MWAN مـــوان
المركز الوطني لإدارة النفايات
National Center for Waste Management

# الضوابط والأدلة الفنية
# للمعالجة البيولوجية للنفايات

# Standards & Technical Guidelines
# Biological Waste Treatment

01 November 2024

REF# TG-WM-01

النسخة العربية (2)

فهرس المحتويات


١ـ الغرض والنطاق ..... ٨

١ـ١ الغرض ..... ٨

١ـ٢ النطاق ..... ٨

٢ـ المتطلبات التنظيمية ..... ٩

٣ـ الأدوار والمسؤوليات ..... ١١

٤ـ نظرة عامة على المعالجة البيولوجية للنفايات ..... ١٣

٤ـ١ السياق ..... ١٣

٤ـ٢ تدفقات النفايات المناسبة للمعالجة البيولوجية للنفايات ..... ١٣

٤ـ٣ نظرة عامة على تقنية المعالجة ..... ١٥

٤ـ٤ المعالجة اللاهوائية (الهضم اللاهوائي) ..... ١٦

٤ـ٥ المعالجة الهوائية (التسميد) ..... ١٩

٤ـ٦ اعتبارات عامة بشأن تقنيات المعالجة البيولوجية ..... ٢٢

٥ـ مواصفات الموقع ومتطلبات البنية التحتية ..... ٢٣

٥ـ١ معايير اختيار الموقع ..... ٢٣

٥ـ٢ تحديد الموقع ـ اعتبارات عامة ..... ٢٤

٥ـ٢ـ١ تصريف المياه السطحية ..... ٢٥

٥ـ٢ـ٢ الخدمات والمرافق ..... ٢٥

٥ـ٢ـ٣ االسياج والحماية ..... ٢٦

٥ـ٢ـ٤ منطقة النفايات المرفوضة ..... ٢٦

٦ـ متطلبات التصميم وأفضل التقنيات المطبقة ..... ٢٧

٦ـ١ الهضم اللاهوائي ..... ٢٧

٦ـ١ـ١ وصف العملية ..... ٢٧

٦ـ١ـ٢ الهضم اللاهوائي الرطب ..... ٣١

٦ـ١ـ٣ الهضم اللاهوائي الجاف ..... ٣٢

٦ـ١ـ٤ تقنيات معالجة مخرجات الهضم اللاهوائي ..... ٣٣

٦ـ١ـ٥ تقنيات التحكم في الانبعاثات والوقاية منها ..... ٣٦

٦ـ٢ الهضم الهوائي ..... ٤١

٦ـ٢ـ١ وصف العملية ..... ٤١

٦ـ٢ـ٢ العوامل التي تؤثر على عملية التسميد ..... ٤٤

٦ـ٢ـ٣ طرق التسميد ..... ٤٥

٦ـ٢ـ٤ تقنيات التحكم في الانبعاثات والوقاية منها ..... ٤٨

٧ـ متطلبات التشغيل والصيانة ..... ٥٥

٧-١ القبول المسبق للنفايات ..... ٥٥
٧-٢ تخزين النفايات ..... ٥٥
٧-٣ تخزين النفايات العضوية ..... ٥٧
٧-٤ إدارة الناتج ..... ٥٨
٧-٥ صيانة المرفق والمعدات ..... ٥٨
٨- اعتبارات الصحة والسلامة ..... ٥٩
٨-١ الصحة المهنية ..... ٥٩
٨-٢ معدات السلامة ..... ٦٠
٨-٣ التدريب المهني والشهادات ..... ٦٢
٨-٤ خطط إدارة الحوادث ..... ٦٣
٩- تسجيل البيانات ورصدها ورفع تقارير بها ..... ٦٥
٩-١ تسجيل البيانات ..... ٦٥
٩-٢ عمليات التفتيش والتدقيق البيئي الدورية ..... ٦٥
٩-٣ رفع تقارير بيانات النفايات ..... ٦٦
الملحق ١ رفع تقارير بالبيانات – نموذج ..... ٦٨
أ- المعلومات العامة ..... ٦٨
ب- معلومات عن الموارد والنفايات ..... ٦٨
ج- معلومات بخصوص الغير ..... ٦٨

## فهرس الأشكال

الشكل ٢-١: الأحكام التنظيمية ذات الصلة في نظام إدارة النفايات المادة ١٦ رفع التقارير بشأنها/ المادة ٢١ حوادث طارئة... ٩
الشكل ٢-٢: الأحكام القانونية ذات الصلة في اللائحة التنفيذية ..... ١٠
الشكل ٤-١: مصادر إنتاج النفايات الطبيعية ..... ١٤
الشكل ٤-٢: الرسم التخطيطي للهضم اللاهوائي ..... ١٦
الشكل ٤-٣: مثال لمحطة الهضم اللاهوائي ..... ١٧
الشكل ٤-٤: خيارات تقنية الهضم اللاهوائي ..... ١٨
الشكل ٤-٥: التدفق النموذجي للهضم الهوائي..... ١٩
الشكل ٤-٦: تقنيات التسميد..... ٢١
الشكل ٦-١: عملية الهضم اللاهوائي ..... ٣٠
الشكل ٦-٢: التكوين النموذجي لعملية الهضم اللاهوائي الرطب (Cre، ٢٠١٨) ..... ٣٢
الشكل ٦-٣: التكوين النموذجي لعملية الهضم اللاهوائي الجاف على دفعات (Cre، ٢٠١٨)[٥]..... ٣٣
الشكل ٦-٤: عملية ترقية الميثان الحيوي ..... ٣٥
الشكل ٦-٥: عملية التسميد بالتكويم في الهواء الطلق..... ٤٦
الشكل ٦-٦: أمثلة التسميد بالتكويم في الهواء الطلق في مرفق تسميد العين..... ٤٦
الشكل ٦-٧: العملية النموذجية للتسميد داخل الحاويات..... ٤٧
الشكل ٦-٨: مثال لنظام التسميد في الحاويات - نظام Composter Rocket B1400 ..... ٤٨
الشكل ٨-١: معدات الحماية أثناء العمل (Cre، ٢٠١٨)[٥] ..... ٦١

## فهرس الجداول

الجدول ٤-١: أنواع المعالجة الهوائية ..... ٢١
الجدول ٦-١: تقنيات الإزالة لمكونات الغاز الحيوي[٣]..... ٣٤
الجدول ٦-٢: تقنيات لتقليل انبعاثات الروائح وتحسين الأداء البيئي العام ..... ٣٧
الجدول ٦-٣: تقنيات تقليل الانبعاثات الموجهة إلى الهواء ..... ٣٩
الجدول ٦-٤: تقنيات تقليل استخدام مياه الصرف والمياه..... ٤١
الجدول ٦-٥: مُدد بعض عمليات التسميد الصناعي[٣]..... ٤٣
الجدول ٦-٦: تقنيات تقليل انبعاثات الروائح وتحسين الأداء البيئي العام ..... ٤٩
الجدول ٦-٧: تقنيات تقليل الانبعاثات المنتشرة ..... ٥٠
الجدول ٦-٨: تقنيات تقليل الانبعاثات الموجهة إلى الهواء ..... ٥١
الجدول ٦-٩: تقنيات تقليل استخدام مياه الصرف والمياه..... ٥٣

## الاختصارات

| | |
|---|---|
| AD | الهضم اللاهوائي |
| BAT | أفضل التقنيات المتاحة |
| BT | المعالجة البيولوجية |
| CHP | الإنتاج المشترك للطاقة الكهربائية والحرارة |
| C:N | نسبة الكربون إلى النيتروجين |
| CV | قيمة السعرات الحرارية |
| EIA | تقييم الأثر البيئي |
| EMS | نظام الإدارة البيئية |
| IR | اللائحة التنفيذية |
| IVC | التسميد داخل الحاويات |
| KSA | المملكة العربية السعودية |
| MBT | المعالجة الميكانيكية البيولوجية |
| WML | نظام إدارة النفايات |
| MSW | النفايات البلدية الصلبة |
| MWAN | المركز الوطني لإدارة النفايات |
| NCEC | المركز الوطني للرقابة على الالتزام البيئي |
| OAW | التكويم في الهواء الطلق |
| PPE | المعدات الشخصية الواقية |
| TG | الضوابط والأدلة الفنية |
| VFA | الأحماض الدهنية المتطايرة |
| WTE | تحويل النفايات إلى طاقة |
| WWTP | محطة معالجة الصرف الصحي |

## التعريفات

| | |
|---|---|
| الهضم الهوائي | يُقصد بالهضم الهوائي، أو تحويل النفايات إلى سماد عضوي: عملية التحلل البيولوجي الطبيعي التي تُحلّل فيها الكائنات الحية الدقيقة النفايات إلى ثاني أكسيد الكربون، ومياه ونترات، وكبريتات في وجود الأكسجين لإنتاج السماد العضوي. |
| الهضم اللاهوائي | تحلُّل المواد العضوية في المدخلات بواسطة الكائنات الحية الدقيقة في غياب الأكسجين، وتَحوُّلها إلى مخلفات الهضم اللاهوائي وغاز حيوي. |
| نفايات قابلة للتحلل البيولوجي | يمكن لمكونات أي نوع من النفايات أن تمر بمراحل التحلل الهوائي واللاهوائي، مثل: الأطعمة، ونفايات الحدائق، والورق، وغيرها. |
| الغاز الحيوي | هو خليط من الغازات التي تنتجها عملية الهضم اللاهوائي، ومن أهمها: الميثان، وثاني أكسيد الكربون، وكميات صغيرة من الغازات الأخرى. |
| المعالجة البيولوجية للنفايات | هي عمليات المعالجة التي تستخدم كائنات حية دقيقة لتحلل النفايات (خاصة النفايات العضوية) إلى ماء وثاني أكسيد الكربون ومواد غير عضوية بسيطة، وأخرى عضوية أبسط مثل: الألدهيدات والأحماض. |
| المركز | المركز الوطني لإدارة النفايات. |
| الانبعاثات الغازية | هي انبعاثات الملوثات الغازية في البيئة الهوائية عبر أي نوع من القنوات أو الأنابيب أو المداخن أو غير ذلك، وتشمل الانبعاثات من المرشحات البيولوجية المفتوحة لأعلى. |
| السماد العضوي | يُقصد به المواد الغنية بالعناصر الغذائية المتبقية بعد الهضم اللاهوائي، أو تحويل النفايات إلى سماد عضوي. |
| الانبعاثات المنتشرة | هي الانبعاثات غير الموجهة (الغبار والمركبات العضوية والروائح) التي يمكن أن تنتجها مصادر ثابتة، كالخزانات أو مصادر نقطية كفتحات الأنابيب، وتشمل أيضاً الانبعاثات من التسميد بالتكويم في الهواء الطلق. |
| نفايات الهضم اللاهوائي | هي النفايات الغنية بالعناصر الغذائية المتبقية بعد عملية الهضم اللاهوائي. |
| الهاضم | هو الخزان الذي تتم به عملية الهضم اللاهوائي. |
| الانبعاث | هو الانبعاث المباشر أو غير المباشر لأيٍّ من المواد، أو الاهتزازات أو الحرارة أو الضوضاء الناتجة من مصادر فردية، أو المنتشرة في المُنشأة بالهواء أو التربة أو الماء. |
| المدخلات | هي المواد الداخلة الى مرفق المعالجة خلال العمليات المختلفة. |
| السوائل المرتشحة | هي المحلول الذي يُتَحصل عليه من عملية الترشيح، ويتكون المحلول من سائل يستخلص المواد المُذابة أو المواد الصلبة العالقة أو أي مكوّن آخر من المواد التي يمر خلالها. |
| التخزين | هو حِفظ مكونات النفايات أو بعضها مؤقتاً؛ لنقلها أو للاستفادة منها لاحقاً. |

| | |
|---|---|
| المعالجة | هي استخدام الوسائل الفيزيائية أو البيولوجية أو الكيميائية وغيرها، أو مزيج منها معاً؛ لإحداث تغيير في خصائص النفايات، وذلك لتقليل حجمها وتسهيل عمليات التعامل معها عند إعادة استخدامها وتدويرها، أو استخلاص بعض المنتجات منها، أو إزالة الملوِّثات العضوية وغيرها. وتهدف المعالجة لتقليص مكونات النفايات والقضاء على احتمال تسبُّبها بالأذى للبشر أو البيئة والاستفادة من بعض مكوناتها. |
| النفايات | هي المواد التي يُستغنى عنها وتُلقى بقصد التخلص منها بكافة أنواعها وأشكالها، وتؤثر - بطريقة مباشرة أو غير مباشرة - في الصحة العامة أو البيئة. |
| إدارة النفايات | هي تنظيم الأنشطة والممارسات المتعلقة بجَمْع النفايات ونقلها وفرزها وتخزينها ومعالجتها وإعادة تدويرها واستيرادها وتصديرها والتخلص الآمن منها، بما في ذلك العناية اللاحقة بمواقع التخلص من تلك النفايات. |

# ١- الغرض والنطاق

## ١-١ الغرض

تُحدد الوثيقة الحالية الضوابط والأدلة الفنية المقدمة من المركز الوطني لإدارة النفايات (المركز)؛ لتنظيم مرافق المعالجة البيولوجية للنفايات، وترخيصها داخل المملكة العربية السعودية (KSA).

كما تهدف إلى تقديم إرشادات للمعنيين بتصميم مرافق المعالجة البيولوجية للنفايات وإنشائها وتشغيلها؛ وذلك من أجل:

- التعرف على متطلبات تطوير مرافق المعالجة البيولوجية للنفايات المختلفة، وتحديدها وفقاً لأفضل الممارسات العالمية وأحدث التقنيات المتاحة.
- تقديم إرشادات عملية بشأن كيفية معالجة النفايات القابلة للتحلل البيولوجي بطريقة آمنة وسليمة بيئيًّا، من خلال تقنيات المعالجة البيولوجية المختلفة.
- تحديد العوامل التقنية والإدارية الرئيسة التي تؤثر على أداء المرافق، وتقليل الآثار السلبية المحتمَلة على البيئة والصحة العامة، وتجنُّب مخاطر الصحة والسلامة سواء للعاملين بالمرفق أو المجتمع.

