? “Locating generative spaces for the circular economy. Progress in Human Geography 40 (1) , pp. 88104-.

[84] Anna Rolewicz-Kalińska, Krystyna Lelicińska-Serafin and Piotr Manczarski 2020“ The Circular Economy and Organic Fraction of Municipal Solid Waste Recycling Strategies” Energies 2020, 13, 4366

[85] Luis Alberto Bertolucci Paesa et Al 2019 “ Organic solid waste management in a circular economy perspective – A systematic review and SWOT analysis” Journal of Cleaner Production.

[86] تريفالور،-2004 المخطط التوجيهي لإدارة النفايات الصلبة في الجمهورية العربية السورية المرحلة الثالثة. وزارة الإدارة المحلية والبيئة،2004.

[87] بنود عبد الحكيم والتنجي ندى 2017 «تقنيات إعادة التدوير «منشورات مجامعة حلب 2017. صفحة 246.

[88] بنود عبد الحكيم 2021 «تغير المناخ والتنمية المستدامة» منشورات مؤسسة زايد الدولية للبيئة 2021.

[89] بنود عبد الحكيم والتنجي ندى 2017 «تقنيات إعادة التدوير «منشورات مجامعة حلب 2017. صفحة 247.

[90] بنود عبد الحكيم والتنجي ندى 2017 «تقنيات إعادة التدوير «منشورات جامعة حلب، ص 72.

[91] Kazemi, M., Kabir, S. F., & Fini, E. H. (2021). State of the art in recycling waste thermoplastics and thermosets and their applications in construction. Resources, Conservation and Recycling, 174, 105776.

[92] بنود عبد الحكيم و.بدور الهام 2013 « إدارة النفايات الصلبة وطرق معالجتها»، منشورات جامعة حلب 2013. ص 196.

[93] بنود عبد الحكيم 1996»معالجة الفضلات الصلبة « منشورات جامعة حلب -1996 ص 70.

[94] حربا كوكب 2020 « المعالجة البيولوجية للنفايات العضوية « اللاذقية . 2020

[95] شاهين هيثم و حربا كوكب 2018» معالجة النفايات»، منشورات جامعة تشرين 2018 .

[96] EPA 2022» Types of Composting and Understanding the Process-cover layer of finished compost “

[97] شاهين هيثم و حربا كوكب 2018» معالجة النفايات»، منشورات جامعة تشرين 2018

[98] د.بنود عبد الحكيم و د.بدور الهام 2013 « إدارة النفايات الصلبة وطرق معالجتها»، منشورات جامعة حلب 2013، ص 231.

[99] د.بنود عبد الحكيم 2019» التقانات الحيوية في معالجة التربة الملوثة

والنفايات الصلبة « منشورات جامعة حلب ، ص171

[100] Allison Costa,Charlotte Ely, Melissa Pennington, Steve Rock, Carol Staniec, and Jason Turgeon,2015 ”Anaerobic Digestion and its Applications” EPA/600/R-15304/ October 2015.

[101] Bochmann, G., and Montgomery, L., (IEA Research cooperation). Pre-treatment Technologies for Anaerobic Digestion: http://www.iea- biogas.net.

[102] بنود عبد الحكيم «معالجة الفضلات الصلبة « منشورات جامعة حلب 1996، ص 133.

[103] Avinash A. Pati, Amol A.Kulkarni»2015 WASTE TO ENERGY BY INCINERATION»Journal of Computing Technologies- 12- 2015.

[104] بنود عبد الحكيم 1996 «معالجة الفضلات الصلبة « منشورات جامعة حلب 1996، ص 90.

[105] بنود عبد الحكيم و بدور الهام 2013 «إدارة النفايات الصلبة « منشورات جامعة حلب 2013، ص 251.

[106] بنود عبد الحكيم 2021 «معالجة الفضلات الصلبة « منشورات جامعة حلب 1996 ، ص96.

[107] د.بنود عبد الحكيم و د.بدور الهام 2013 « إدارة النفايات الصلبة وطرق معالجتها»، منشورات جامعة حلب 2013 ، ص284.

[108] Raveendran et al. 1996 Fuel olume 75, Issue 8, June 1996, Pages 987998-.

[109] Karmina Miteva» 2019 Recycling and Sustainable Development Production of sustainable energy from solid waste by pyrolysis - a review» Recycling and Sustainable Development 122019-

[110] Rumyantseva et al. □ 2015 «Modern technologies of processing municipal solid waste:

investing in the future» IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

[111] United States Environmental Protection Agency -Office of Resource Conservatio «Best Practices for Solid Waste Management: A Guide for Decision-Makers in Developing Countries October 2020EPA 530-R-20002-.

[112] بنود عبد الحكيم وبدور الهام 2013 «إدارة النفايات الصلبة « منشورات جامعة حلب 2013.، ص 290.

[113] البخاري أمير 2020 «تدريب في مجال الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة « ، دمشق2020..

[114] Raveendran et al. 1996 Fuel olume 75, Issue 8, June 1996, Pages 987998-.

[115] Yong-Chil Seo, Md Tanvir Alam and Won-Seok Yang" direct Gasification and indirect Gasification" Submitted: June 10th, 2017 Reviewed: January 10th, 2018 Published: July 11th, 2018 OPEN ACCESS PEER-REVIEWED CHAPTER.

[116] United States Environmental Protection Agency -Office of Resource Conservatio «Best Practices for Solid Waste Management: A Guide for Decision-Makers in Developing Countries October 2020EPA 530-R-20002-.

[117] M. Kumar, S. Kumar and S.K. Singh" 2020 PLASMA TECHNOLOGY AS WASTE TO ENERGY: A REVIEW " International Journal of Advanced Research · January 2021

[118] United States Environmental Protection Agency -Office of Resource Conservatio "Best Practices for Solid Waste Management: A Guide for Decision-Makers in Developing Countries October 2020EPA 530-R-20002-

[119] بنود عبد الحكيم 1996 «معالجة الفضلات الصلبة» منشورات جامعة حلب 1996 ، ص 120 .

[120] بنود عبد الحكيم وبدور الهام 2013 «إدارة النفايات الصلبة»، منشورات جامعة حلب 2013.، ص 159.

[121] Philip Rushbrook and Michael Pugh 1999 “Solid waste landfills in middle and lower-income countries” a technical guide to planning, design, and operation https:// doi. org/10.15969-4457-8213-0/

[122] وزارة الشوون البلدية والقروية في المملكة العربية السعودية «الدليل الفني لإرشادات وضوابط الدفن الصحي للنفايات».

[123] بنود عبد الحكيم و.بدور الهام 2013 «إدارة النفايات الصلبة وطرق معالجتها»، منشورات جامعة حلب2013 . ص 129 .

[124] بنود عبد الحكيم و.بدور الهام 2013 «إدارة النفايات الصلبة وطرق معالجتها»، منشورات جامعة حلب2013 . ص 172 .

[125] Jay N. Meegoda Hiroshan Hettiarachchi and Patrick Hettiaratchi 2016” Landfill Design and Operation” ReserchGat Chapter · August 2016 , DOI:10.10619780784414101/.ch18

[126] Amra Serdarevic 2018 “Landfill Leachate Management – Control and Treatment” researchgeat Chapter · January 2018 DOI: 10.100754_2-71321-319-3-978/ .

[127] شركة الأرض 2020 «تدريب في مجال الإدارة المتكاملة للنفايات ال صلبة- الدليل التدريبي للدورة الأولى الموجهة لصانعي القرار»، إعداد شركة الأر ض للتنمية المتطورة للموارد، دمشق 2020 .

[128] Townend WK, Cheeseman CR (2005). Guidelines for the evaluation and assessment of the sustainable use of resources and of wastes management at healthcare facilities. Waste Manage. Res., 23: 398408-.

[129] Rita Karam Moawad 1997 , “National Survey for the elimination of the solids hospital waste in Lebanon”, A survey by the Pharmacy School in the Lebanese University in collaboration with the Faculty of Pharmacy in Claude Bernard University in Lyon, France, 1997.

[130] Coad, A. & Christen J.1999 “How are we managing our healthcarewaste?”SKATSwitzerlandwww.Skat.chwww.sanicon.net /titles/topicintro.ph3. 1999.

[131] الغويل إبراهيم، المجريسي أبو بكر 2003، «النفايات الصلبة بمستشفيات بنغازي»، 2003

[132] الهاشميي محمد،و المندلاوي، غفران «إدارة النفايات الصلبة في بعض مستشفيات مدينة بغداد». مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 25 ، العدد 5، 2007 .

[133] شركة الأرض 2020 «تدريب في مجال الإدارة المتكاملة للنفايات ال صلبة– الدليل التدريبي للدورة الأولى الموجهة لصانعي القرار»، إعداد شركة الأر ض للتنمية المتطورة للموارد، دمشق 2020 .

[134] بنود عبد الحكيم والتنجي ندى 2017 «تقنيات إعادة التدوير»، منشورات مجامعة حلب 2017. صفحة 339.

[135] Ian Williams, Francis O. Ongondo 2010“How are WEEE doing? A global.

[136] EPA (U.S. Environmental Protection Agency)(2003) EPA Constriction and Demolition (C&D)Debris, Basic Information. File://G.\ EPA Construction.

[137] Ferguson, J.; Kermode, N.; Nash, C.; Sketch, W. and Huxford, R. (1995). Managing and Minimizing Construction Waste: A practical guide. Institution of Civil Engineers (ICE). Thomas Telford, London, UK.

[138] Jay N. Meegoda Hiroshan Hettiarachchi and Patrick

Hettiaratchi 2016"Landfill Design and Operation" ReserchGat Chapter · August 2016 , DOI: 10.10619780784414101/. ch18

[139] BRGM (2010)" Caracterisation du gisement des dechets du BTP a l echelle du territoir francais, Rapport final, BRGM/ RP- 59115,Fr ,novembre2010 .

[140] Kibert, C. j. (1994) Sustainable construction: proceedings of the First International Conference of CIB TG 16, November 69-, Tampa, Florida, U.S.A.-408.

[141] Al-Ghamdi, O.; Makhdom, B.; Al-Faraj, M. and Al-Akhras, N. (2017). Management and Recycling of Construction and Demolition Waste.

[142] Al-Ghamdi, O.; Makhdom, B.; Al-Faraj, M. and Al-Akhras, N. (2017). Management and Recycling of Construction and Demolition Waste in KSA. International Journal of Innovative Research in Science, Eng and Technology, Vol. 6, Issue 3, 2017..

[143] علي محمد السواط 2001 « مخلفات المشاريع الإنشائية، المشكلة والحلول. الملحق الاقتصادي، العدد 10400، دار اليوم للصحافة والطباعة والنشر، السعودية.

[144] Trivaleur 2004 " management of solid waste in Syria.

[145] EPA (U.S. Environmental Protection Agency)(2003) EPA Constriction and Demolition (C&D) Debris, Basic Information. File://G.\ EPA Construction.

[146] EPA (U.S. Environmental Protection Agency)(2003) EPA Constriction and Demolition (C&D) Debris, Basic Information. File://G.\ EPA Construction.

[147] Kibert, C. j. (1994) Sustainable construction: proceedings of the First International Conference of CIB TG 16, November 69-, Tampa, Florida, U.S.A

[148] Ferguson, J.; Kermode, N.; Nash, C.; Sketch, W. and Huxford, R. (1995). Managing and Minimizing Construction Waste: A practical guide. Institution of Civil Engineers (ICE). Thomas Telford, London, UK.

[149] Rakhmatullayev, F.N.; Turabjanov, S.M.; Ponamaryova, T.V. Rakhimova, L.S.; and Abdullaev, U.S. (2020) "INVESTIGATION OF MORPHOLOGICAL COMPOSITION AND EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF MUNICIPAL SOLID WASTE RECYCLING METHODS IN UZBEKISTAN" Technical science and innovation:

Vol. 2020 : Iss. 2 Article 7.

[150] Wilson, D.C.; Velis, C.A. Global Waste Management Outlook; UNEP: Nairobi, Kenya, 2015; Volume 33, ISBN 1096–3669

[151] فياض هشام 2022 «إمكانية استخدام مخلفات البناء و الهدم في تمديد شبكات المياه والصرف ال صحي و كمواد تغطية في مطامر النفايات»، رسالة ماجستير في جامعة حلب باشراف د.عبد الحكيم بنود.

[152] Ferguson, J.; Kermode, N.; Nash, C.; Sketch, W. and Huxford, R. (1995). Managing and Minimizing Construction Waste: A practical guide. Institution of Civil Engineers. Thomas Telford, London, UK.

[153] UNEP PUNEP PROTOCOL ON LIABILITY AND COMPENSATION FOR DAMAGE RESULTING FROM TRANSBOUNDARY MOVEMENTS OF HAZARDOUS WASTES AND THEIR DISPOSALTEXTS AND ANNEXES

[154] Jacques Mougeot, "Basel and Waigani Conventions Inter-linkages among Chemicals and Hazardous Waste-Related Conventions" Secretariat of the Pacific Regional Environment Programme , Waste management and pollution control.

[155] Bamako1991 " Convention on the Ban of the Import into Africa and the Control of Transboundary Movement and Management of Hazardous Wastes within Africa (1991)".

[156] الكويت 1999 «النظام الموحد لإدارة النفايات في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية»

[157] الكويت 1997 «النظام الموحد للتعامل إدارة النفايات في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية»

[158] مرسوم ملكي رقم م/53 «النظام الموحد لإدارة نفايات الرعاية الصحية بدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية». 1426 هـ.

[159] مرسوم ملكي رقم م/3 «نظام إدارة النفايات في المملكة العربية السعودية»، الرياض 1443 هـ.

[160] قرار مجلس الوزراء رقم 39 لسنة 2021 بشأن اللائحة التنفيذية للقانون الاتحادي رقم 12 لسنة 2018 في شأن الإدارة المتكاملة للنفايات في الامارات العربية المتحدة.

[161] قانون رقم (10) لسنة 2019 بشأن النظافة العامة في مملكة البحرين، الموافق: 27 مايو 2019م.

[162] القرار رقم 5 المتعلق بإدارة النفايات الالكترونية في مملكة البحرين، 12 ديسمبر 2021م

[163] قانون رقم (18) لسنة 2017 بشأن النظافة العامة في دولة قطر.

[164] القرار رقم 6 الخاص باللائحة التنفيذية لإدارة النفايات الخطرة والطبية والبلدية الصلبة في دولة الكويت.

[165] المرسوم السلطاني رقم 46 / 2009 في شأن قيام الشركة العمانية القابضة لخدمات البيئة (ش.م.ع.م) بإدارة وتشغيل قطاع النفايات

[166] قرار مجلس الوزراء رقم (3) لسنة 2019م المتعلق بنظام إدارة النفايات الصلبة في دولة فلسطين.

[167] نظام إدارة النفايات الخطرة رقم (6) لسنة 2021م في دولة فلسطين.

[168] القانون 49 المتعلق بـ «نظافة الوحدات الإدارية وجماليتها» في الجمهورية العربية السورية .

[169] قانون رقم 16 لعام 2020 (القانون الإطاري لإدارة النفايات) في المملكة الأردنية الهاشمية.

[170] قانون رقم 01 19- يتعلق بتسيير النفايات ومراقبتها وإزالتها في الجزائر.

[171] القانون رقم 28.00 المتعلق بتدبير النفايات والتخلص منها في المملكة المغربية.

[172] قانون رقم 202 لسنة 2020 قانون تنظيم إدارة المخلفات في جمهورية مصر العربية، 13 تشرين الأول/أكتوبر 2020.

فهـرس

الجداول – الأشكال – الموضوعات

فهرس الجداول

الجدول 1-1

تصنيف النفايات الصلبة حسب مصدر إنتاجها. 18

الجدول 1-2 :

التركيب لمتوسط للنفايات الصلبة البلدية 25

حسب مناطق العالم (2012).

الجدول 1-3 :

التركيب النوعي للنفايات البلدية في عدد من الدول العربية 26

غير دول الخليج العربية.

الجدول 1-4:

التغير الفصلي للتركيب المورفولوجي للنفايات البلدية 29

في بعض المدن العربية

الجدول 1-5:

محتوى الرطوبة لمكونات النفايات. 32

الجدول 1-6:

كثافة مكونات النفايات الصلبة. 35

الجدول 1-7:

بيانات نموذجية للتحليل العنصري لمكونات النفايات البلدية. 38

الجدول 1-8:

محتوى الطاقة لمكونات النفايات البلدية (الحد الأدنى، الأعلى، النموذجي). 39

الجدول 1-9:

النسب المئوية للمادة الخاملة بعد الحرق (الرماد) 40

الجدول 1-10:

تصنيف النفايات حسب حجم الحبيبات. 43

الجدول 1-11:
مكونات عينة نفايات صلبة 44
الجدول 1-12:
تحديد الوزن الجاف والكثافة للعينة 45
الجدول 1-13:
تحديد محتوى الطاقة 47
الجدول 1-14:
ظروف حياة بعض الميكروبات الممرضة 50
الجدول 1-15:
تفاصيل حياة الحشرات المنزلية الشائعة 51

الجدول 3-1:
إنتاج المناطق والأفراد من النفايات الصلبة البلدية عام 2012، والمتوقع عام 2025. 64
الجدول 3-2:
تقديرات إنتاج النفايات حسب مستوى الدخل. 74
الجدول 3-3:
أمثلة لمطلوبات إجراء اختبار العينة من النفايات 78