** لا تُعَد الوثيقة الحالية دليلاً تصميميًّا أو معياراً لمرافق المعالجة البيولوجية للنفايات، وينبغي تطبيق الأحكام والخبرة التقنية السليمة والمناسبة؛ لضمان امتثال مرافق المعالجة البيولوجية للنفايات عند تصميمها وإنشائها وتشغيلها للمبادئ المنصوص عليها في الوثيقة الحالية، ولأي شروط متعلقة أخرى يُصدرها المركز.

## ١-٢ النطاق

تتناول الوثيقة الحالية جميع الأطراف المعنية بإدارة مرافق المعالجة البيولوجية للنفايات:

- المركز الوطني لإدارة النفايات (أو المركز).
- الجهات ذات الاختصاص بحماية البيئة، أو المركز الوطني للرقابة على الالتزام البيئي (NCEC).
- شركات التصميم والإنشاء المعنية بمشاريع مرافق المعالجة البيولوجية للنفايات.
- مُشَغلو مرافق المعالجة البيولوجية للنفايات (مقدمو الخدمة).

كما يغطي النطاق الهضم الهوائي واللاهوائي للأجزاء العضوية غير الخطرة من تدفقات النفايات البلدية الصلبة (بما في ذلك النفايات السكنية والمؤسسية والتجارية)، وتدفقات النفايات الصناعية، والنفايات الخضراء، والنفايات الزراعية.

لا تتناول هذه الوثيقة المعالجة البيولوجية للنفايات السائلة.

## ٢- المتطلبات التنظيمية

صيغت هذه الضوابط والأدلة الفنية وفقاً لمتطلبات نظام إدارة النفايات ولائحته التنفيذية، وتم التركيز على تطبيق أفضل التقنيات المتاحة، مع مراعاة السياقات الاقتصادية والبيئية والاجتماعية المحلية في المملكة، بالإضافة إلى وضع منهج أكثر تفصيلاً لتوفير الإرشادات خلال عملية التخطيط.

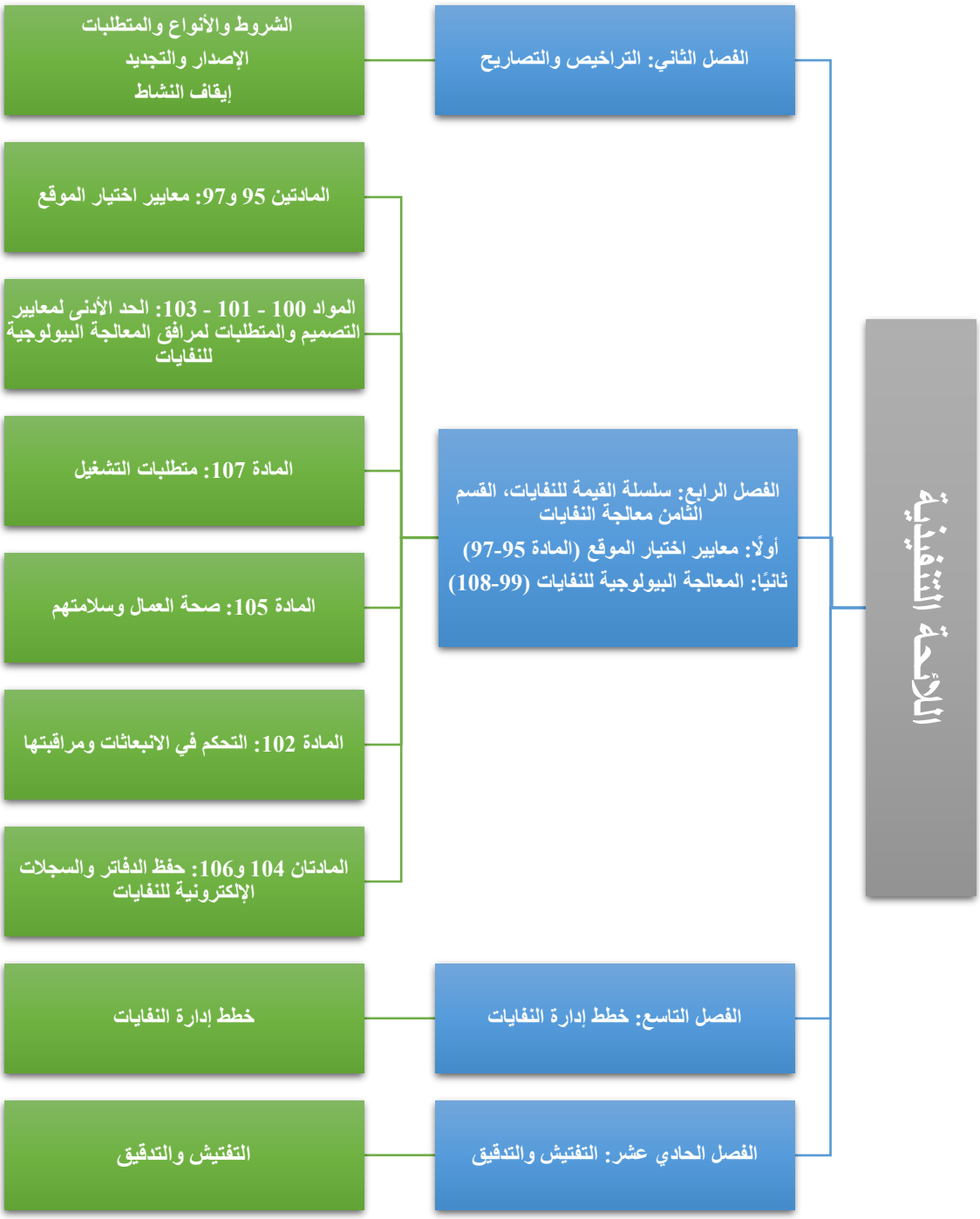
ويجب على المُستخدمين مراجعة نظام إدارة النفايات واللائحة التنفيذية لمعرفة المزيد عن المتطلبات النظامية؛ لتصميم مرافق المعالجة البيولوجية للنفايات وإنشائها وتشغيلها.

وترد أدناه الأحكام التنظيمية الرئيسة المتعلقة بتصميم المعالجة البيولوجية للنفايات وإنشائها وتشغيلها.

الشكل ٢-٠: الأحكام التنظيمية ذات الصلة بنظام إدارة النفايات المادة ١٦ رفع التقارير بشأنها/ المادة ٢١ حوادث طارئة/ تعديلات.

المصطلحات المُستخدَمة في هذه الوثيقة لها نفس المعاني المُعرّفة في نظام إدارة النفايات. ويُقصد بالمعالجة، على وجه الخصوص، إحداث تغيير في مواصفات النفايات وفقًا لنظام إدارة النفايات. وتهدف هذه التغييرات إلى تحقيق هدف واحد أو أكثر من الأهداف التالية:

- تقليل حجم النفايات.
- تسهيل عمليات معالجة النفايات عند إعادة استخدامها أو تدويرها، أو استخلاص بعض المنتجات منها.
- إزالة الملوثات العضوية من النفايات.
- تقليل بعض مكونات النفايات، أو الاستفادة منها.
- إزالة إحتمالية تأثير النفايات سلبًا على المجتمع أو البيئة المحيطة.




الشكل ١-٠: الأحكام النظامية الخاصة بالمعالجة البيولوجية للنفايات في اللائحة التنفيذية.

## ٣- الأدوار والمسؤوليات

تشمل الجهات الرئيسة المسؤولة عن المعالجة البيولوجية للنفايات وفقًا للقسم ١. على سبيل المثال: وزارة البيئة والمياه والزراعة، المركز، شركات التصميم والإنشاء المعنية بمرافق المعالجة البيولوجية، ومقدمو خدمات النفايات (بموجب هذا فقط لمرافق المعالجة).

فيما يلي أدوار ومسؤوليات الأطراف الرئيسة المعنية:

| | الأدوار والمسؤوليات |
|---|---|
| **المركز** | ■ إصدار رخصة لمرافق المعالجة البيولوجية للنفايات وفقاً للضوابط التي يحددها النظام واللائحة التنفيذية.<br>■ مراقبة التزام مقدمي الخدمة بأحكام النظام واللوائح والقواعد والتعليمات الصادرة بموجبه، والتأكد من تقيّدهم بشروط وأحكام ترخيصهم عن طريق المفتشين المعينين بقرار من الوزير. |
| **المركز الوطني للرقابة على الالتزام البيئي** | ■ إصدار تصريح بيئي لانشاء مرافق المعالجة البيولوجية للنفايات وتشغيلها وفقاً للضوابط التي يحددها النظام واللوائح؛ وذلك بعد عرض تقييم الأثر البيئي واعتماده.<br>■ مراقبة امتثال مقدمي الخدمة -فيما يتعلق بالعوامل البيئية (مثل الانبعاثات وغيرها)- لأحكام النظام واللوائح والقواعد والتعليمات الصادرة بموجبه، وكذلك شروط وأحكام ترخيصهم عن طريق المفتشين المعيَّنين بقرار من الوزير. |
| **شركات التصميم والأنشاء** | الالتزام بأحكام النظام واللوائح والقواعد والتعليمات الصادرة بموجبه، وشروط وأحكام تصاريح الأنشاء والتراخيص البيئية، وأي تصاريح وتراخيص أخرى ذات صلة. |
| **مقدمو خدمة/ مشغلو معالجة النفايات** | ■ التحقق من صحة تفاصيل وثيقة نقل النفايات، والتأكد من أنها تقع ضمن الترخيص الصادر لكفاءة مرفق المعالجة البيولوجية للنفايات.<br>■ تقديم تقارير دورية إلى المركز وفقاً للضوابط التي تحددها اللائحة التنفيذية.<br>■ الاحتفاظ بسجل كافٍ وحديث للعمليات المختلفة، وتقديمه بانتظام إلى المركز.<br>■ تقديم التدريب المناسب للموظفين المعيَّنين، لضمان تمتعهم بأعلى مستوى من المهارات والمؤهلات اللازمة لأداء مهامهم.<br>■ ضمان الإدارة السليمة والآمنة للمنتجات الثانوية والمخلفات الناتجة عن عمليات المعالجة البيولوجية للنفايات؛ وذلك وفقاً للوائح والتعليمات المعمول بها في المركز. |

**الأدوار والمسؤوليات**

- تركيب نظام مراقبة بمرفق المعالجة البيولوجية للنفايات لمراقبة العوامل البيئية (مثل الانبعاثات وغيرها) المتأثرة بالتقنية المُستخدَمة، على أن يتحمل المُشَغل التكلفة الخاصة بذلك.
- ان يتولى مسؤولية الصيانة والإشراف والمراقبة وفقاً للتراخيص ذي الصلة، أو التراخيص أو التصاريح الأخرى التي يتطلبها النظام واللوائح والضوابط التقنية ذات الصلة التي يصدرها المركز.
- إبلاغ المركز بتقديم إشعارات خلال مدة أقصاها ٢٤ ساعة من اكتشاف أي آثار بيئية سلبية كشفت عنها المراقبة الذاتية.
- تقديم الضمانات المالية المطلوبة لضمان الوفاء بالالتزامات المحددة.

# ٤- نظرة عامة على المعالجة البيولوجية للنفايات

## ٤-١ السياق

تمثل نفايات الطعام حوالي ٦٠٪ من إجمالي النفايات البلدية الصلبة الناتجة في المملكة، بينما تمثل نفايات الحدائق من أنشطة تنسيق المناظر الطبيعية حوالي ١٠٪، كما تُنتج أيضاً نفايات أخرى عضوية، وتدفقات للنفايات العضوية الأخرى من الزراعة، ومعالجة الطعام، وتوزيعه، واستهلاكه.

على الرغم من كون تلك النفايات يمكن استخدامها كمصدر للموارد، مثل: العناصر الغذائية والمواد العضوية بعد توجيه النفايات العضوية إلى خيارات المعالجة؛ فإنه بالوقت الحالي لم يُطبَّق بعدُ فصل نفايات الطعام في المصدر بالمملكة العربية السعودية، بل تُنقَل الغالبية العظمى من النفايات إلى مرادم النفايات، وبالتالي تُفقَد فرصة تدويرها.

وذلك على الرغم من إمكانية استخدام طرق المعالجة البيولوجية لتحويل النفايات إلى سماد عضوي، التي يمكن تصنيفها في الاقتصاد الدائري على أنها تدوير في حال استخدام السماد العضوي أو نفايات الهضم الناتجة عن عملية الهضم اللاهوائي كمنتج أو مادة مُعاد تدويرها، وذلك إلى جانب الغاز الحيوي الناتج عن عملية الهضم اللاهوائي الذي يمكن استخدامه إما لإنتاج الحرارة والكهرباء، أو لترقيته إلى وقود حيوي منخفض الكربون.[1]

## ٤-٢ تدفقات النفايات المناسبة للمعالجة البيولوجية للنفايات

تُعَد المعالجة البيولوجية هي عملية تحلُّل النفايات القابلة للتحلل البيولوجي، باعتبارها أحد العناصر الأساسية في مجال إدارة النفايات والموارد. وطبقاً للائحة التنفيذية لنظام إدارة النفايات، تُعَد النفايات القابلة للتحلل البيولوجي "أي نوع من النفايات له القدرة على المرور بمراحل التحلل الهوائي واللاهوائي، مثل: بقايا الأطعمة، ونفايات الحدائق، والورق ".

ويُعدّ التحلل الهوائي واللاهوائي للنفايات القابلة للتحلل البيولوجي شكلين من أشكال المعالجة البيولوجية للنفايات.