الجدول 4-1:
بعض المهن الرئيسية التي توجد في قطاعات النفايات غير الرسمية 112
الجدول 4-2:
مقارنة بين أساليب مشاركة القطاع الخاص وخصائصه. 116
الجدول 4-3:
أهم الإجراءات المطلوبة لتنظيم العمل في مشروع جمع وترحيل النفايات وعقود النظافة العامة. 119

الجدول 5-1:
المواصفات الأساسية لعربات نقل النفايات ذات الضاغط أو الخزان المغلق. **143**

الجدول 5-2:
قيم العامل (K_3) لمختلف فترات نقل النفايات الصلبة **153**

الجدول 5-3
مخلفات أسرة مكونة من ستة أشخاص من سكان المدينة **177**

الجدول 5-4:
نسبة النفايات الصلبة البلدية المجموعة إلى تلك المطروحة **184**

الجدول 7-1:
إرشادات وقواعد تصميمية لخاصية التفكيك. **227**

الجدول 7-2:
إرشادات وقواعد تصميمية لخواص المواد. **227**

الجدول 8-1:
مراحل عملية التحويل إلى محسنات التربة وبارامتراتها المميزة مع درجة الحرارة. **251**

الجدول 8-2:
العوامل المؤثرة في تحويل النفايات الصلبة إلى محسنات التربة **252**

الجدول 8-3:
خصائص تقنية ونظام أكوام النفايات المهواة طبيعياً. **264**

الجدول 8-4:
مزايا تقنية الصناديق والحاويات، في محطات التحويل إلى كمبوست **275**

الجدول 8-5:
ميزات وخصائص نظام القنوات والأنفاق في محطات التحويل إلى كمبوست. **278**

الجدول 8-6:
ميزات نظام الاسطوانات الدوارة لتحويل النفايات إلى محسنات التربة. 281
الجدول 8-7:
موجهات عامة لمراقبة عمليات التحويل إلى كمبوست (محسنات التربة). 282
الجدول 8-8:
أهداف المسح الأولي لموقع محطة التحويل إلى كمبوست في مرحلة التخطيط. 293

الجدول 11-1:
أهم مكونات الغاز المنطلق من التحلل الحراري للنفايات 371
الجدول 11-2:
مقارنة إنتاج الطاقة الكهربائية بين طرق تحويل النفايات إلى طاقة. 386

الجدول 12-1:
نسبة الماء المتسرب إلى ماء المطر الهاطل تبعاً لعدم نفاذية (كتامة) الطبقة السطحية لحفرة الطمر الصحي 433
الجدول 12-2:
القيم الوسطى والعظمى لبعض عوامل عصارة نفايات حفر الطمر الصحي. 435
الجدول 12-3:
أهم طرائق معالجة مياه حفر الطمر الصحي للنفايات 439
الجدول 14-1:
الوزن المتوسط ومتوسط العمر الفعال للأجهزة الإلكترونية والكهربائية 488
الجدول 15-1:
محاسن و متطلبات الخيارات الأساسية في إدارة مخلفات البناء والإنشاء. 799
االجدول 15-2:
كميات الخرسانة التي تم تدويرها في عدد من دول العالم (2007) 503

فهرس الأشكال

الشكل 1-1

التركيب النوعي للنفايات البلدية على مستوى المتوسط العالمي 23

الشكل 1-2:

النسب المئوية المتوسطة لمكونات النفايات البلدية
في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا 24

الشكل 1-3 :

التركيب النوعي المتوسط للنفايات البلدية في الدول المتقدمة صناعياً 26

الشكل 1-4:

(أ) النفايات البلدية الصلبة في مصر حسب المنطقة 27
(ب) تكوين النفايات البلدية الصلبة في مصر

الشكل 1-5:

التركيب النوعي المتوسط للنفايات البلدية في المملكة العربية السعوديةً 28

الشكل 1-6:

النسب المئوية لمكونات النفايات المنزلية في مدينة حلب 29

الشكل 1-7:

محتوى الطاقة ونسبة المادة الخاملة (الرماد) في عدد من المواد 42

الشكل 1-8:

منحنى توزيع حجم الحبيبات 43

الشكل 2-1:

التأثيرات البيئية لمطامر النفايات غير المدارة بشكل سليم. 55

الشكل 2-2:

التلوث البيئي والصحي الناتج عن رمي النفايات 57
في المكبات (dumps -descharge).

الشكل 2-3:

آلية انتقال عصارة نفايات المكبات ضمن الحامل المائي. 57

الشكل 3-1:
تزايد إنتاج النفايات البلدية في اوزباكستان خلال الأعوام 2015 حتى 2018. 65
الشكل 3-2:
معدل وكميات النفايات المنتجة في الولايات المتحدة خلال الفترة 1960–2018. 65
الشكل 3-3:
المعدل السنوي لإنتاج الشخص الواحد من النفايات، ونسب مكونات النفايات وأساليب المعالجة والتخلص المطبقة في عدد من دول العالم في عام 2015 والتوقعات في عام 2050. 66
الشكل 3-4:
معدل إنتاج الشخص من النفايات البلدية في بعض دول من العالم خلال عام 2015. 67
الشكل 3-5:
تغير معدل إنتاج الشخص من النفايات البلدية في دول من العالم خلال الفترة بين عام 2000 وعام 2015. 67
الشكل 3-6:
نسبة إنتاج النفايات حسب المناطق في العالم. 68
الشكل 3-7:
نسبة إنتاج النفايات الصلبة في مناطق العالم تبعاً للدخول المادية 69
الشكل 3-8:
علاقة إنتاج الفرد من النفايات مع مستوى التحضر. 70
الشكل 3-9:
الإنتاج اليومي للفرد الواحد من النفايات البلدية في إمارة أبوظبي. 71
االشكل 3-10:
معدل إنتاج الفرد من النفايات البلدية في عدد من الدول العربية. 72
الشكل 3-11:
توقع الإنتاج العالمي للنفايات البلدية في عام 2030 و 2050. 73

الشكل 3-12:
توقع تطور إنتاج النفايات في عام 2030 و2050 حسب الدخل في مناطق العالم. 74
الشكل 3-13:
تسلسل عمليات العينة المخبرية . 79
الشكل 4-1:
الإطار المفاهيمي للإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة البلدية. 89
الشكل 4-2:
مكونات الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة. 91
الشكل 4-3:
أصحاب المصلحة في إدارة النفايات الصلبة 92
الشكل 4-4:
عناصر نظام إدارة النفايات الصلبة. 95
الشكل 4-5:
عملية التخطيط الاستراتيجي. 97
الشكل 4-6:
تركيز الخطة على تحديد الحلول لمشكلات إدارة النفايات الصلبة. 99
الشكل 4-7:
نموذج لتقسيم خدمات النفايات على طبقات متعددة. 107
الشكل 4-8:
التفاعلات الرئيسية بين أنشطة إدارة النفايات الصلبة الرسمية وغير الرسمية 111
الشكل 5-1:
أحد النماذج للحاويات المنقولة. 131
الشكل 5-2:
نموذج حاوية معدنية بغطاء وأخرى بدون غطاء 133
الشكل 5-3:
تفريغ أوعية أو أكياس النفايات في أوعية العربة اليدوية 137

الشكل 5-4:
عربات نقل النفايات التي تجرها الحيوانات 138
الشكل 5-5:
استخدام الجرار الزراعي في نقل النفايات الصلبة 140
الشكل 5-6:
نموذج سيارة شحن تجارية مجهزة بصندوق قلاب لتفريغ النفايات 143
الشكل 5-7:
سيارة تفريغ الحاويات الثابتة مع ضغط النفايات 144
الشكل 5-8:
نموذج شاحنة ذات رافعة بفكين لرفع حاويات النفايات ونقلها 145
الشكل 5-9:
مراحل جمع النفايات والتخلص منها 146
الشكل 5-10:
سيارة نقل الحاويات المتنقلة 150
الشكل 5-11:
تفريغ الحاويات في سيارات النقل 152
الشكل 5-12:
جمع النفايات في حاويات حسب نوعها 166
الشكل 5-13
تجميع النفايات تحت الأرض ضمن حاويات 167
الشكل 5-14:
نقل النفايات باستخدام الأنابيب 170
الشكل 6-1:
محطة تحويل وسيطة ذات مستويين مختلفين. 188
الشكل 6-2:
النموذج القديم لمحطة التحويل الوسيطة 188
الشكل 6-3:
النموذج الحديث لمحطة التحويل الوسيطة. 189

الشكل 6-4:
موقع محطة التحويل الوسيطة بالنسبة للبلدة وموقع التخلص النهائي. **190**
الشكل 6-5:
مهام محطة التحويل الوسيطة الإضافية. **192**