**ومع ذلك، لا يمكن تصنيف كل النفايات القابلة للتحلل البيولوجي على أنها مناسبة للمعالجة البيولوجية.**

فالنفايات القابلة للتحلل البيولوجي، مثل: الورق الملوث، والورق المختلط، والجلود، والأقمشة، ليست مناسبة بشكل دائم للمعالجة البيولوجية، وقد يرجع ذلك للأسباب التالية:

- قد يحتوي الورق الملوث، بما في ذلك المناديل الورقية، والورق المطبوع، والورق الملون، والورق اللامع، على بعض المعادن الثقيلة السامة. وعند تحويله إلى سماد عضوي، على سبيل المثال، قد يؤثر على جودة السماد. وفي الممارسة العامة، لا يُجمَع الورق الملوث بشكل منفصل، رغم عدم صلاحيته للتدوير، مما يؤدي إلى خلطه مع النفايات البلدية الصلبة في معظم الحالات.
- قد لا يصلح الورق المختلط على غرار الورق الملوث، للتحول إلى سماد. ويرجع ذلك إلى احتمالية احتوائه على مواد غير مناسبة للتحول إلى سماد عضوي، مثل البلاستيك أو المواد السامة والخطرة الموجودة في المواد اللاصقة.

[1] النفايات البيولوجية في أوروبا - تحويل التحديات إلى فرص، تقرير الوكالة الأوروبية للبيئة رقم ٠٤/٢٠٢٠.

- الأقمشة والجلود: تُعَد الألياف الطبيعية/ الجلود قابلة للتحلل البيولوجي، على عكس المواد الصناعية. وعلى الرغم من أن المواد الطبيعية قابلة للتحلل البيولوجي، فإنها غالباً ما تُنتَج بمواد كيميائية غير معروفة، التي يُحتمل أن تُبطئ العملية البيولوجية ومسار التسميد. وفي إطار الممارسة العامة يُعاد استخدام نفايات الأقمشة والجلود البلدية، أو تدويرها بشكل رئيس، لإنتاج مواد جديدة لصناعة الأقمشة.

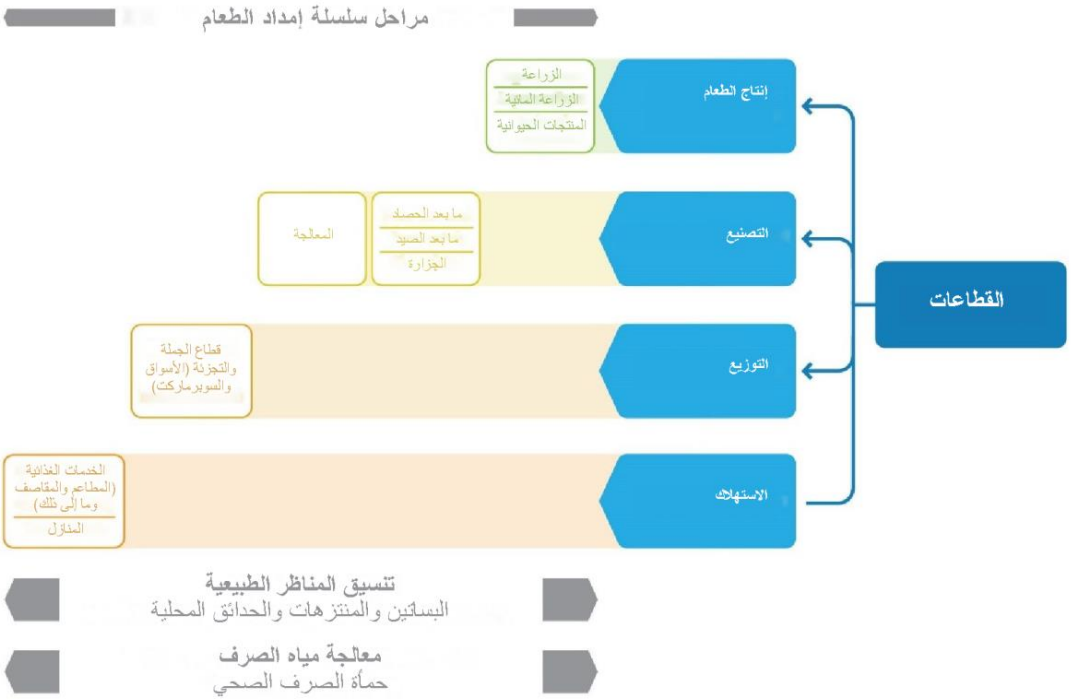
تشير مجموعات النفايات الأكثر قابلية للتحلل البيولوجي إلى نفايات الطعام والنفايات الخضراء الناتجة عن:

- الإنتاج (الأصول الزراعية مثل: الحقول المفتوحة، والمحميات الزراعية، ومزارع الحيوانات، وما إلى ذلك).
- المعالجة (مجال إعداد الطعام).
- قطاع التجزئة (أسواق الفاكهة والخضراوات، ومحال السوبرماركت).
- الاستهلاك (المطاعم وخدمات تقديم الطعام والمنازل، وما إلى ذلك).
- النفايات الخضراء من تنسيق المناظر الطبيعية.

يُعَد تمييز النفايات العضوية حسب نوع المصدر أمراً ضرورياً؛ إذ قد تختلف خيارات المعالجة بناءً على الخصائص المختلفة للمواد المكوِّنة للنفايات، مثل: التركيب، والتجانس، ونسبة الشوائب، ومحتوى الرطوبة، والمادة العضوية، ومحتوى النيتروجين، وما إلى ذلك.

وتُنتَج النفايات العضوية من مصادر مختلفة، مثل: الزراعة، والبستنة، والصناعة، والتوزيع، والاستهلاك.

ويوضح الشكل ٠- تدفقات النفايات العضوية الرئيسة الناتجة أثناء سلسلة إمداد الطعام، ومن تنسيق المناظر الطبيعية.




الشكل ٤-٠: مصادر إنتاج النفايات العضوية.

## ٣-٤ نظرة عامة على تقنية المعالجة البيولوجية

تشير عمليات المعالجة البيولوجية للنفايات إلى استخدام كائنات حية دقيقة لتحليل النفايات العضوية، إما إلى ثاني أكسيد الكربون ومواد غير عضوية بسيطة، أو إلى مواد عضوية أبسط مثل الألدهيدات والأحماض.

ويمكن تلخيص أنواع تقنيات المعالجة البيولوجية للنفايات المُستخدَمة في معالجة النفايات العضوية التي نُوقشت وأُدرجت في نطاق هذه الوثيقة بإيجاز على النحو التالي:

- **المعالجة اللاهوائية أو الهضم اللاهوائي للنفايات العضوية**: هي عملية تتم داخل حاويات مغلقة في غياب الأكسجين، وتؤدي إلى إنتاج غاز حيوي يمكن استخدامه لإنتاج الكهرباء أو الحرارة أو ترقيته إلى وقود، بالإضافة إلى إنتاج نفايات الهضم التي يمكن استخدامها كسماد عضوي أو مُحَسن للتربة.
- **المعالجة الهوائية أو تحويل النفايات العضوية إلى سماد**: هي عملية التحلل البيولوجي الطبيعي؛ حيث تقوم الكائنات الحية الدقيقة بتحليل النفايات إلى ثاني أكسيد الكربون ومياه ونترات وكبريتات في وجود الأكسجين، وتؤدي هذه العملية إلى إنتاج مادة دبالية وسماد عضوي، يمكن استخدامه كسماد مُركب أو مُحَسن للتربة.

وتُحدد القائمة التالية تقنيات معالجة النفايات العضوية:

١- **الهضم اللاهوائي (AD):**

أ- الهضم اللاهوائي الرطب للنفايات العضوية الصلبة والسائلة.
ب- الهضم اللاهوائي الجاف للنفايات العضوية الصلبة.
ج- المعالجة الإضافية لمخرجات الهضم اللاهوائي:
- الغاز الحيوي - ترقية الميثان الحيوي.
- الغاز الحيوي - تجميع ثاني أكسيد الكربون.
- مخلفات الهضم اللاهوائي - المعالجة المتقدمة لمخلفات الهضم اللاهوائي.

٢- **الهضم الهوائي - تحويل النفايات العضوية إلى سماد:**

أ- الأنظمة المفتوحة:
- التسميد بالتكويم.
- التسميد الهوائي الساكن.
ب- أنظمة الاحتواء أو التسميد داخل الحاويات:
- توجد داخل المباني.
- تحتوي على حاويات مصممة خصيصاً (مثل: الأنفاق، أو الأسطوانات، أو الأبراج).

**الميكانيكية البيولوجية (MBT):**

على الرغم من أن مدخلات الهضم الهوائي واللاهوائي عادةً ما تكون نفايات عضوية مفصولة في المصدر، إلا أن المعالجة الميكانيكية البيولوجية تهدف إلى معالجة تدفقات النفايات المختلطة (النفايات المتبقية).

ويتيح الفصل في المصدر مدخلات عالية الجودة لكل من الهضم الهوائي واللاهوائي، مما يوفر أعلى محتوى عضوي، وأقل مستوى من التلوث بالمعادن الثقيلة والمواد الخطرة الأخرى. وبعد هضم النفايات العضوية المفصولة في المصدر، تنتج مخرجات عبارة عن سماد عضوي عالي الجودة، يمكن الاستفادة منه اقتصادياً على شكل سماد مركب، إلى جانب كمية كبيرة من الغاز الحيوي.

وفي حين أن التسميد يستحوذ على النصيب الأكبر من سعة المعالجة، إلا أن استخدام الهضم اللاهوائي يتزايد؛ لأنه يُولّد غازًا حيويًا، ما يجعله مصدرًا للطاقة المتجددة. كما تعتمد تقنية المعالجة المفضلة على إنشاء النفايات البيولوجية وخصائص نظام الجمع المنفصل، بينما يحقّق الهضم اللاهوائي فوائد بيئية أعلى.[2]

تتمثل الأهداف الرئيسية لمحطات المعالجة الميكانيكية الحيوية في تقليل وزن النفايات، وتثبيت أي مواد عضوية نشطة بيولوجيًا (أي تحويلها إلى ما يُعرف بـ "النفايات الخاملة")، واستخراج المواد القابلة للتدوير، وإنتاج وقود صلب مُسترَد للاستخدام في العمليات الحرارية الصناعية.

صُممت المعالجة الميكانيكية البيولوجية في البداية لتقليل محتوى المكوّن العضوي في النفايات المُرسلة إلى مواقع التخلص النهائي، بهدف تقليل إنتاج الغاز الحيوي والعصارة، وبالتالي تقليل كمية النفايات المُرسلة إلى مردم النفايات.

ملاحظة: لا تتناول هذه الوثيقة المعالجة الميكانيكية البيولوجية، حيث تُغطى هذه التقنية بالتفصيل في وثيقة منفصلة.

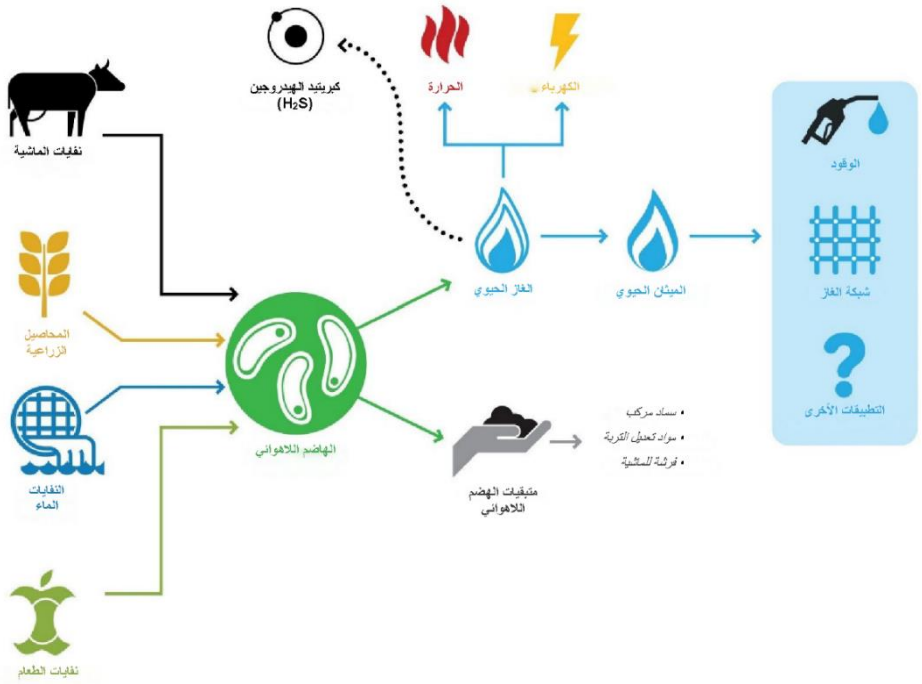
## ٤-٤ المعالجة اللاهوائية (الهضم اللاهوائي)

**الهدف**

الهضم اللاهوائي يُعرف أيضاً باسم "تكنولوجيات الغاز الحيوي".

صُمم هذا النوع من تقنيات المعالجة هندسياً؛ من أجل مراقبة الهضم البيولوجي للمواد القابلة للتحلل البيولوجي، وتحسينه لإنتاج غاز غني بالميثان لإنتاج الطاقة ونفايات الهضم اللاهوائي.

يوضح الشكل ٠- مخطط تدفق العملية الكيميائية لعملية الهضم اللاهوائي مع المدخلات والمخرجات.




الشكل ٤-٠: الرسم التخطيطي للهضم اللاهوائي.

[2] النفايات البيولوجية في أوروبا - تحويل التحديات إلى فرص، تقرير الوكالة الأوروبية للبيئة رقم ٢٠٢٠/٠٤.