الشكل 7-1:
مقارنة مبسطة للاقتصاد الدائري
مع اقتصاد التدوير والاقتصاد الخطي. **202**
الشكل 7-2:
هرم قيمة النفايات **207**
الشكل 7-3:
حاويات فرز النفايات **213**
الشكل 7-4:
الفرز من المصدر في مراكز رمي النفايات **215**
الشكل 7-5:
المفرقات المغناطيسية الدائمة المعلقة **217**
الشكل 7-6:
المفرقات المغناطيسية الأسطوانية **217**
الشكل 7-7:
أنواع ودورات التدوير. **219**
الشكل 7-8:
مقارنة استهلاك الطاقة في حالة الاعتماد على النفايات مقابل
استخدام مواد خام. (ميجا جول/كغ) **221**
الشكل 7-9:
مقارنة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بين المنتجات المصنعة من النفايات
المعاد تدويرها والمنتجات المصنعة من المواد خام (CO2 kgeq /kg). **222**
الشكل 7-10:
المتطلبات التقنية لعملية التدوير. **224**

الشكل 7-11:
التكاليف والعوائد لعملية إعادة التدوير. 215
الشكل 7-12:
الاستراتيجية الهندسية لتدوير المنتج. 226
الشكل 8-1:
مبدأ المعالجة بطريقة التحويل إلى محسنات التربة. 245
الشكل 8-2:
مراحل سير العمل في معمل تحويل النفايات إلى كومبوست. 247
الشكل 8-3:
فصل النفايات الجافة القابلة للتدوير عن طريق الغربال. 248
الشكل 8-4:
تطور درجة الحرارة في مرحلة التحلل الرئيسي ومرحلة الانضاج. 250
الشكل 8-5:
تغير درجة الحرارة والأس الهيدروجيني
تبعاً لزمن التحلل الهوائي. 258
الشكل 8-6:
مخطط يبين أنظمة التخمير المتبعة
في محطات تحويل النفايات العضوية إلى كومبوست 263
الشكل 8-7
التهوية الطبيعية لأكوام النفايات. 264
الشكل 8-8:
آلية تقليب صغيرة (خلف جرار). 266
الشكل 8-9
طرائق تقليب الأكوام الطويلة
في طريقة تحويل النفايات إلى محسنات التربة. 267
الشكل 8-10:
نظام الأكوام المهواة قسرياً والمفتوحة في الخارج. 268

الشكل 8-11:
الأكوام الثابتة المهواة قسرياً بسحب الهواء أو ضخه أو كليهما 269
الشكل 8-12:
نظام الأكوام المهواة قسرياً والموضوعة في صالة مغلقة 270
مع أنظمة تقليب.
الشكل 8-13:
تهوية قسرية لأكوام النفايات المغطاة. 271
الشكل 8-14:
تحويل النفايات إلى كمبوست بالتهوية والتقليب. 272
الشكل 8-15:
نموذج تقنية الصناديق والحاويات لمحطات التحويل إلى كمبوست 273
و مخطط سير العمليات وكيفية التهوية.
الشكل 8-16:
نموذج لنظام القنوات لتحويل النفايات إلى كمبوست. 276
الشكل 8-17:
نموذج لنظام الأنفاق لتحويل النفايات إلى كمبوست. 277
الشكل 8-18:
نموذج لنظام الاسطوانة الدوارة لتحويل النفايات إلى كومبوست، 279
مع مخطط سير العمليات.
الشكل 8-19:
المكونات الأساسية لمحطة تحويل النفايات إلى كمبوست بنظام 280
الأسطوانة الدوارة.
الشكل 8-20:
أحد نماذج الغرابيل الدوارة المستخدمة 284
لازاله الشوائب من الكمبوست.

الشكل 9-1:
دورة الغاز الحيوي في الطبيعة. 301

الشكل 9-2:
أحد نماذج الهاضمات وفق النظام الصيني التقليدي **307**
الشكل 9-3:
المكونات الرئيسية للهاضمة كافيك **308**
الشكل 9-4:
الهاضمة ذات الحوض الأفقي **309**

الشكل 10-1:
مراحل سير العمل في محطة ترميد النفايات. **321**
الشكل 10-2:
رسم تخطيطي لنظام المرمد المحرقة ذي حجرتي الاحتراق. **325**
الشكل 10-3:
سير الحركة في الشبك المتحرك نحو الأمام.
الشكل 10-4: **326**
الفرن ذو الشبك المتحرك نحو الخلف.
الشكل 10-5: **327**
فرن ترميد نفايات ذو الشبك الدوار.
الشكل 10-6: **327**
ترميد النفايات والأوحال في الأفران الدوارة
الشكل 10-7: **329**
الرماد المتطاير تحت المجهر fly ash
الشكل 10-8: **342**
أهم أجزاء معمل الترميد مع التحكم في مخرجات الترميد
الشكل 10-9: **345**
مخطط مبسط لتنقية دخان الترميد
من غاز كلوريد الهدروجين بالطريقة الرطبة. **347**
الشكل 10-10:
مراحل تنقية دخان الترميد **348**
من غاز كلور الهيدروجين بالطريقة الجافة.

الشكل 10-11:
تخطيط مبسط لحجرة ترسيب الغبار. 351
الشكل 10-12:
آلية عمل الفاصل الدوامي ذو الدخول المماسي. 352
الشكل 10-13:
مكونات مرسب الكهرباء الساكنة. 353
الشكل 10-14:
الاقطاب في مرسب الكهرباء الساكنة ذي الصفائح. 354
الشكل 10-15:
أحد أشكال نماذج إزالة الغبار بالترشيح. 356
الشكل 10-16:
ترسيمة جهاز غسيل الغازات الملوثة بجسيمات صلبة. 357

الشكل 11-1:
مخطط لمحطة التحلل الحراري في حالة درجة حرارة عالية (أعلى من $800^{o}C$) 370
الشكل 11-2:
مراحل العمل في التحلل الحراري للنفايات 374
الشكل 11-3:
التحلل الحراري مع التركيز على إنتاج نفط عضوي 374
الشكل 11-4:
تحويل النفايات إلى طاقة بالتغويز (إنتاج الغاز) 377
الشكل 11-5:
التغويز المباشر و التغويز غير المباشر 378
الشكل 11-6:
مراحل العمل في منشأة التغويز إنتاج الغاز (التحويل إلى غاز) 380
الشكل 11-7:
مراحل تغويز النفايات بالبلازما 382

الشكل 11-8:
أقسام منشأة التغويز إنتاج الغاز بالبلازما 383
الشكل 11-9:
تراكيز ملوثات الهواء الناتجة عن عمليات التغويز والترميد وطمر النفايات. 386
الشكل 11-10:
مراحل تصنيع المحروقات المشتقة من النفايات. 390
الشكل 11-11:
وحدة مؤلفة من القواطع والفواصل. 391

الشكل 12-1:
ضرورة وجود طمر صحي في كل طرائق التخلص من النفايات الصّلبة 399
الشكل 12-2:
الجرافة وطريقة ملء وعائها بالأتربة. 408
الشكل 12-3:
نموذج مدحلة مستخدمة في عملية الرص بالمطمر. 409
الشكل 12-4:
مراحل العمل في موقع الطمر الصحي التي يجري تشغيله يدوياً . 411
الشكل 12-5:
مطامر تحت سطح الأرض (الخندق). 413
الشكل 12-6:
مراحل تنفيذ طريقة خنادق الطمر الصحي. 413
الشكل 12-7:
مطامر فوق سطح الأرض. 414
الشكل 12-8:
آلية تنفيذ الفرش السطحي للنفايات. 415
الشكل 12-9
الطمر تحت سطح الأرض وفوقها 416

الشكل 12-10:
مخطط لموقع طمر صحي تحت وفوق سطح الأرض. 417
الشكل 12-11:
طمر النفايات في المنخفضات 417
الشكل 12-12:
طمر النفايات في الأراضي المنحدرة. 417
الشكل 12-13:
المخطط التكنولوجي لاستثمار مواقع طمر تستقبل حتى (1000) م^3/اليوم. 418
الشكل 12-14:
مخطط إملاء موقع طمر نفايات صلبة. 419
الشكل 12-15:
جمع العصارة والغاز الحيوي في مطامر النفايات اللاهوائية 421
الشكل 12-16:
المراحل المتعاقبة لتشغيل المطمر ومكوناته 423
الشكل 12-17:
النظام المفرد في مطامر النفايات الصلبة 425
الشكل 12-18:
نظام الطبقات المركب المفرد في مطامر النفايات الصلبة 425
الشكل 12-19:
نظام الطبقات المزدوج في مطامر النفايات الصلبة 426
الشكل 12-20:
نظام الطبقات المركب في مطامر النفايات الصلبة 427
الشكل 12-21:
نظام عزل أرضية المطمر بالإسفلت 428
الشكل 12-22:
طبقة التغطية في حالة استخدام فتحات الغاز الحيوي 429
الشكل 12-23:
طبقة التغطية عند استخدام معالجة الغاز. 429