## عملية المعالجة اللاهوائية

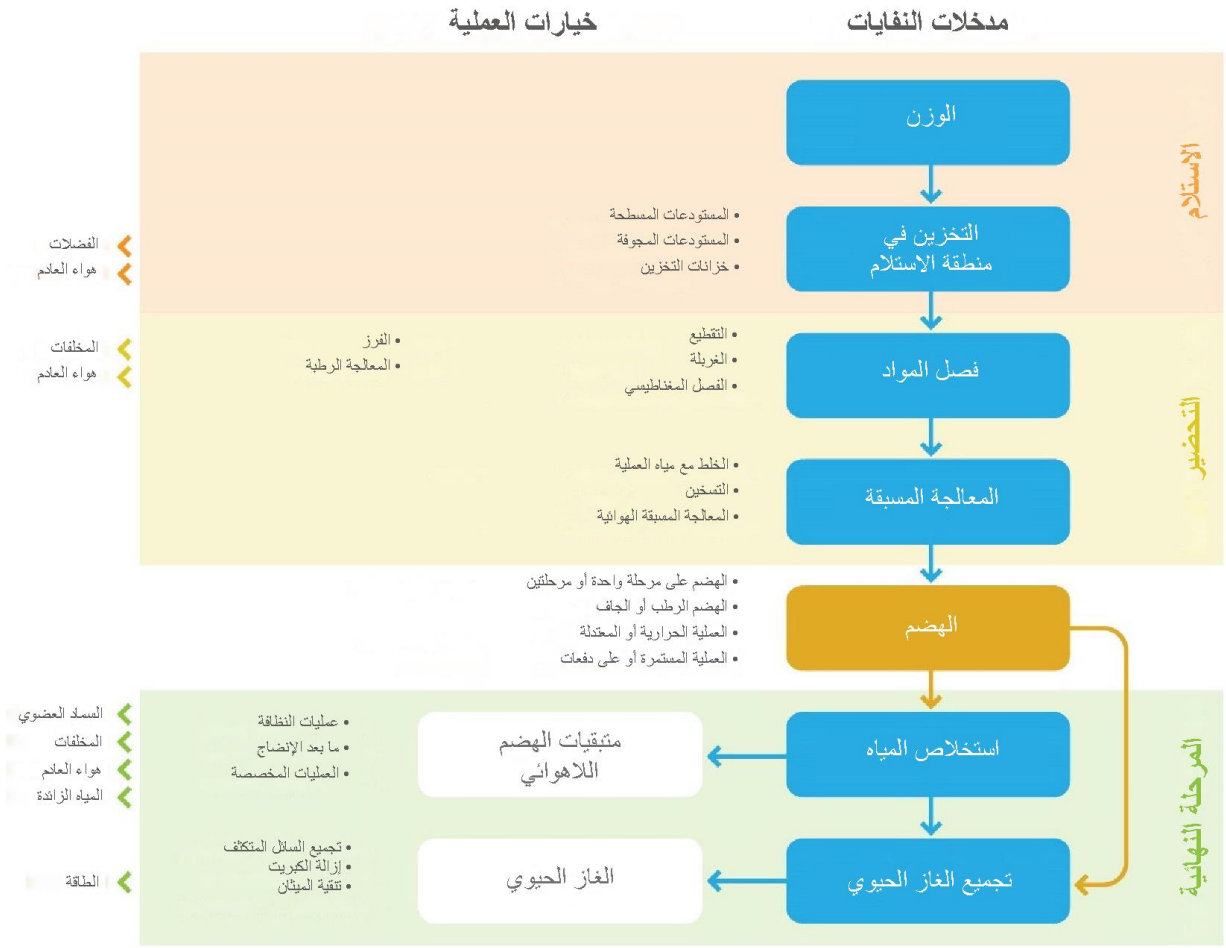
ينطوي الهضم اللاهوائي عموماً أربع خطوات رئيسية، هي:

أولاً: استلام المدخلات.

ثانياً: التحضير (فصل المواد والمعالجة المسبقة).

ثالثاً: الهضم.

رابعاً: المرحلة النهائية (استخراج المياه، تجميع الغاز الحيوي ومعالجته)، كما هو موضح في الشكل ٠-. ويُمكن الاطلاع على شرح مُفصل لهذه العملية في القسم ٦.




الشكل ٤-٠: مثال لمرفق الهضم اللاهوائي.

تتطلب المدخلات التي يتم توصيلها إلى مرفق الهضم اللاهوائي معالجة مسبقة/ تحضير قبل إدخالها في العملية. وتعتمد طبيعة المعالجة المسبقة المطلوبة على نوعية المدخلات.

وتهدف المعالجة المسبقة عموماً إلى تحقيق تجانُس المدخلات (من حيث الحجم والتجانس)، وإزالة المكونات كبيرة الحجم والملوثات منها. وقد تشمل هذه الملوثات مواد مثل: البلاستيك، أو المعادن، أو المواد الكيميائية السامة للعمليات البيولوجية بالمرفق.

بعد المعالجة المُسبقة، تُدخل المادة إلى حاوية مُحكمة الإغلاق (الهاضم). وفي الهاضم تُحلّل الكائنات الدقيقة المدخلات إلى غاز حيوي ونفايات الهضم اللاهوائي، وتحدد خصائص المدخلات، إلى جانب مزود التقنية، النوع الأنسب لعملية الهضم.

ثم يُسحب الغاز الحيوي من الهاضم، ويُمرَّر عبر نظام تسخين، لإزالة كبريتيد الهيدروجين والسيلوكسانات siloxanes (ويسمى ذلك بعملية التنظيف). بعد التنظيف يُخزّن الغاز الحيوي في بالون غاز، ويُعَد بمثابة حاوية عزل وخلط، للسماح بتدفق الغاز الحيوي باستمرار، وضمان جودته للاستخدام النهائي. كان الاستخدام النهائي الشائع هو حرق الغاز الحيوي في مُحرك غازي ترددي لتوليد الكهرباء والحرارة، لكن تتوفر الآن تقنيات تجارية قادرة على فصل الغاز الحيوي إلى مكونيه الرئيسيين: الميثان وثاني أكسيد الكربون. وقد تم تناول هذه التقنية بالتفصيل في القسم ٦.

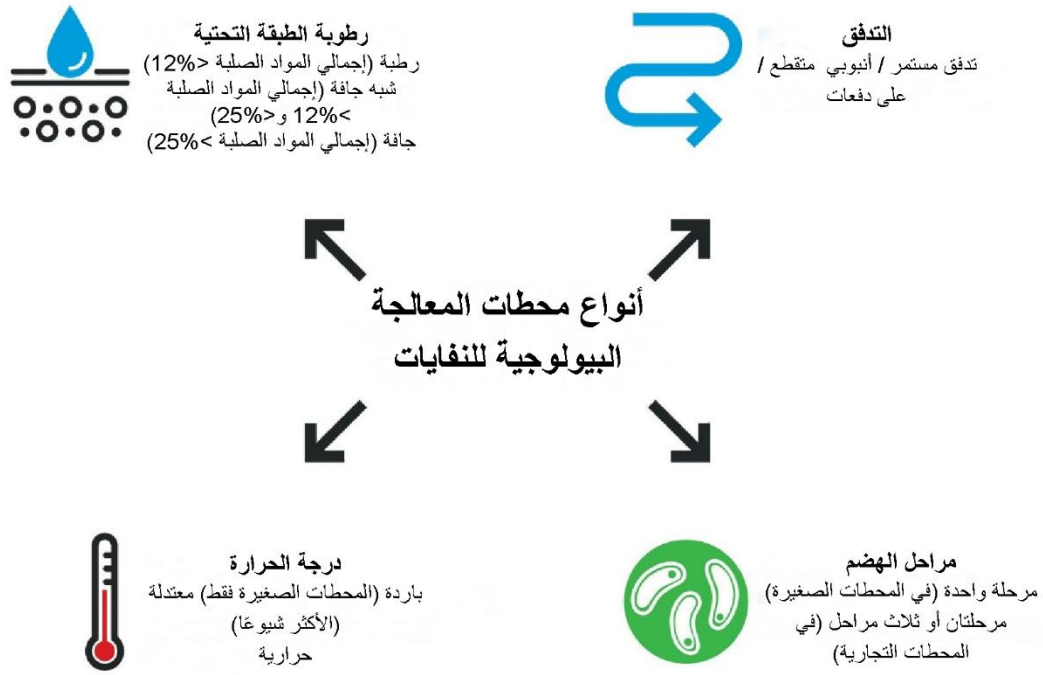
## نظرة عامة على التقنية

تُعد تقنيات الهضم اللاهوائي مُغلقة المسار بطبيعتها، وتستخدم حاويات مُصممة خصيصًا، سواءً رأسية أو أفقية أو كليهما، بالإضافة إلى نظام أنابيب للربط، وخلاطات، وآلات تقطيع، ومضخات. وتستغرق عملية الهضم اللاهوائي فترة تتراوح من ثلاثة إلى ستة أسابيع، اعتمادًا على قابلية تحويل المواد إلى غاز حيوي ودرجته والتقنية المستخدمة.

تُصنف تقنيات الهضم اللاهوائي بشكل أساسي إلى نوعين: "رطب" و "جاف". تُستخدم أنظمة الهضم اللاهوائي الرطب لمعالجة المواد السائلة (التي تزيد نسبة الرطوبة فيها عن ٨٥٪)، بينما تُستخدم عمليات الهضم اللاهوائي الجاف لمعالجة المواد الأكثر جفافًا (التي تقل نسبة الرطوبة فيها عن ٨٠٪)، والتي تتراوح من الطين السميك إلى المواد الصلبة الرطبة.

تُخلط مُدخلات النفايات وتُنقع مع نسبة كبيرة من المُخلفات السائلة الناتجة عن العملية، أو مع نفايات جديدة، أو كليهما، مما يُعطيها خصائص الرطوبة والتدفق المطلوبة.

تختلف التقنيات المُتاحة في السوق للهضم اللاهوائي الرطب، بناءً على رطوبة الطبقة التحتية، وتدفقها، ودرجة حرارتها، ومراحل الهضم، كما هو موضح في الشكل ١-٠.




الشكل ١-٠: خيارات تقنية الهضم اللاهوائي.

## ٤-٥ المعالجة الهوائية (التسميد)

### الهدف

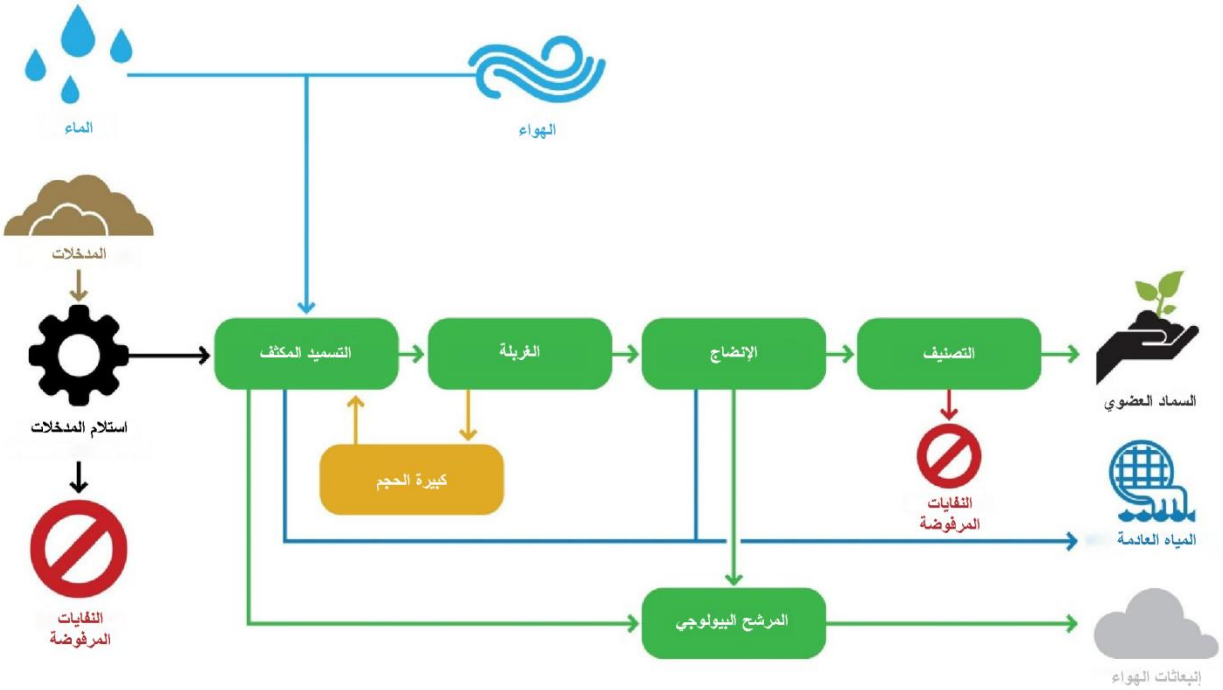
يتمثل الهدف الرئيسي للمعالجة الهوائية في تحويل النفايات العضوية إلى سماد عضوي، يُستفاد منه اقتصاديًا - كأحد المبادئ الرئيسية للاقتصاد الدائري - ويُعاد تدويره كسماد مُركب، أو مُحسن للتربة، أو على الأقل كوقود مُسترَد. كما تُستخدم المعالجة الهوائية لتحقيق الاستقرار البيولوجي للنفايات قبل ردمها، وعادةً ما تكون جزءاً من محطات المعالجة البيولوجية الميكانيكية.

### عملية المعالجة الهوائية

يُعَد تحويل النفايات إلى سماد عضوي عملية ميكروبيولوجية هوائية معقدة، يمكن تحسينها من خلال التحكم في جودة المدخلات وعددٍ من المعايير التشغيلية، مثل: التهوية، ونسبة الرطوبة، والرقم الهيدروجيني، ونسبة الكربون إلى النيتروجين، ودرجة الحرارة، وما إلى ذلك.

يتضمن التصميم الأساسي لمحطات التسميد أربع مراحل رئيسية، هي: استلام المدخلات، والتحضير (أو مرحلة ما قبل التسميد)، والتسميد (التسميد المكثف - مرحلة التسميد الحراري/ المعتدل، والتهوية، والإنضاج)، وأخيراً المرحلة النهائية (مرحلة الغربلة).

ويُمكن الاطلاع على شرح مُفصل لهذه العملية في القسم ٦. يمكن وصف عملية التسميد باعتبارها مخططاً عامًّا للعملية، كما هو موضح في الشكل ٠-.




الشكل ٤-٠: المخطط النموذجي للهضم الهوائي.

**نظرة عامة على التقنية**

تتشكل تقنيات التسميد في مجموعة من التصميمات، ويُتوقع منها جميعاً مراقبة الاستقرار البيولوجي والتعقيم، وفي بعض الحالات تجفيف المواد القابلة للتحلل البيولوجي وتحسين تلك العمليات.

تُقسّم تقنيات التسميد إلى فئتين أساسيتين: الفئة التي تُنفذ فيها عملية التسميد داخل حاوية، وتلك التي لا تُنفذ على هذا النحو.

تُسمى عمليات التسميد التي تُنفذ في حاوية بـ: أنظمة "المفاعل"، أو "داخل الحاويات"، أو "الاحتواء"، أو "المغلقة"، أو "داخل الخلجان"، أو "داخل المباني" وفقاً لطبيعة الحاوية ودرجة الاحتواء. بينما تُسمى عمليات التسميد التي لا تُنفذ داخل حاوية بـ: الأنظمة "المفتوحة"، أو "الخارجية". ويمكن أيضًا تصنيف تقنيات التسميد وفقًا لطريقة نقل نفايات التسميد، وأيضاً وفقاً لتوفير التهوية القسرية، وما إذا كانت عملية التسميد تُنفذ على أساس مستمر أو على دفعات.

**أ- الأنظمة المفتوحة**

أ- التسميد بالتكويم.

ب- التسميد الهوائي الساكن.

**ب- أنظمة الاحتواء**

أ- أنظمة التسميد المستمر أو المتقطع - التدفق الرأسي.

ب- أنظمة التسميد المستمر أو المتقطع - التدفق الأفقي أو المائل.

١- الأسطوانات الدوارة.

٢- الصناديق أو الخلجان المتحركة: أ) الدائرية. ب) المستطيلة.

٣- الأنفاق المستمرة.

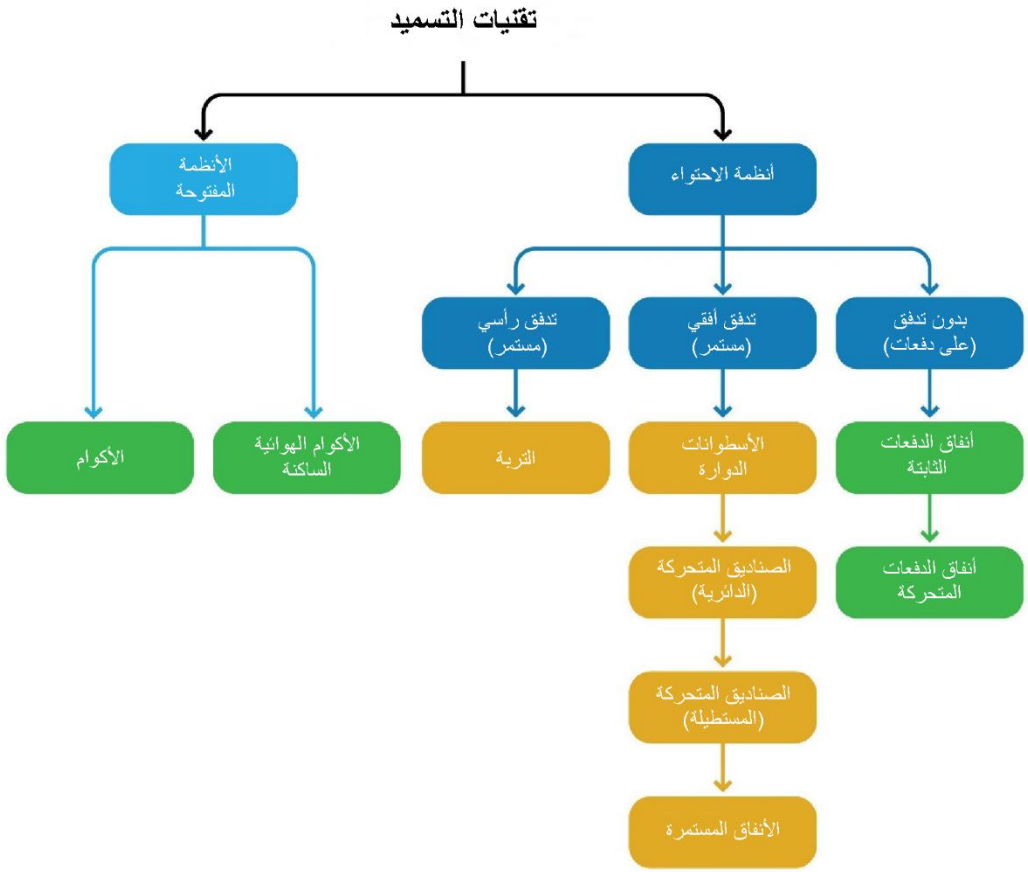
ج- أنظمة التسميد على دفعات:

١- الخلجان المفتوحة.

٢- أنفاق الدفعات الثابتة.

٣- أنفاق الدفعات المتحركة.

يلخص الشكل التالي هذه التصنيفات:




الشكل ٤-٦: تقنيات التسميد.

تعتمد تقنية التسميد المختارة على عدد من المعايير المحلية، مثل: تكلفة عمليات التخلص من النفايات العضوية المنافسة، ورسوم البوابة التي يمكن الحصول عليها لاستلام المدخلات، وتوافر المدخلات فضلاً عن النوع والكمية، وموقع مرفق التسميد، ونوع السماد العضوي الذي تطلبه الأسواق المتاحة، والتشريعات البيئية.

الجدول ٤-١ يقدم وصفاً موجزاً لنوعين من التسميد، وهما: النظام المفتوح، ونظام الاحتواء.

الجدول ٤-١: أنواع المعالجة الهوائية.

| نوع المعالجة الهوائية | وصف موجز |
|---|---|
| الأنظمة المفتوحة | |
| التسميد بالتكويم في الهواء الطلق | نوع من التسميد تُكدس فيه النفايات إلى أكوام، وتُهوَّى هذه الأكوام بانتظام بتقليبها يدويًّا أو ميكانيكيًّا. |
| التسميد الهوائي الساكن للأكوام | يناسب هذا النوع من التسميد الخليطَ المتجانس نسبيًّا من النفايات العضوية، ويُعد مُلائمًا لمُنسقي الحدائق أو المزارع، ولمن ينتج كميات كبيرة من نفايات تنظيف الحدائق والنفايات البلدية الصلبة القابلة للتسميد (مثل: بقايا الطعام، والمنتجات الورقية). ومع ذلك، لا تُعد هذه الطريقة فعالة لتسميد المنتجات الثانوية الحيوانية أو الشحوم الناتجة عن صناعات معالجة الطعام. |

| نوع المعالجة الهوائية | وصف موجز |
|---|---|
| | في هذا النوع من التسميد، تُخلط النفايات العضوية في كومة كبيرة، ولتهويتها تُضاف إليها طبقات من النفايات المتراكمة (مثل رقائق الخشب، وقصاصات الورق) بشكل غير متراص، للسماح بمرور الهواء من أسفل الكومة إلى أعلاها. كما يمكن وضع الأكوام على شبكة من الأنابيب التي تزود الكومة بالهواء أو تسحبه منها. وقد تُنشط مضخات الهواء بواسطة جهاز قياس او مستشعر لدرجة الحرارة. |
| أنظمة الاحتواء | |
| التسميد داخل الحاويات | يُمكن لتقنية التسميد داخل الحاويات مُعالجة كميات كبيرة من النفايات، دون الحاجة إلى مساحة كبيرة كالتي تتطلبها طريقة التسميد بالتكويم، كما يُمكنها استيعاب مُعظم أنواع النفايات العضوية (مثل اللحوم، وروث الحيوانات، والنفايات العضوية الصلبة، وفضلات الطعام).<br>تتضمن هذه العملية وضع النفايات العضوية في برميل، أو صومعة، أو خندق مبطن بالخرسانة. ويسمح ذلك بالتحكم الدقيق في الظروف البيئية مثل: درجة الحرارة، ونسبة الرطوبة، وتدفق الهواء. تُقلب المواد أو تُخلط ميكانيكيًا للتأكد من تهويتها. وقد يختلف حجم الحاوية وسعتها.<br>تتطلب العملية تقنيات تُستخدم لمراقبة إمداد الأكسجين الذي تحتاجه العملية، ويتحقق ذلك من خلال التحريك الميكانيكي للنفايات (التقليب)، وضخ الهواء أو شفطه من خلال النفايات (التهوية الميكانيكية)، مما يوفر مستويات مختلفة من مراقبة العملية وإتمامها. |

## ٦-٤ اعتبارات عامة بشأن تقنيات المعالجة البيولوجية

في حين أن منع توليد النفايات وإعادة استخدامها يُعدّان الخيار الأفضل من الناحية البيئية، إلا أن الهضم اللاهوائي للنفايات العضوية يُمثل الخيار الثاني الأفضل قبل التسميد؛ نظرًا لأنه يُتيح استرداد المواد والطاقة. ومن هذه المزايا ما يلي:

- يُعَد السماد الحيوي مطلوباً كمُحَسن للتربة.
- يُشبه السماد العضوي الناتج عن التسميد المباشر، ذلك الناتج عن تسميد مُخلفات الهضم اللاهوائي من حيث التكوين والكمية.
- تحل الطاقة المستردة من الغاز الحيوي الناتج محل الطاقة الناتجة من الوقود الأحفوري.
- تُدار عملية الهضم بشكل جيد.

ومع ذلك، في المناطق التي تُعاني فيها التربة الزراعية من انخفاض مُستويات المواد العضوية، قد يكون تحويل النفايات العضوية إلى سماد هو الخيار الأفضل بيئيًا؛ حيث لا يُعد الهضم اللاهوائي مُمكنًا دائمًا من الناحية التقنية، على سبيل

المثال: عندما يكون الجزء الأكبر من النفايات عبارة عن نفايات حدائق. وفي حالة عدم إمكانية تطبيق الهضم اللاهوائي لاعتبارات تقنية، يجب مُقارنة تسميد النفايات العضوية باسترداد الطاقة لتحديد الخيار الأفضل.[3]

[3] مستند مرجعية أفضل التقنيات المتاحة لمعالجة النفايات، مركز الأبحاث المشترك التابع للمفوضية الأوروبية، ٢٠١٨.

## ٥- مواصفات الموقع ومتطلبات البنية التحتية

### ٥-١ معايير اختيار الموقع

وفقاً للمادة رقم (١٠٠) من الفصل الرابع للائحة التنفيذية، يجب أخذ موافقة المركز عند تصميم مرافق المعالجة البيولوجية، على أن يحقق تصميم المرفق كحد أدنى ما يلي:

- تقليل الآثار البيئية المحتملة إلى أدنى حدّ ممكن.
- تقليل الأخطار المحتملة الت تهدّد صحة وسلامة العمال والعامة.
- التشجيع على استرداد الموارد من النفايات.
- الاستخدام الأمثل لموارد الموقع.

وفقا للمادة رقم (٩٥) من الفصل الرابع للائحة التنفيذية، يجب عند اختيار موقع لإنشاء وتشغيل مرفق أو مردم لإدارة النفايات أو التفضيل بين أكثر من موقع، على الأشخاص مراعاة مجموعة من العناصر والخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية والبيئية والاقتصادية وغيرها للموقع، وهي كما يلي:

- مراعاة توافر البنى التحتية والطرقات لضمان سهولة الوصول إلى الموقع في جميع فصول السنة، وأثر المرفق على حركة المرور في المنطقة.
- يجب الابتعاد عن المواقع التاريخية والمحميات.
- يجب أن تكون المساحة مناسبة لاستيعاب جميع النفايات المنتجة على مدى دورة حياة المرفق.
- يجب البعد عن المواقع ذات الانحدار الشديد. يفضل الأراضي المنبسطة وغير المرتفعة.
- أن يكون الموقع بعيداً عن الأودية والشعاب ومجاري السيول والشواطئ والمسطحات المائية ومصادر المياه، بحيث ألا يتسبب في تلوث أي مصدر للمياه.
- يجب ألا يكون الموقع في أراضٍ يكون منسوب المياه الجوفية بها عاليًا أو في السبخات الساحلية.
- يجب مراعاة العناصر المناخية، مثل الاتجاه السائد للرياح، وسرعتها، حيث يجب أن يكون المرفق في عكس اتجاه الريح السائدة في المنطقة.
- يحب أن يكون الموقع بعيدًا عن الأراضي المستخدمة حاليا أو المخططة لأغراض تنموية مثل المناطق العمرانية، والتجارية، والزراعية، والصناعية.
- في حال اختيار موقع لمردم لا بدّ من توفر التربة المناسبة والكافية لتغطية النفايات مع مراعاة أن تكون التربة ذات نفاذية منخفضة ومتماسكة.
- مراعاة أن يكون الموقع بعيدًا عن أبراج وخطوط الكهرباء والسكك الحديدية والمطارات وخطوط أنابيب المرافق والطرق السريعة بقدر الإمكان.
- أي ضوابط واشتراطات أخرى يصدرها المركز.

* وللمركز الاستثناء من أي ضابط من هذه الضوابط بحسب طبيعة المشروع.

وفقاً للمادة رقم (٩٧) من اللائحة التنفيذية، يُحظر بناء مرافق إدارة النفايات دون الحصول على ترخيص من المركز، ويجب عند اختيار المواقع والمناطق تجنّب المواقع التالية:

- المواقع المجاورة للأراضي المشمولة في مخططات التطوير مثل: مناطق التوسع الحضري أو التجاري أو الزراعي.
- المواقع الداخلة ضمن حيز القرى أو الحيز البحري أو مسارات الفيضانات إذا كانت معالجة النفايات أو التخلص منها قد تؤدي إلى تلوث المياه نتيجة تسرب السوائل إلى الأرض.
- المواقع التي تتسم بضحالة منسوب المياه الجوفية لا سيما في المناطق التي تُستخدم فيها تلك المياه لأغراض الزراعة أو الشرب.
- المواقع الموجودة في أماكن شديدة الإنحدار.
- المواقع الموجودة ضمن المناطق الأثرية التاريخية أو المحميات الطبيعية أو المحميات البيئية.
- المناطق المتاخمة للمطارات الخاضعة لتصنيف الهيئة العامة للطيران المدني.
- أي منطقة أخرى تعدها الجهات المختصة غير صالحة لإنشاء مرفق لمعالجة النفايات والتخلص منها.