الشكل 12-24:
طبقة التغطية في حال عدم استخدام مراقبة للغاز الحيوي الناتج 430
الشكل 12-25:
شبكة الأنابيب لتجميع رشاحة النفايات الصلبة في المطمر الصحي 431
الشكل 12-26:
رسم تخطيطي لمركبات موازنة المياه داخل المطمر الصحي. 432
الشكل 12-27:
أنابيب جمع العصارة 436
الشكل 12-28:
تدوير عصارة المطمر بعد إخضاعها لمعالجة أولية 438
الشكل 12-29:
تبخير العصارة 438
الشكل 12-30:
تصريف المياه السطحية 440
الشكل 12-31:
أنابيب الغاز التي تعتمد على ضغط الغازات في موقع الطمر الصحي 442
الشكل 12-32:
نظم السيطرة الساكنة على غازات موقع الطمر الصحي للنفايات 444
الشكل 12-33 :
أنظمة التحكم الفعالة بالغازات المنطلقة من مواقع الطمر الصحي 446
الشكل -12-34:
تفصيلة بئر استخلاص غازات موقع طمر صحي 447
الشكل-12-35:
الآبار الشاقولية لاستخلاص الغاز من المطمر 448
الشكل 12-36:
طريقة تنفيذ الآبار العمودية لاستخلاص الغاز من المطمر 449
الشكل 12-37:
توزع الآبار العمودية على موقع المطمر ليغطي
مجال تأثيرها كامل سطح الموقع. 450

الشكل 12-38:
مقطع جانبي يظهر خنادق تجميع الغاز الأفقية. 450
الشكل 12-39:
تفاصيل الخنادق الأفقية لاستخلاص الغاز 451
الشكل 12-40:
مراقبة المياه الجوفية في منطقة المطمر عن طريق أبار خاصة 454
الشكل 12-41:
مراحل تأهيل المكبات العشوائية للنفايات 458
الشكل 12-42:
التشجير لتثبيت طبقة التغطية النهائية للمطمر 459

الشكل 14-1:
مراحل إدارة النفايات الإلكترونية. 480
الشكل 14-2:
المراحل التي تؤدي إلى إعادة الاستعمال للأجهزة الكهربائية والإلكترونية 481
الشكل 14-3:
مراحل معالجة نفايات الأجهزة الإلكترونية
لفصل الأجزاء المعدنية وغير المعدنية 483
الشكل14-4:
آلية نزع المعادن وشفط الغاز وتنظيف أنبوب الفلوريسنت من البودرة. 484
الشكل 14-5
التعامل مع نفايات شاشات أنابيب الأشعة المهبطية 487

الشكل 15-1:
التركيب النوعي لمخلفات الهدم والإنشاء 495
الشكل 15-2:
مخطط تدفق نفايات البناء والهدم 500
الشكل 15-3:
مكونات محتملة للمركز الثابت لمعالجة نفايات البناء والهدم 505

الشكل 15-4:
محطة متنقلة لمعالجة نفايات البناء والهدم. **507**
الشكل 15-5:
محطة متنقلة لمعالجة نفايات البناء والهدم. **508**

فهرس المحتويات

مقدمة الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة	7
1. الفصل الأول مدخل إلى النفايات الصلبة	13
1-1 مقدمة:	15
1-2- تعريف النفايات	16
1-2-1- التعريف الاقتصادي للنفايات:	16
1-2-2- التعريف القانوني للنفايات:	17
1-2-3-التعريف البيئي:	17
1-3- تصنيف النفايات Classification of wastes	18
1-4-التركيب النوعي (المورفولوجي) للنفايات البلدية	22
1-5-خواص النفايات الصلبة	30
1-5-1- الخواص الفيزيو كيميائية:	30
1-5-2-الخواص الفيزيو ميكانيكية	42
1-5-3- الخواص الجرثومية (البكتريولوجية) للنفايات الصلبة	50
1-5-4-قابلية التحليل البيولوجي للنفايات	51
1-5-5-خواص أخرى	52
2 . الفصل الثاني تأثيرات النفايات الصلبة	53
2-1-التأثيرات البيئية والصحية للنفايات الصلبة	55
2-2- التأثيرات الاجتماعية والاقتصادية للنفايات الصلبة	60

3. الفصل الثالث: تقدير كميات النفايات الصلبة وطرائق الاعتيان. 61

3-1- كميات النفايات الصلبة البلدية- نظرة عالمية 63

3-2-التوقعات المستقبلية المتعلقة بإنتاج النفايات البلدية وتكوينها 72

3-3- طرائق أخذ عينات النفايات الصلبة البلدية (الاعتيان) 75

3-3-1- طريقة أخذ العينات من حمولة سيارات الجمع: 76

3-3-2- الطريقة الموضعية لأخذ العينات: 77

3-3-3- طريقة أخذ العينات من حافة الرصيف 78

4 - الفصل الرابع الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة 81

4-1-مقدمة 83

4-2- التطور التاريخي لإدارة النفايات 83

4-2-1- التطور التاريخي لإدارة النفايات في منطقة الشرق الأوسط 83

4-2-2- التطور التاريخي لإدارة النفايات في أوروبا وأمريكا 84

4-3- معاني وأصول الإدارة المتكاملة للنفايات 87

4-4- المبادئ الأساسية للإدارة المتكاملة للنفايات 90

4-5- مكونات الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة ISWM 91

4-5-1- أصحاب المصلحة 92

4-5-2-العوامل المؤثرة في الإدارة المتكاملة 93

4-5-3-عناصر نظام إدارة النفايات 94

4-6- التخطيط في الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبة 96

4-6-1-خطوات التخطيط للإدارة المتكاملة للنفايات 96

4-6-2- دور القرارات والسلوك في خطة إدارة النفايات الصلبة 99

4-7- أهمية ومزايا الإدارة المتكاملة للنفايات الصلبةISWM 99
4-8- التحديات الشائعة في إدارة النفايات الصلبة في الدول النامية 101
4-9- تقسيم خدمات إدارة النفايات واستخدام نظم المعلومات الجغرافية: 106
4-10- تمويل إدارة النفايات الصلبة 107
4-11-مشاركة القطاع غير الرسمي و الخاص في إدارة النفايات الصلبة: 110
4-11-1 -أسباب مشاركة القطاع الخاص 114
4-11-2-أسباب فعالية القطاع الخاص: 115
4-11-3-أنواع مشاركة القطاع الخاص: 115
4-11-4-الإجراءات لضمان فعالية القطاع الخاص : 117
4-11-5-الرقابة على أعمال القطاع الخاص : 117
4-11-6- تنظيم العمل في حالة عقود النظافة 118
4-11-7-خطة التشغيل في حالة عقد النظافة: 119
4-11-8- التحديات التي تواجهها الشراكات بين القطاعين العام والخاص وحلولها 119

5 - الفصل الخامس حفظ النفايات الصلبة وجمعها 123
5-1-مقدمة 125
5-2- أسباب المشاكل الشائعة في أنظمة جمع النفايات 126
5-2-1-تأثير الاختلافات الدولية في خصائص النفايات على أساليب ومعدات جمع النفايات 126

5-2-2-تأثير اختلاف درجات الحرارة المحيطة على نظام جمع النفايات 127
5-2-3-تأثير تخطيط المناطق الحضرية وظروف الطرق على تصميم نظام جمع النفايات 127
5-3- أوعية حفظ النفايات الصلبة 129
5-3-1- الأوعية المخصصة للمساكن المنفصلة والمحال التجارية 130
5-3-2-الأوعية المخصصة لأغراض الحفظ الجماعي: 131
5-4-الإطار العام الذي يحكم تخطيط جمع النفايات 134
5-5-العوامل المؤثرة على خدمة جمع النفايات 135
5-6- عربات جمع النفايات الصلبة وآلياتها 135
5-6-1- العربات اليدوية 136
5-6-2- العربات التي تجرها الحيوانات 137
5-6-3- الدراجات الآلية ثلاثية العجلات 138
5-6-4- العربات الكهربائية 139
5-6-5- الجرارات والمقطورات 139
5-6-6- الشاحنات التي تعمل بالوقود السائل 141
5-6-7- السيارات ذات الضاغط 143
5-6-8- الشاحنات ناقلة الحاويات 145
5-7- أساليب جمع النفايات الصلبة من المناطق السكنية 145
5-7-1-الجمع من المربع السكني: 147
5-7-2- الجمع من حافة الرصيف: 147
5-7-3- الجمع من باب إلى باب: 148
5-7-4- الجمع من نقاط الحفظ الجماعي أو المشترك: 148