وفقاً لنظام إدارة النفايات، يجب تصميم جميع مرافق معالجة النفايات، بما في ذلك المعالجة البيولوجية للنفايات، كما يجب بناؤها وتشغيلها بناءً على التصريح/ الترخيص الصادر من المركز. يُصنف بناء مرفق المعالجة البيولوجية للنفايات وتشغيله على أنه من الفئة ٣ بموجب النظام البيئي الجديد، وبالتالي يُعَد تقييم الأثر البيئي والاجتماعي إلزاميًّا (وفقاً لمتطلبات واشتراطات المركز الوطني للرقابة على الألتزام البيئي).

## ٢-٥ تحديد الموقع - اعتبارات عامة

يجب إنشاء مرافق المعالجة البيولوجية للنفايات وتنظيمها، بما يتوافق مع الاستخدامات المُخطط لها للأرض الموجودة داخلها، ويُعرف هذا الشكل من التنظيم والتخطيط المكاني باسم: "تقسيم المناطق".[4]

يساعد تقسيم المناطق في تركيز البنية التحتية للمرافق واستخدامها بالموقع، على سبيل المثال: فيما يتعلق بجمع النفايات، ومعالجتها، وشبكات النقل الداخلية وغيرها من وسائل الراحة. كما أنه يسهل حركة مرور المركبات والمشاة، من خلال تمكين أنماط حركة واضحة.

يتم إعداد خرائط تقسيم محطات المعالجة البيولوجية للنفايات بناءً على سمات الموقع الرئيسة، مثل شكل حدود ومحيط الموقع، وخصائص الموقع، وتوافر المساحة، والاعتبارات البيئية، والظروف المناخية الدقيقة، ومراعاة التوافق مع المناطق المحيطة، وإمكانية الوصول، وما يتعلق بسلاسة النقل والرؤية وغيرها.

يُعَد استخدام الأراضي الحالية والمجاورة أيضا من الاعتبارات الحاسمة في اتخاذ قرارٍ بشأن استخدامات الأراضي الحالية، وتقسيم المناطق القريبة والمستقبلية في الموقع.

علاوةً على ذلك، يمكن تصميم المناطق داخل محطة المعالجة البيولوجية للنفايات، بطريقة تشجع التكافل الصناعي لاستخدام المواد والمياه الصناعية ومنتجات الطاقة الثانوية.

كما يمكن تحقيق تحسين كفاءة الطاقة من خلال تشجيع "توليد الطاقة" وتسهيلها، والمشاركة المجتمعية. ويمكن أيضاً نقل الطاقة الفائضة، مثل "الحرارة، والبخار، والماء الساخن، وما إلى ذلك"، من المحطة إلى شركات أخرى، سواء داخل المجتمعات المحيطة بمرفق المعالجة البيولوجية للنفايات، أو في المجتمعات المجاورة.

---

[4] (United Nations Industrial Development Organization, INTERNATIONAL GUIDELINES FOR INDUSTRIAL PARKS, 2019)

كما يُعَد الفصل بين الأنشطة الملوثة وغير الملوثة ممارسة أخرى من ممارسات التقسيم السليم للمناطق.

ويجب أن تُدرج خطة المعالجة البيولوجية للنفايات ضمن المخططات المعتمدة للمناطق صناعية، وأن يتناسب حجمها مع حجم العمل وكمية الإنتاج، وفقًا للمناطق المعتمدة في الخطط الصناعية.

### ٥-٢-١ تصريف المياه السطحية

يجب جمع مياه الأمطار السطحية الناتجة عن جريانها عبر كتلة النفايات، وتصريف هذه المياه الملوثة ومعالجتها بشكل منفصل. يُنقل الماء الملوث إلى وحدة معالجة مخصصة، بينما يُصرف ماء المطر غير الملوث في المسارات المائية الطبيعية.

يراعى تصميم نظام التصريف قبل مرحلة التطوير، ويجب فحص شبكة التصريف بشكل دوري طوال العمر التشغيلي للمرفق لضمان سلامتها وكفاءتها.

### ٥-٢-٢ الخدمات والمرافق

لضمان صحة وسلامة المُوظفين، وتوفير بيئة عمل مُلائمة، وتسهيل التحكم في عمليات الموقع، يجب توفير المعدات المناسبة في جميع محطات المعالجة البيولوجية للنفايات، بالإضافة إلى الخدمات والمرافق التالية[٤]:

- الإمداد المائي:
  - كمية كافية من المياه الصالحة للشرب وغير الصالحة للشرب، مع شبكات توزيع منفصلة.
  - محطة ضخ للمياه.

- الإمداد بالطاقة:
  محطات توزيع فرعية في مواقع استراتيجية، مع شبكة من الكابلات؛ سواء تحت سطحية، أو خطوط علوية.

- إضاءة الشوارع:
  - إضاءة شوارع تقليدية، أو تعمل بالطاقة الشمسية.
  - إضاءة ذكية موفِّرة للطاقة.

- الصرف الصحي:
  - شبكة تجميع وتخزين الصرف الصحي والنفايات السائلة.
  - أنظمة إزالة الملوثات من الصرف الصحي ومياه الأمطار الجارية، من خلال المعالجة الأولية للنفايات السائلة.
  - شبكة توزيع المياه المعالجة والمعاد تدويرها.

- الاتصال بتكنولوجيا المعلومات، والاتصالات السلكية واللاسلكية، والخدمات التي تدعم تكنولوجيا المعلومات والاتصالات:
  - خدمات واي فاي وإنترنت عالية السرعة.
  - نظام بنية تحتية قوي للبيانات.
  - نظام اتصالات داخل محطة المعالجة البيولوجية للنفايات.

- السلامة والأمن:
  - مركز رعاية صحية ومنشآت طبية.

- مركز/ مراكز الاستجابة للطوارئ (بما في ذلك: الحوادث، والإسعافات الأولية، والحرائق، والمخاطر الكيميائية، والحوادث الأمنية، والكوارث الطبيعية، والأزمات، وما إلى ذلك).
- البنية التحتية للسلامة العامة، بما في ذلك: أنظمة المراقبة، والكاميرات.

### ٥-٢-٣ السياج والحماية

للحد من التعدي على الموقع والتحكم في الوصول إليه، يجب إنشاء سياج آمن حول محيط محطة المعالجة الحيوية للنفايات. يعمل السياج كحاجز فيزيائي للمرفق، ويُحدد حدود الملكية، ويُساعد على التحكم ومنع تبعثر النفايات. يجب ألا يقل ارتفاع السياج عن مترين، ويغطي محيط الموقع بالكامل. كما يجب وضع لافتات واضحة عند مداخل الموقع لردع المتسللين.

### ٥-٢-٤ منطقة النفايات المرفوضة

يجب تخصيص مساحة مُنفصلة داخل الموقع للفصل المؤقت لشحنات النفايات المرفوضة أو غير المقبولة، أو المحترقة. يجب أن تقع هذه المنطقة بعيداً عن المناطق الرئيسة التي يتردد عليها الأفراد، وأن تكون مجهّزة بمعدات مكافحة الحريق في حالة نشوب حريق بأحمال النفايات. يجب تمييز هذه المنطقة بوضوح بلافتات تشير إلى الغرض منها، لضمان عدم خلط مكونات النفايات بشكل غير مقصود.

## ٦- متطلبات التصميم وأفضل التقنيات المطبقة

وفقاً للمادة رقم (١٠٠) من الفصل الرابع للائحة التنفيذية لنظام إدارة النفايات، يجب أخذ موافقة المركز عند تصميم مرافق المعالجة البيولوجية، على أن يحقق تصميم المرفق كحد أدنى ما يلي:

- تقليل الآثار البيئية المحتملة إلى أدنى حد ممكن.
- تقليل الأخطار المحتملة التي تهدد صحة وسلامة العمال والعامة.
- التشجيع على استرداد الموارد من النفايات.
- الاستخدام الأمثل لموارد الموقع.

تُوفر المادة رقم (١٠١) من الفصل الرابع للائحة التنفيذية لنظام إدارة النفايات، الحد الأدنى من المعلومات التي يجب توفيرها في مرحلة تصميم مرافق المعالجة البيولوجية للنفايات. علاوةً على ذلك، وفقاً للمادة رقم (١٠٣) من الفصل الرابع للائحة التنفيذية لنظام إدارة النفايات، يجب أن يتضمن تصميم مرفق المعالجة البيولوجية تحديد جميع الضوابط البيئية ذات الصلة، ووضع خطط الطوارئ والاستجابة ذات الصلة.

في الأقسام التالية، يُقدَّم الحد الأدنى لمتطلبات التصميم، لكلٍّ من الهضم اللاهوائي والهضم الهوائي، بما في ذلك، الانسكابات والتسريبات المحتملة، وأفضل التقنيات المتاحة لمنع إنتاجها أو تقليلها.

### ٦-١ الهضم اللاهوائي

#### ٦-١-١ وصف العملية

في الهضم اللاهوائي تُحلّل المواد العضوية في المدخلات بواسطة الكائنات الحية الدقيقة في غياب الأكسجين، بينما تُحوَّل المواد العضوية إلى مخلفات الهضم اللاهوائي والغاز الحيوي الذي يتكون بشكل أساسي من الميثان (بنسبة ٥٠ - ٧٠٪)، وثاني أكسيد الكربون (بنسبة ٣٠ - ٥٠٪)، وكميات صغيرة من الغازات الأخرى مثل: كبريتيد الهيدروجين (٥٠ - ٤٠٠٠ جزء في المليون).

ينطوي الهضم اللاهوائي في محطة الهضم اللاهوائي بشكل عام على أربع خطوات رئيسة:

١) الاستلام.
٢) التحضير.
٣) الهضم.
٤) المرحلة النهائية

**الاستلام**

عند توصيل النفايات العضوية إلى منطقة الاستلام لمعالجتها، تُسجَّل خصائصها: (نوع النفايات العضوية، مفصولة في المصدر أم مختلطة، وما إلى ذلك)، من خلال المعاينة البصرية، بالإضافة إلى وزن شحنة النفايات.

**التحضير**

تُحضَّر النفايات لمعالجتها، من خلال فصل النفايات والمعالجة المسبقة، ويُعَد هذا أساساً لتحسين عملية الهضم. وتعتمد طبيعة المعالجة المسبقة على نوعية المدخلات، وتهدف المعالجة المسبقة بشكل عام لتحقيق تجانُس المدخلات (من حيث الحجم والملائمة)، وإزالة الملوثات منها، وقد تشمل هذه الملوثات مواد مثل العبوات، أو المواد الكيميائية السامة للعمليات

البيولوجية بالمرفق، كما تُستخرَج المواد مثل البلاستيك (بما في ذلك الأكياس البلاستيكية القابلة للتحلل البيولوجي)، والمعادن، والمكونات كبيرة الحجم يدويًّا من النفايات.

ليتم بعد ذلك إجراء تقليل الحجم، للحصول على مواد أكثر تجانساً، مما يسهل عملية الهضم اللاهوائي، عبر آلات القطع اللولبي أو الطحن، أو الطرق، أو التقطيع، كجزء من عملية المعالجة المسبقة.

يمكن إجراء التحلل الهوائي الأولي على مدى يومين إلى أربعة أيام، بهدف تحسين تكسير المواد، وتسخين الطبقة التحتية. كما يمكن إجراء ذلك في صناديق التخمير، أو في وحدات هضم أولية منفصلة (مثل: أنفاق التسميد، مع أنفاق التهوية القسرية).

يقلل تسخين الطبقة التحتية من استهلاك الطاقة اللازمة لتسخين الهاضم، مما يقلل هذا من كمية المواد العضوية للمعالجة اللاهوائية، ولكنه يزيد من إنتاج الغاز الحيوي. علاوةً على ذلك، نظراً لأن الهضم اللاهوائي قدرتُه محدودة في تحلل السليلوز والهيميسليلوز واللجنين؛ فإن طرق المعالجة المسبقة (سواء كانت فيزيائية أو كيميائية أو بيولوجية) تُعَد طرقاً مفضلة.

تشمل المدخلات النموذجية لمحطة الهضم اللاهوائي ما يلي:

- نفايات الطعام.
- النفايات/ الروث الحيواني.
- نفايات النباتات والمحاصيل.
- الحمأة الناتجة من معالجة الصرف الصحي.

على النحو الوارد أعلاه، فإن فصل النفايات له تأثير جوهري على جودة المدخلات، ويوجد بديلان رئيسيان لفصل النفايات، هما:

- الفصل في المصدر: يشمل فصل مجموعة النفايات العضوية القابلة للتحلل. يُعد توفير مُدخلات عالية الجودة أمرًا ضروريًا لكل من عمليات المعالجة الحيوية الهوائية واللاهوائية؛ حيث يُساهم ذلك في زيادة المحتوى العضوي، وتقليل التلوث بالمعادن الثقيلة والزجاج والبلاستيك. يؤدي ذلك إلى إنتاج سماد عضوي عالي الجودة (في المعالجة الهوائية)، أو مخلفات الهضم اللاهوائي، وكمية كبيرة من الغاز الحيوي (في المعالجة اللاهوائية) كنتيجة نهائية للمعالجة.
- الفصل المركزي: يشمل المعالجة الميكانيكية، والمعالجة البصرية، والفصل والانتقاء اليدوي. تكون المُدخلات الناتجة عن الفصل المركزي أكثر عرضة للاحتواء على شوائب من النفايات العضوية المفصولة في المصدر، مما قد يُؤثر على جودة مُخرجات عملية المعالجة. بالإضافة إلى ذلك، يوجد خطر مرور مكونات كبيرة الحجم غير مفصولة من النفايات، مما قد يسبّب أضرارًا مادية لمحطات المعالجة في العمليات النهائية، عن طريق التآكل أو الانسداد أو التشابك.

**الهضم**

بعد المعالجة المسبقة، تُدخل المادة إلى حاوية مُحكمة الإغلاق (الهاضم)، ليتم هضمها لاهوائيًا. تُسحب المادة في الهاضم باستمرار إلى نظام فصل، حيث تُفصل المواد الصلبة (مخلفات الهضم اللاهوائي) عن السائلة، مع تدوير المادة السائلة للحفاظ على الكائنات الحية الدقيقة في نظام الهضم، بينما يتم التَخَلص من السوائل الزائدة باعتبارها مياه صرف.

توجد عدة أنواع رئيسة للهاضم، وهي كالتالي:

- الهاضم الرأسي مع أداة تقليب (يُستخدم عادةً في مرافق الهضم الرطب).
- الهاضم الأفقي مع أداة تقليب بطيئة النقل، باستخدام تقنية التدفق الأنبوبي (يُستخدم في مرافق الهضم الجاف).

- الهاضم الرأسي بدون خلط، باستخدام تقنية التدفق الأنبوبي (يُستخدم في مرافق الهضم الجاف).
- الهاضم الصندوقي أو التقطيري (يُستخدم في مرافق الهضم الجاف على مراحل).

علاوةً على ذلك، يمكن أن تكون أنظمة الخلط المستخدمة في الهاضم بجميع أنواعه كما يلي:

- ميكانيكية، بواسطة أدوات التقليب.
- هيدروليكية، بواسطة مضخات تعيد تدوير الطبقة التحتية.
- هوائية، عن طريق تدوير الغاز الحيوي في الهاضم.

يحدث الهضم اللاهوائي على أربع مراحل متتالية، على النحو الموضح في الشكل ٦-١، وفيما يلي تفاصيل هذه المراحل:

- التحلل المائي: تفرز البكتيريا المتحللة بالماء إنزيمات خارج الخلية، تحول الكربوهيدرات والدهون والبروتينات إلى سكريات وأحماض دهنية طويلة السلسلة وأحماض أمينية على التوالي. يتم إضعاف الروابط الكيميائية لهذه الجزيئات، ومِن ثَم تكسيرها عن طريق إضافة الماء، وحينئذٍ تصبح المنتجات قادرة على الانتشار، من خلال أغشية خلايا الكائنات الحية الدقيقة الحمضية أثناء التحلل المائي، ويتكون بعض الهيدروجين الذي يمكن استخدامه لتكوين غاز الميثان.
- كما هو موضح أعلاه، قد يتعذر الوصول إلى بعض المواد (مثل: اللجنين، والسليلوز، والهيميسليلوز) من جانب الكائنات الحية الدقيقة، بسبب تراكيبها المعقدة التي تجعل من الصعب تحللها، بينما تؤدي إضافة الإنزيمات إلى تحسين عملية التحلل المائي لهذه الكربوهيدرات.
- تكوين الأحماض: تحظى الكائنات الحية الدقيقة الحمضية بالقدرة على إنتاج أحماض دهنية متطايرة وسيطة، عن طريق امتصاص منتجات التحلل المائي المذكورة أعلاه، مثل: الأسيتات، والبروبينات، والبيوتيرايت، بالإضافة إلى منتجات أخرى مثل: ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين، كما يمكن أن تنتج كمية صغيرة من الإيثانول وحمض اللاكتيك.
- تكوين الأسيتات: تُعَد هذه العملية التي تُحوَّل من خلالها الأحماض الدهنية المتطايرة والمنتجات الأخرى الناتجة عن تكوين الأحماض، إلى أسيتات، مع إنتاج الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون أيضاً، وتُعَد هذه هي أسرع خطوة في عملية الهضم اللاهوائي.
- تكوين الميثان: تُعَد المرحلة الأخيرة من الهضم اللاهوائي؛ حيث تستهلك الكائنات الحية الدقيقة المولدة للميثان المنتجات الناتجة عن تكوين الأسيتات؛ لإنتاج الميثان وبعض ثاني أكسيد الكربون.

الشكل ٦-٠: عملية الهضم اللاهوائي.

تتطلب عملية الهضم اللاهوائي المستقرة الحفاظ على التوازن بين الكثير من المجموعات الميكروبية؛ إذ تحتوي مرحلتا التحلل المائي وتكوين الأحماض على أقوى الكائنات الحية الدقيقة، لكونها تنمو في الظروف البيئية الأوسع نطاقاً، لكن ليس هذا بالنسبة لتكوين الأسيتات وتكوين الميثان.

يمكن إجراء عملية الهضم اللاهوائي في نطاقَي درجتَي حرارة رئيستين، وهما: المعتدل (٢٥ - ٤٠ درجة مئوية)، والحراري (٥٠ - ٦٥ درجة مئوية)؛ إذ يعمل الأول في درجات حرارة منخفضة، وبالتالي يكون الهضم أبطأ، ويُنتج غازاً حيويًّا بكمية أقل، ومع ذلك يُعَد هذا النوع أكثر فعالية من حيث التكلفة مقارنةً بالأنواع الحرارية التي تعمل في درجات حرارة أعلى، وتحظى بإنتاج قدر أكبر من الغاز الحيوي؛ حيث يصعب التحكم في العملية الحرارية، وتتطلب مزيداً من الطاقة لتسخين الطبقة التحتية، وتعويض خسائر الحرارة المرتفعة من الخزانات.

دائماً ما تحدد خصائص المدخلات إلى جانب مزود التقنية النوع الأنسب لعملية الهضم.

## المرحلة النهائية

تُعَد الخطوة الأخيرة في مرفق الهضم اللاهوائي هي المرحلة النهائية، ويشمل هذا: التعقيم، والإنضاج، ومعالجة الغاز الحيوي، وفي حال أُجْرِيَ الهضم الحراري، فيمكن الاعتبار أن عملية التطهير مكتملة، وإلا قد تكون هناك حاجة إلى مرحلة تطهير منفصلة.

قد تكون هناك حاجة إلى الإنضاج (أو ما بعد التسميد)؛ لأنه يقلل من محتوى الماء، ويمنع تكوُّن الميثان في المنتجات الصلبة المتبقية من الهضم اللاهوائي، ويمكن إجراؤه في صناديق أو أنفاق ذات أنظمة التهوية القسرية التي تستمر عموماً ما بين أسبوعين إلى ستة أسابيع حسب درجة الإنضاج المطلوبة. أخيراً، يُعالَج الغاز الحيوي لإزالة الرطوبة، وتنظيف الغاز الحيوي، والتأكد من إزالة كبريتيد الهيدروجين. ثم يُحفظ الغاز الحيوي في بالون الغاز الذي يُعَد بمثابة حاوية عزل وخلط؛ للسماح بتدفق الغاز الحيوي باستمرار، وتحقيق الجودة للاستخدام النهائي للغاز.

يُعَد الاستخدام الأكثر شيوعاً للغاز الحيوي: هو الإنتاج المشترك للطاقة الكهربائية والحرارة؛ لإنتاج الحرارة والطاقة، على الرغم من إمكانية ترقية الغاز الحيوي؛ إذ يتطلب ذلك إزالة ثاني أكسيد الكربون والغازات الملوثة الأخرى لإنتاج الميثان الحيوي، وقد يتطلب أيضاً إضافة البروبان إلى الميثان الحيوي لتحقيق قيمة السعرات الحرارية المطلوبة للغاز.

يمكن تلخيص مخرجات العملية على النحو التالي:

- الغاز الحيوي: يمكن حرقه للحصول على المخرجات التالية:
  - الكهرباء - يمكن استخدام جزء لتشغيل المعدات في مرفق المعالجة.
  - الحرارة - يمكن استخدام جزء لتوفير الحرارة في مرفق المعالجة.
  - الانبعاثات الهوائية الناتجة عن احتراق الغاز الحيوي في المحرك الغازي.
- نفايات الهضم اللاهوائي - وهي المادة العضوية في نفايات الهضم:
  - ألياف نفايات الهضم اللاهوائي - يمكن استخدامها كمُحَسن للتربة بناءً على المدخلات واللوائح المحلية للتصريف في التربة.
  - سائل نفايات الهضم اللاهوائي - يمكن استخدامه كسماد مركب بدلاً من الأسمدة المعدنية، بناءً على المدخلات واللوائح المحلية للتصريف في التربة.
- النفايات المرفوضة - التي تُفصَل في مرحلة المعالجة المسبقة - يمكن نقلها لردمها، أو ربما تُستخدم كوقود لمرافق تحويل النفايات إلى طاقة إذا كانت متوفرة، وبناءً على تكوينها.

يمكن إجراء المزيد من التنقية لمخرجات العملية من غاز حيوي ونفايات الهضم اللاهوائي، باستخدام تقنية متخصصة.

### ٦-١-٢ الهضم اللاهوائي الرطب

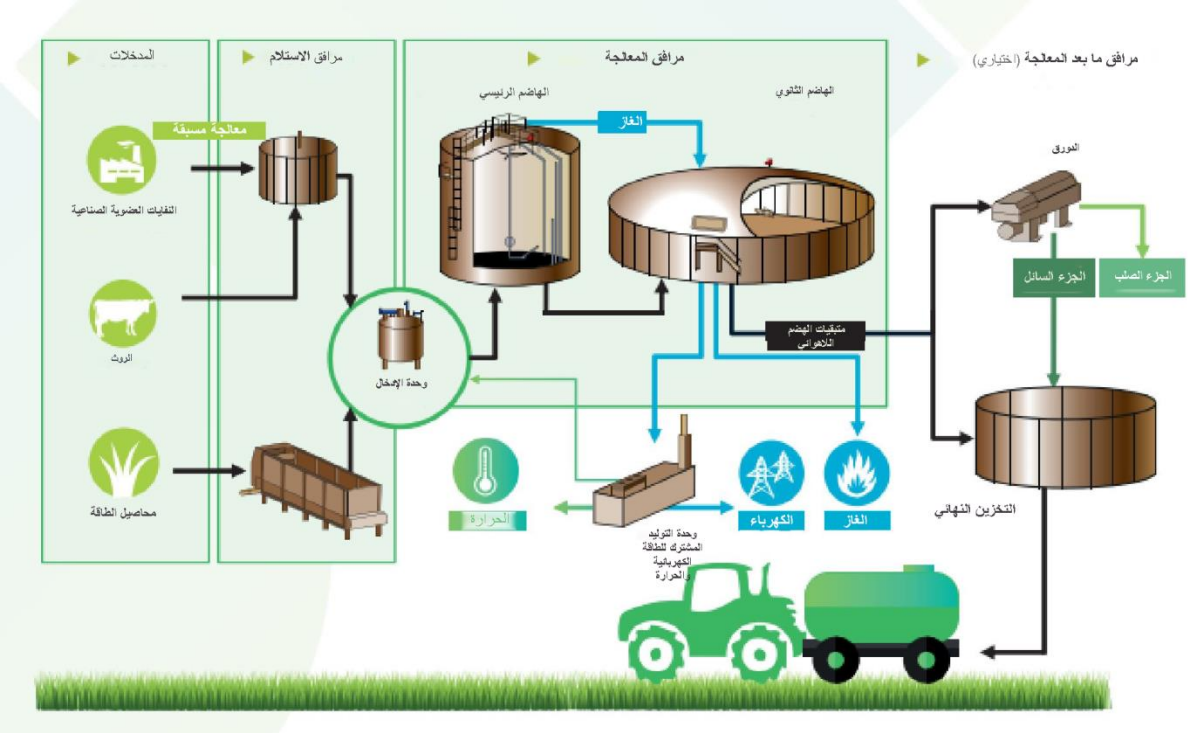
تتم عملية الهضم اللاهوائي الرطب بطريقة يمكن التحكم فيها باستخدام سلسلة من الخزانات مُحكمة الغلق؛ لتحليل المواد العضوية، وإنتاج الغاز الحيوي، وتُستخدم الخزانات لمجموعة من الأغراض الأخرى: كتخزين المدخلات، ومخلفات الهضم اللاهوائي، وتحضيرها. ولكن يشير مصطلح الهضم اللاهوائي تحديداً إلى الخزان، أو الحاوية التي تحدث فيها العملية البيولوجية. ويختلف التصميم والتخطيط بناءً على كمية المواد وتكوينها، ومع ذلك سيتبعان عموماً نفس المبادئ.

يُصمم الهضم اللاهوائي الرطب لمعالجة المدخلات ذات المحتوى المنخفض من المواد الصلبة، الذي يتراوح حجمها بشكل عام من ٥ إلى ١٠٪ من المدخلات، وتخضع المدخلات أولاً للمعالجة المسبقة لإزالة أي تلوث، وتعتمد مستويات المعالجة المسبقة على تكوين المدخلات وشكلها. ومِن ثَم تُخلط المدخلات مع مياه العملية، أو مع النفايات السائلة (النفايات العضوية السائلة، أو سوائل مخلفات الهضم اللاهوائي المعاد تدويره)؛ لتوفير مدخلات مخففة لإدخالها في الهاضم.

ثم تُنقل المادة إلى الهاضم؛ حيث يحدث الهضم اللاهوائي، كما يمكن إجراء الهضم اللاهوائي في عملية واحدة (مرحلة واحدة)، أو عمليات من مرحلتين أو أكثر (مراحل متعددة). وتُعَد العملية على مرحلة واحدة هي التقنية الأكثر استخداماً؛ حيث تحدث جميع خطوات التحلل في حاوية واحدة، بينما في العمليات التي تتم على مرحلتين أو أكثر، عادةً ما تشتمل العملية على حاويات هضم رئيسة وثانوية، وتُقسم المرحلتان الأوليان من عملية الهضم اللاهوائي ذات المراحل الأربع في الغرفة الأولى (مرحلة الأحماض)، والمرحلتان الأخيرتان في الغرفة الثانية (مرحلة الميثان).

تُزال نفايات الهضم اللاهوائي من الخزان؛ لإفساح المجال لمدخلات جديدة، وتُخزن في خزان ثانٍ جاهز لتوزيعها أو التخلص منها. يمكن إجراء ذلك في شكل "كامل" (كما تم استلامه)، أو قد يمر من خلال معدات تجفيف لإنتاج ألياف نفايات الهضم اللاهوائي الصلبة، ووسائل نفايات الهضم.