5-8- تصنيف أنظمة حاويات جمع النفايات: 149
5-8-1- نظام الحاويات المنقولة Hauled – Container System(HCS): 149
5-8-2- نظام الحاويات الثابتة – Stationary Container System(SCS): 151
5-8-3- حساب عدد الحاويات المنقولة: 152
5-9- عناصر العمل في جمع النفايات الصلبة 154
5-10- نقل النفايات الصلبة إلى مسافات قصيرة: 156
5-10-1- الجمع المبدئي باستخدام العربات اليدوية: 156
5-10-2- الجمع النهائي بوساطة الجرار والمقطورة: 157
5-10-3- الجمع النهائي من محطة النقل(محطة التحويل الوسيطة): 159
5-11- تقدير أعداد سيارات جمع النفايات المطلوبة: 160
5-12- تصنيف نظم جمع النفايات حسب إمكانية استعادة النفايات وتدويرها: 163
5-12-1- طريقة الجمع المُوحد (المشترك، المختلط): 163
5-12-2- طريقة الجمع المُنفصل: 164
5-13-جمع النفايات تحت الأرض 166
5-13-1-مزايا جمع النفايات تحت الأرض: 167
5-13-2-سلبيات جمع النفايات تحت الأرض 168
5-13-3- نظام جمع النفايات الصلبة تحت الأرض باستخدام الأنابيب: 169
5-14- مسارات جمع النفايات Solid waste collection routes 170

5-15- الضوابط الأساسية لتخطيط عملية نقل النفايات الصلبة: 172
5-16- تحديد كلفة الجمع والنقل: 173
5-17-أمثلة: 174
5-18-نسب تغطية جمع النفايات 183

6 - الفصل السادس : محطات التحويل والترحيل الوسيطة 185
مقدمة 187
6-1- أنواع محطات التحويل Transfer stations 187
6-2- أسس اختيار موقع محطات التحويل الوسيطة: 191
6-3- مهام محطة التحويل الوسيطة 192
6-4- طرائق تفريغ حمولة العربة المقطورة في محطة التحويل الوسيطة: 193
6-5-حساب محطة التحويل الوسيطة 193
6-6- مثال على حساب استطاعة محطة التحويل الوسيطة 195
6-7- مزايا وعيوب محطات التحويل الوسيطة 197

7 - الفصل السابع: الاقتصاد الدائري وتدوير النفايات 199
7-1-تعريف الاقتصاد الدائري 201
7-2- التحول من الاقتصاد الخطي إلى الاقتصاد الدائري 202
7-3- متطلبات التحول إلى الاقتصاد الدائري 203
7-4- هرم قيمة النفايات: 204

7-5- الوقاية و تفادي إنتاج النفايات refuse 204
7-6- تقليل إنتاج النفايات: 205
7-7- إعادة استخدام النفايات Reuse 210
7-7-1- أهمية إعادة الاستخدام 210
7-7-2 – مزايا و عيوب إعادة استخدام النفايات 211
7-8- تدوير النفايات Reycling: 212
7-8-1-خطط وأنظمة فرز النفايات من أجل إعادة التدوير: 213
7-8-2-أنواع التدوير: 218
7-8-3- الميزات البيئية والاقتصادية لتدوير النفايات: 220
7-8-4- متطلبات التصميم المساعد لتدوير النفايات: 223
7-8-8- قواعد وإرشادات للتصميم المساعد للتدوير: 225
7-8-6- تدوير النفايات الورقية والكرتون: 228
7-8-7- تدوير الحديد: 230
7-8-8- استرجاع الألمنيوم: 233
7-8-9- استرجاع النفايات الزجاجية 235
7-8-10- تدوير النفايات البلاستيكية 236

8 - الفصل الثامن التحويل إلى محسنات التربة (الكمبوست) Composting 241
8-1-تعريف التحويل إلى محسنات التربة (الكمبوست) 243
8-2- تصنيف عناصر النفايات الصّلبة المستخدمة لصناعة الكمبوست: 243
8-3- أقسام محطات تحويل النفايات إلى كمبوست وسير العمليات فيها 246

8-4- العوامل المؤثرة في عملية تحويل النفايات إلى كومبوست: 252
8-5- تقنيات التخمير المستخدمة حالياً في محطات التحويل إلى كومبوست 262
8-5-1- تحويل النفايات البلدية إلى محسنات التربة بالتقليب المفتوح أو بالأكوام الطويلة Open or windrow composting 263
8-5-2- الأكوام المنعزلة المهواة قسرياً (Active Aerated Pile) 267
8-5-3-الأكوام المهواة المغطاة برقائق (Aerated Covered Pile) 271
8-5-4-جمع التهوية القسرية مع التقليب: 271
8-5-5- التحويل إلى كومبوست في الصناديق والحاويات 272
8-5-6- التحويل إلى كومبوست في القنوات والأنفاق 275
8-5-7-التحويل إلى كومبوست في الاسطوانات الدوارة (Rotary Drum Composting) 279
8-6- ضبط الرائحة في مصانع التحويل إلى كمبوست (محسنات التربة) 281
8-7- المراقبة الدورية لعملية التحويل إلى كمبوست (محسنات التربة) 281
8-8- التحضير النهائي للكمبوست (محسنات التربة) 283
8-9- تخزين الكمبوست (محسنات التربة) 284
8-10- مردود عملية التحويل إلى كمبوست (محسنات التربة) 285

8-1- تحديد أبعاد منشأة تحويل النفايات إلى كمبوست بالأكوام الطويلة : 286
8-12- تصميم محطات التحويل إلى كمبوست 291
8-13-التدابير الوقائية لتشغيل معامل التحوبل إلى كمبوست 294
8-14-مواصفات المواد الناتجة عن المعالجة 296

9 - الفصل التاسع الهضم الميكروبي اللاهوائي وتحويل النفايات الصلبة إلى غاز حيوي Anaerobic digestion of solid waste 299
9-1- مبدأ الهضم اللاهوائي للنفايات 301
9-2 -مراحل تكوين غاز االميثان الميثانفي الهضم اللاهوائي: 303
9-3- العوامل المؤثرة في الهضم الميكروبي اللاهوائي: 304
9-4-طرائق هضم النفايات العضوية لاهوائياً: 305
9-4-1-الهضم اللاهوائي الرطب (محتوى منخفض من المواد الصلبة): 305
9-4-2- الهضم اللاهوائي الجاف (محتوى عال من المواد الصلبة): 306
9-5- أشكال منشآت توليد الغاز الحيوي: 306
9-5-1-النظام التقليدي الصيني: 307
9-5-2- النظام التقليدي الهندي كافيك(Kivic): 308
9-5-3- الهاضمات ذات الأحواض الأفقية مع خلط للمحتويات: 309
9-6- الفوائد البيئية والاقتصادية الناتجة عن الهضم اللاهوائي للنفايات: 310

9-7- آفاق تطور تكنولوجيا إنتاج الغاز الحيوي والمشكلات الراهنة 311

10 - الفصل العاشر ترميد النفايات الصلبة Incineration of solid waste 315

10-1-مقدمة: 319

10-2- الغاية من تقانة ترميد النفايات وتطور التقانة: 320

10-3- مراحل سير العمل في مراكز ترميد النفايات: 321

10-4-اختيار المخطط التكنولوجي لمحطة ترميد النفايات The Choice of Incinerator 322

10-5- أنواع أفران ترميد النفايات: 325

10-5-1- أفران الترميد ذات الشبك المتحرك آلياً: 329

10-5-2- أفران الترميد ذات الأسطوانة الدوارة Rotary kiln: 330

10-5-3- أفران الترميد ذات السرير المميع Fluidized Bed Incinerator 331

10-6- العوامل المؤثرة في تقانة ترميد النفايات: 331

10-6-1- درجة حرارة المرمد المحرقة : 331

10-6-2- كمية الهواء اللازم للاحتراق: 331

10-6-3- أنواع النفايات التي يمكن ترميدها: 337

10-6-4- القيمة الحرارية Calorificvalue 338

10-7- مخرجات ترميد النفايات وطرائق معالجتها: 342

10-7-1- الرماد المتطاير fly ash: 342

10-7-2- رماد القاع Bottom ash: 342
10-7-3-غازات العادم: 343
10-7-4- طرائق معالجة الرماد المتطاير وغازات العادم 344
10-8- التعرية والتآكل في حجرات الاحتراق: 357
10-9- تحديد أبعاد منشأة ترميد النفايات: 359
10-10- شروط تصميم المرمد وتشغيله: 360
10-11- استثمار منشآت ترميد النفايات: 361
10-12- ميزات ترميد النفايات سلبياته: 362

11 - الفصل الحادي عشر التحلل الحراري والتغويز (إنتاج الغاز) والمعالجة بالبلازما للنفايات 365

11-1- مقدمة: 367
11-2- مبدأ التحلل الحراري للنفايات: 357
11-3- تصنيف محطات التحلل الحراري، حسب درجة الحرارة 369
11-4- مخرجات التحلل الحراري للنفايات: 371
11-5-مراحل إنجاز التحلل الحراري للنفايات: 373
11-6- ميزات التحلل الحراري للنفايات و سلبياته: 376
11-6-1- مبدأ تغويز النفايات: 376
11-6-2- مخرجات عملية تغويز النفايات: 378
11-6-3-مراحل العمل في منشأة التغويز (إنتاج الغاز): 379
11-6-4- ميزات تقانة تغويز النفايات وسلبياتها: 380
11-6-5- التغويز بالبلازما Plasma 381
11-7- تحويل النفايات إلى محروقات مشتقة Combustibles derivatives: 388

11-7-1-مراحل إنجاز تحويل النفايات إلى محروقات مشتقة 389
11-7-2-مواصفات المحروقات المشتقة من النفايات 391
11-7-3-تخزين المحروقات المشتقة من النفايات ونقلها 392
11-7-4-حرق المحروقات المشتقة من النفايات 392
11-7-5- الانبعاثات الناتجة عن حرق المحروقات المشتقة من النفايات 393
11-7-6- محاسن المحروقات المشتقة من النفايات وعقباتها 393

12 - الفصل الثاني عشر طمر النفايات الصلبة 395
Landfilling of solid wast
12-1- مقدمة 397
12-2-الخيارات الرئيسة للتخلص من النفايات الصلبة بطريقة المطامر الصحية 397
12-3- أنواع مغامر النفايات 398
12-4 - الهدف من المطامر الصّحية للنفايات 399
12-5-اختيار مواقع مطامر النفايات 400
12-6-أسس تصميم مواقع طمر النفايات 405
12-7- الشروط الواجب توافرها في مطامر النفايات ومعايير التصميم 406
12-8- أهم العناصر اللازمة لتشغيل المطمر الصحي 407
12-8-1- العمالة المدربة 407
12-8-2-المعدات والتجهيزات الآلية 407
12-9- طرائق طمر النفايات 409

12-9-1-مطامر النفايات الهوائية 410
12-9-2- مطامر النفايات اللاهوائية (المطامر الكثيفة) 411
12-10- تنفيذ المطامر اللاهوائية: 412
12-10-1- الطمر تحت سطح الأرض في خنادق: 412
12-10-2-الطمر فوق سطح الأرض: 414
12-10-3-الطمر تحت سطح الأرض وفوقها 415
12-10-4- الطمر في المنخفضات: 416
11 - 12- فترة التصميم أو عمر المطمر:design life 421
12-12-حجم النفايات الصلبة وسعة المطمر: 421
12-13-المراحل المتعاقبة لتشغيل المطمر:operation Phases
12-14-تصميم طبقات العزل الداخلي والنهائي للمطمر: 423
12-14-1- تصميم طبقات العزل الداخلي (الطبقات والبطانة): 423
12-14-2- طبقة العزل الداخلي للمطمر باستخدام الاسفلت: 427
12-14-3- تصميم طبقات العزل النهائي (التغطية السطحية) للمطمر 429
12-15-تصميم شبكات جمع العصارة leachate 430
12-15-1-تحديد نوعية وكمية العصارة بالمطمر: 431
12-15-2-نظام جمع العصارة وتصريفها: 436
12-16- إدارة عصارة نفايات المطمرLeachate management 437
12-17-معالجة العصارة : 439
12-18-نظام تصريف المياه السطحية للمطمر: 440

12-20- التحكم في الغازات الناتجة عن تحلل النفايات وتصميم شبكة تجميع الغازات: 441
12-20-1- أنظمة السيطرة الساكنة على الغازات الناتجة عن مطامر النفايات 442
12-20-2- أنظمة السيطرة الفعالة على الغازات الناتجة عن مطامر النفايات 445
12-21-تصميم نظام المراقبة البيئية: 454
12-22- التكلفة الاقتصادية لموقع الطمر الصحي وتشغيله واستثماره: 455
12-23- تأهيل مكبات النفايات: 455
12-23-1- أسباب تأهيل المطامر العشوائية: 456
12-23-2-منهجية تأهيل مطامر النفايات العشوائية: 456
12-23-3-المراحل الأساسية لتأهيل المطامر العشوائية للنفايات: 457
12-24-خطة إغلاق المطمر:Closure plan 458
12-25- تحديد استعمال المطمر بعد إغلاقه 459
12-23- إيجابيات الطمر الصحي و سلبياته 460

13 - الفصل الثالث عشر إدارة النفايات الطبية 463
13-1- المقدمة: 465
13-2-أنواع النفايات الطبية 465
13-2-1-النفايات الطبية الخطرة: 465
13-2-2-النفايات الطبية غير الخطرة: 466
13-3-مكونات وكميات النفايات الطبية 466

13-4- فرز وتعبئة النفايات الطبية عند المصدر: 467
13-5-تجميع وتخزين ونقل النفايات الطبية في الموقع: 467
13-6- معالجة النفايات الطبية الخطرة: 470
13-6-1-مرافق معالجة النفايات الطبية لكل مشفى على حدا 470
13-6-2-مرافق معالجة على المستوى المحلي ضمن مركز متخصص 471
13-6-3-تقنيات معالجة النفايات الطبية 471

14 - الفصل الرابع عشر إدارة النفايات الإلكترونية 477
14-1-تعريف النفايات الإلكترونية 479
14-2-مكونات النفايات الإلكترونية 479
14-3- إدارة النفايات الإلكترونية 480
14-3-1-إصلاح التجهيزات الإلكترونية أو الاستفادة من مكوناتها: 481
14-3-2- فصل مكونات النفايات الإلكترونية 481
14-3-3-معالجة النفايات الإلكترونية 482
14-4- إجراءات إدارة النفايات الإلكترونية: 485
14-4-1- تعديل طريقةِ الإنتاج: 485
14-4-2- تخفيض حجم النفايات الإلكترونيةِ: 486
14-4-3- الاسترجاع وإعادة استخدام النفايات الإلكترونية: 486
14-5- تقدير كميات النفايات الإلكترونية 488
14-6- الحلول المقترحة لمشكلة النفايات الإلكترونية 489

15 - الفصل الخامس عشر إدارة نفايات البناء والهدم 491
15-1- تعريف نفايات البناء والهدم 493
15-2- مكونات نفايات البناء والهدم 493
15-3- كميات نفايات البناء والهدم 493
15-4- التأثيرات السلبية للتخلص العشوائي من نفايات البناء والهدم: 495
15-5- نظام مقترح لإدارة نفايات البناء والهدم 496
15-5-1- المتطلبات اللازمة لإنشاء المركز الثابت لفرز وتدوير نفايات البناء والهدم 500
15-5-2-مكونات المراكز الثابتة لمعالجة نفايات البناء والهدم: 504
15-5-3- محطات التدوير المتحركة أو القابلة للنقل 505
15-5-4- اختيار نموذج محطات المعالجة والكسارات 506
15-5-5- مكونات المحطات المتنقلة لمعالجة نفايات البناء والهدم: 507
15-6-جمع وترحيل الأنقاض ضمن المدينة و البلدات والتجمعات السكانية المختلفة 508

16 - الفصل السادس عشر النفايات الكبيرة الحجم 511
16-1- تعريف النفايات كبيرة الحجم 513
16-2-معدل إنتاج النفايات الكبيرة الحجم 513
16-3-الخيارات المتاحة للتخلص من النفايات كبيرة الحجم 513
16-4-مراكز تجميع النفايات الكبيرة الحجم 514
517

17 - الفصل السابع عشر الاتفاقيات الدولية والإقليمية والتشريعات الوطنية المنظمة لإدارة النفايات

17-1-المقدمة 519

17-2- الاتفاقيات الدولية والإقليمية المنظمة لإدارة النفايات الخطرة 519

17-2-1- اتفاقية بازل 519

17-2-2-اتفاقية وايغاني 525

17-2-3- اتفاقية باماكو 526

17-2-4- النظام الموحد لإدارة النفايات في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية 526

17-2-5- النظام الموحد للتعامل مع المواد المشعة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية 527

17-2-6- النظام الموحد لإدارة نفايات الرعاية الصحية في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية 528

17-3- التشريعات الوطنية المنظمة لإدارة النفايات 528

17-3-1- نظام إدارة النفايات في المملكة العربية السعودية 528

17-3-2- القانون الاتحادي رقم 12 لسنة 2018 في شأن الإدارة المتكاملة للنفايات في الامارات العربية المتحدة 531

17-3-3- قانون رقم (10) لسنة 2019 بشأن النظافة العامة في مملكة البحرين 535

17-3-4- القرار رقم 5 المتعلق بإدارة النفايات الإلكترونية في مملكة البحرين 537

17-3-5- قانون رقم (18) لسنة 2017 بشأن النظافة العامة في دولة قطر 539
17-3-6- القرار رقم 6 الخاص باللائحة التنفيذية لإدارة النفايات الخطرة والطبية والبلدية الصلبة في دولة الكويت 539
17-3-7- المرسوم السلطاني رقم 46 / 2009 في شأن قيام الشركة العمانية القابضة لخدمات البيئة (ش.م.ع.م) بإدارة وتشغيل قطاع النفايات 540
17-3-8- قرار مجلس الوزراء رقم (3) لسنة 2019م المتعلق بنظام إدارة النفايات الصلبة في دولة فلسطين 540
17-3-9-نظام إدارة النفايات الخطرة رقم (6) لسنة 2021م في دولة فلسطين 541
17-3-10-القانون 49 المتعلق بـ ((نظافة الوحدات الإدارية وجماليتها)) في الجمهورية العربية السورية 541
17-3-11- قانون رقم 16 لعام 2020 (القانون الإطاري لإدارة النفايات) في المملكة الأردنية الهاشمية. 541
17-3-12- قانون رقم 01 -19 يتعلق بتسيير النفايات ومراقبتها وإزالتها في الجزائر. 542
17-3-13- القانون رقم 28.00 المتعلق بتدبير النفايات والتخلص منها في المملكة المغربية. 542
17-3-14- قانون رقم 202 لسنة 2020 قانون تنظيم إدارة المخلفات في جمهورية مصر العربية 543

18 - الفصل الثامن عشر: التوصيات 545

الرموز والمختصرات 551

جدول المصطلحات العلمية 556

المصـــادر والمراجـــع 577

فهرس المحتويات (الجداول - الأشكال - الموضوعات) 599

سلسلة كتاب

عالــم البيئـة

سلسلة
كتاب عالم البيئة

سلسلة عالم البيئة هي سلسلة كتب علمية ثقافية ربع سنوية تصدر عن مؤسسة زايد الدولية للبيئة – دبي – دولة الإمارات العربية المتحدة.

طبيعة السلسلة: كتابة المتخصصين لغير المتخصصين

الأهـــداف:

تهدف هذه السلسلة إلى توفير المعلومة العلمية حول قضايا البيئة التى تهم المجتمع بأسلوب بسيط وسلس يساهم فى نشر الثقافة والتوعية البيئية ويساعد فى إتخاذ القرارات التى تتسق مع أسس التنمية المستدامة.

الفئات المستهدفة:

تستهدف السلسلة متخذ القرار لمساعدته على اتخاذ القرارات الصديقة للبيئة والإعلامي والمعلم والمثقف العربي لمساعدتهم على نشر الوعي البيئي ومتابعة ما يهم الجمهور من ممارسات تؤثر سلبا أو إيجابا على البيئة. كما تستهدف الطلاب والباحثين الذين يودون الحصول على معلومات ومؤشرات.

إدارة السلسلة:

رئيس التحرير/ المدير العام

الأستاذ الدكتور/ محمد أحمد بن فهد

رئيس اللجنة العليا لمؤسسة زايد الدولية للبيئة

مدير التحرير

المهندس/ حمدان خليفة الشاعر – عضو اللجنة العليا

المحرر

د. عيسى محمد عبد اللطيف

كبير المستشارين بمؤسسة زايد الدولية للبيئة

قواعد النشر: (منشورة في آخر صفحات كل كتاب)

ترحب سلسلة عالم البيئة بإقتراحات التأليف أو الترجمة فى المجالات المحددة أدناه وفقا للشروط التالية:

1. تكون الأولوية للقضايا المُلحّة بالمنطقة العربية والأفكار القابلة للتطبيق
2. أن يكون الحجم فى حدود 200 – 300 صفحة من القطع المتوسط.
3. ألا يكون قد تم نشر الكتاب كاملاً أو فى أجزاء من قبل.
4. ألا يكون هناك نسْخ لنصوص من كتاب أو بحث آخر بإستثناء ما يشار إليه كإقتباس مع تسجيل كل المراجع التى استخدمت فى التأليف.
5. فى حالة الترجمة يُشار إلى صفحات الكتاب الأصلى المقابلة للنص المترجم وترفق نسخة باللغة الأصلية للكتاب المُترجم مع موافقة المؤلف.
6. الهيئة الإستشارية غير ملزمة بقبول كل الإقتراحات التى تقدم لها.
7. يكون نشر الكتاب المعين حسب الأولويات التى تحددها الهيئة الإستشارية وهيئة التحرير.
8. لا تُرد المسودات والكتب الأجنبية فى حالة الإعتذار عن نشرها.
9. أن ترسل أولا مذكرة بالفكرة العامة للكتاب وموضوعاته وأهميته على الإستمارة المرفقة لإقتراح كتاب للنشر مصحوبة بالسيرة الذاتية للمؤلف.
10. يرسل الكتاب إلى محكّمين متخصصين فى موضوعه لإبداء الرأى حول صلاحيته للنشر دون معرفتهم بإسم المؤلف. ويستحق المحكم مبلغ 3000 درهم اماراتي أو ما يعادلها تحول إلى حسابه بعد استلام كل التقارير واصدار الكتاب .

11. فى حالة إجازته من المحكمين والموافقة عليه من هيئة التحرير، يستحق المؤلف مبلغ 15,000 درهم اماراتى أو ما يعادلها يتم تحويلها للمؤلف بعد إكمال كل التعديلات المطلوبة وارسال نسخة عبر البريد الإلكتروني وبعد إصدار الكتاب

12. فى حالة قبول الترجمة والتعاقد يستحق المترجم مبلغ 10,000 درهم اماراتى أو ما يعادلها يتم تحويلها له بعد إكمال كل التعديلات المطلوبة وارسال نسخة عبر البريد الإلكتروني وبعد إصدار الكتاب

13. المترجم مسؤول عن حق الملكية الفكرية بالنسبة للمؤلف.

14. مؤسسة زايد الدولية للبيئة غير مسؤولة عن محتويات الكتاب والفكرة المنشورة تعبر عن رأى الكاتب.

15. لا يحق للمؤلف أو المترجم إعادة الطبع إلا بموافقة مكتوبة من مؤسسة زايد الدولية للبيئة التى تحتفظ بحقوق النشر.

16. أن يقوم المؤلف أو المترجم بتعبئة وتوقيع إستمارة المشاركة المرفقة أدناه

مجالات السلسلة:

تدور مجالات السلسلة فى فلك الإطار الشامل لصون البيئة والموارد الطبيعية وفقا لأسس التنمية المستدامة التى تحقق التوازن بين التنمية الإقتصادية والتنمية الإجتماعية وحماية البيئة.

إستمارة إقتراح كتاب للنشر

تهدى جائزة زايد الدولية للبيئة تحياتها لكل العلماء والخبراء والباحثين العرب فى مجالات البيئة والتنمية المختلفة وتدعوهم للمشاركة فى هذه السلسلة بالتأليف والترجمة مساهمة منهم فى توجيه التنمية فى بلادنا العربية نحو الإستدامة وحفظ حقوق الأجيال القادمة فى بيئة سليمة معافاة.

ولمن يرغب في المشاركة الرجاء الاطلاع على قواعد النشر أعلاه وتعبئة القسيمة أدناه وإرسالها بالبريد الإلكترونى إلى:

هيئة تحرير سلسلة عالم البيئة

مؤسسة زايد الدولية للبيئة

ص.ب. 28399 دبى – الإمارات العربية المتحدة

هاتف: 3326666 04 (971+)

البريد الإلكترونى: cta@zayedprize.org.ae

الإســـــــــم: .....

الدرجة العلمية: .....

الوظيفـــــــــة: .....

العنـــــــــوان: .....

.....

.....

الهاتف: ..... الفاكس: .....

البريد الإلكترونى: .....

عنوان الكتـــاب: .....

نبذة مختصرة عن أهمية الكتاب ومحتواه:

.....

.....

.....

.....

.....

إقـــــرار:

- **أقر أنا الموقع أدناه** بأني قد اطلعت على قواعد النشر فى سلسلة عالم البيئة وأوافق على حفظ حقوق النشر وإعادة الطبع لمؤسسة زايد الدولية للبيئة حسب الشروط الموضحة فى آخر كل كتاب من السلسلة.

التوقيع: .....

التاريخ: .....

الرجاء التكرم بإرفاق:

- السيرة الذاتية للمؤلف،
- وقائمة المحتويات (أبواب وفصول)