الشكل ٦-٢ يقدم مخططاً نموذجيًّا لعملية الهضم اللاهوائي الرطب.




الشكل ٦-٠: المخطط النموذجي لعملية الهضم اللاهوائي الرطب (Cre، ٢٠١٨)[5]

### ٦-١-٣ الهضم اللاهوائي الجاف

يُصمم الهضم اللاهوائي الجاف لمعالجة المدخلات ذات المحتوى المرتفع من المواد الصلبة، الذي يتراوح من ١٥ إلى ٤٠٪. ولا يتطلب الهضم اللاهوائي الجاف معالجة مسبقة شاملة، أو خلطاً بالماء لإنتاج مدخلات طينية قابلة للضخ. فعادةً ما يتم تقطيع النفايات الواردة، وإذا كانت نفايات عالية الكثافة، مثل نفايات الطعام، فتُخلط بالرقاقات الخشبية أو النفايات الخضراء؛ لإكساب المادة بعض القوام. ثم تُنقل إلى نفق خرساني (أو حاويات مشابهة)، وتُغلق بباب مُحكم الغلق.

عندما تبدأ النفايات في التحلل، تخرج الرطوبة منها على شكل عصارة، يتم جمعها في مصفاة موجودة بالأرضية، ثم يُعاد ضخها مرة أخرى فوق المادة باستخدام مضخات مُخصصة.

بعد ذلك يتم تطهير النفق بغاز خامل؛ لمنع حدوث أي احتراق عند بدء عملية الهضم اللاهوائي وإنتاج الغاز الحيوي. ثم يُجمع الغاز الحيوي ويُخزن في كيس للغاز.

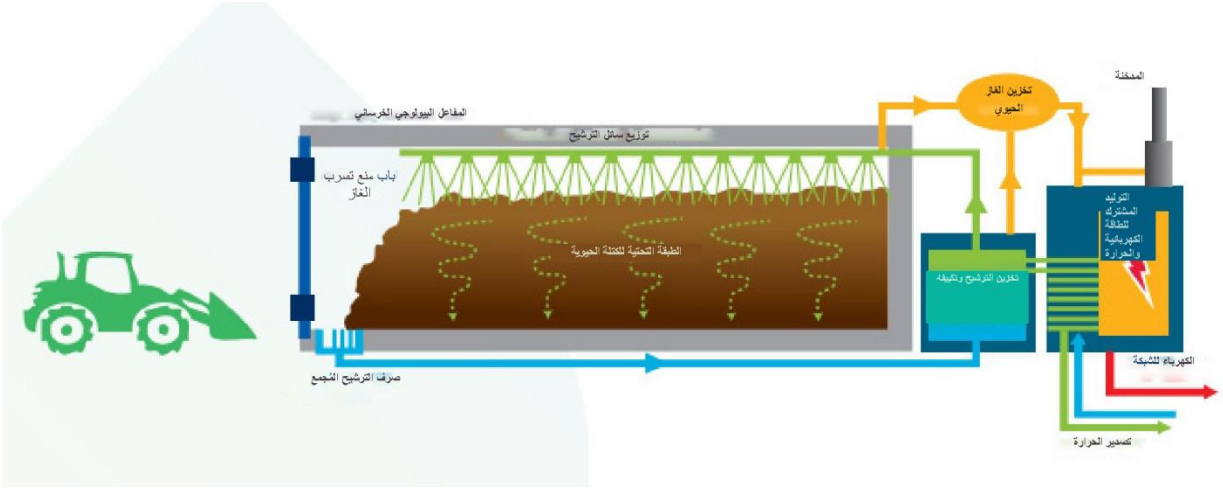
وبمجرد أن يبدأ إنتاج الغاز الحيوي في الانخفاض (عادةً بعد حوالي ١٠ - ٢٠ يوماً)، يُطهّر النفق بكمية كبيرة من الهواء لإيقاف عملية الهضم اللاهوائي؛ حيث يُفتح النفق للتفريغ، كما تخضع المادة المتبقية من الهضم اللاهوائي غالباً لفترة أخرى من التسميد الهوائي لاستقراره، قبل توزيعها على الأرض أو التخلص منها.

يمكن إجراء الهضم الجاف على دفعات أو بشكل مستمر. ويتضمن الهضم على دفعات الموصوف أعلاه، وتُضاف المُدخلات إلى الهضم مرة واحدة في بداية العملية، ثم تُغلق الوحدة بإحكام لمدة العملية دون إضافة أي مواد أخرى.

بينما تنطوي أنظمة الهضم المستمر، أو الهضم بالتدفق الأنبوبي، على إضافة المدخلات باستمرار ضمن المادة الجافة المذكورة أعلاه، مع إزاحة المنتجات عند إضافة مادة جديدة، كما هو الحال في الهضم الجاف على دفعات، ثم يُزاح الترشيح

[5] المصدر: "دليل إرشادات للهضم اللاهوائي في أيرلندا"، رابطة تحويل النفايات إلى سماد عضوي والهضم اللاهوائي في أيرلندا، ٢٠١٨.

أو التدفق للخارج، كما يُعاد تدوير السائل الناتج لإخصاب المواد الجديدة بالكائنات الحية الدقيقة، وتحسين تقليب المواد؛ لتوفير الظروف المناسبة لنمو الميكروبات ونقل العناصر الغذائية.




الشكل ٦-٠: التكوين النموذجي لعملية الهضم اللاهوائي الجاف على دفعات (Cre، ٢٠١٨)[٥]

## ٦-١-٤ تقنيات معالجة مخرجات الهضم اللاهوائي

### ٦-١-٤-١ المعالجة المتقدمة لنفايات الهضم اللاهوائي

تُحَسن المدخلات النظيفة القابلة للتحلل البيولوجي من جودة نفايات الهضم اللاهوائي. يمكن استخدام نفايات الهضم اللاهوائي الصلبة إذا كانت تتوافق مع التشريعات ومواصفات المنتجات - في حال توافرها - أو كسماد عضوي، أو مُحَسن للتربة في عمليات الزراعة، سواء في صورة سائلة (تحتوي على مادة جافة من ٥ - ١٥٪) مثل الروث، أو في صورة شبه صلبة (من ١٠ - ٣٠٪) مثل النباتات المتحللة.

كما يمكن ترقيتها عن طريق التسميد أو التجفيف أو التكوير، في تنسيق المناظر الطبيعية والبستنة، بالإضافة إلى الحدائق الخاصة، ومع ذلك إذا كانت مخلفات الهضم اللاهوائي ملوثة بمعادن ثقيلة - وهو ما قد يحدث مع بعض المدخلات كحمأة الصرف الصحي- فقد تتطلب مخلفات الهضم اللاهوائي معالجة إضافية، وتكون استخداماتها في هذه الحالة محدودة.

يمكن إجراء معالجة إضافية لمخلفات الهضم اللاهوائي الناتجة، من خلال الانحلال الحراري الذي يتضمن تسخين نفايات الهضم اللاهوائي في غياب الأكسجين؛ إذ يوصَى بتجفيف مخلفات الهضم اللاهوائي قبل تسخينها، ويمكن إجراء هذه العملية، إما باستخدام الحرارة الناتجة من المحركات الغازية المستخدمة لحرق الغاز الحيوي في محطة الهضم اللاهوائي، أو باستخدام الحرارة الناتجة عن عملية الانحلال الحراري ذاتها.

يولّد الانحلال الحراري لنفايات الهضم اللاهوائي غازاً منتجا وفحماً حيويًّا. يمكن حرق الغاز المنتج لتوفير الحرارة اللازمة لتسخين نظام الانحلال الحراري ذاته، أو لإنتاج البخار المُستخدم لتجفيف نفايات الهضم اللاهوائي. بعد ذلك يتم تنظيف غاز العادم الناتج عن احتراق الغاز التخليقي لإزالة الملوثات، ايُطلق إلى للغلاف الجوي. أما الفحم الحيوي، فيمكن استخدامه كمقويات للتربة.

توجد أيضاً تقنية لمعالجة الفحم الحيوي لاستخراج الفوسفور المُركّز فيه. تُطبق هذه التقنية على الفحم الناتج من حمأة الصرف الصحي، وتعتمد جدوى عملية إزالة الفوسفور، على مستوياته في المدخلات، ومزايا ومخاطر تصريف الفحم الذي يحتوي على فوسفور في التربة.

### ٦-١-٤-٢ معالجة الغاز الحيوي وترقية الميثان الحيوي

يتكون الغاز الحيوي بشكل أساسي من: الميثان (بنسبة ٥٠ - ٧٠٪)، وثاني أكسيد الكربون (بنسبة ٣٠ - ٥٠٪)، وكميات صغيرة من الغازات الأخرى مثل كبريتيد الهيدروجين (٥٠ - ٤٠٠٠ جزء في المليون)، ويمكن استخدام الغاز الحيوي كأي غاز قابل للاحتراق، وحرقه للإمداد بالحرارة وإنتاج الكهرباء.

والاستخدام الأكثر شيوعاً للغاز الحيوي هو الإنتاج المشترك للطاقة الكهربائية والحرارة؛ إذ تستخدم الحرارة بشكل أكثر فعالية في الموقع أو على المستوى المحلي، ويمكن استخدام الطاقة في الموقع، أو تُنقل إلى شبكة الكهرباء الرئيسة. كما يمكن استخدام الحرارة الناتجة جزئيًا لتوفير الحرارة للهاضم، وأيضاً يمكن استخدامها لتدفئة المباني أو المياه للعمليات المشتركة بالموقع.

*الجدول* يلخص تقنيات إزالة مكونات الغاز الحيوي، علماً بأن إزالة مكونات الغاز الحيوي تعتمد على الاستخدام النهائي للغاز الحيوي. يمكن ترقية الغاز الحيوي إلى ميثان حيوي عن طريق إزالة ثاني أكسيد الكربون من الغاز الحيوي، وقد يتطلب أيضاً إضافة البروبان إلى الميثان الحيوي لتحقيق قيمة الوحدات الحرارية المطلوبة للغاز، كما يمكن حَقْن الميثان الحيوي في شبكة توزيع الغاز الطبيعي، أو استخدامه كوقود لوسائل النقل بطريقة مماثلة للغاز الطبيعي المضغوط أو الغاز الطبيعي المسال.

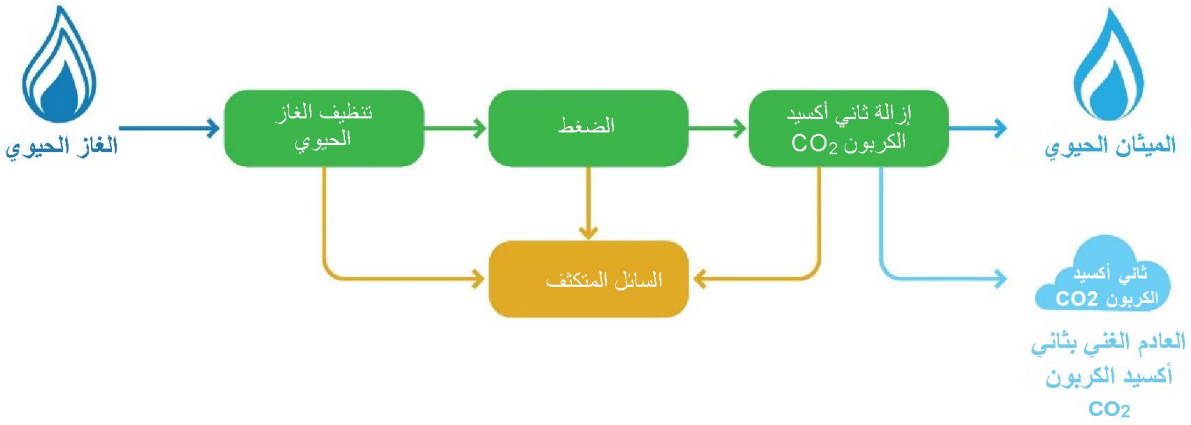
الجدول ٦-١: تقنيات الإزالة لمكونات الغاز الحيوي[٣]

| مُكون الغاز الحيوي | تقنيات الإزالة |
|---|---|
| الماء | ■ التبريد/ التكثيف.<br>■ امتزاز الماء على سطح عامل تجفيف.<br>■ امتصاص الماء في جليكول أو أملاح رطبة. |
| كبريتيد الهيدروجين ($H_2S$) | ■ الترسيب بإضافة أيونات الحديد الحديد (كلوريد الحديد الثنائي، وكلوريد الحديد الثلاثي، وكبريتات الحديد الثنائي) في الهاضم، حيث يمكن إزالة كبريتيد الحديد المترسب مع نفايات الهضم اللاهوائي.<br>■ الترسيب داخل الهاضم عن طريق إضافة الأكسجين بطريقة يمكن التحكم فيها.<br>■ الامتزاز الكيميائي عن طريق امتزاز هيدروكسيد الصوديوم أو أكسيد الحديد، أو تنشيطه.<br>■ امتزاز الكربون.<br>■ غسل الغاز الحيوي.<br>■ الإزالة البيولوجية أو الكيميائية الخارجية (خارج الهاضم) للكبريت. |
| ثاني أكسيد الكربون ($CO_2$) | ■ الامتزاز بالضغط المتأرجح (الامتزاز بالكربون أو الزيوليت المنشط تحت ضغط مرتفع).<br>■ غسل المياه.<br>■ غسل المذيبات العضوية (البولي إيثيلين جلايكول).<br>■ الغسل الكيميائي (المحاليل الأمينية).<br>■ فصل الأغشية.<br>■ التكثيف المبرد. |

تجدر الإشارة إلى أنه غالباً ما يتم إجراء المعالجة المسبقة للغاز الحيوي مسبقاً، وفيما يلي التقنيات الرئيسة المستخدَمة:

- ترشيح الكربون المنشط.
- ترسيب الكبريتيد.
- غسل المياه.

الشكل 6-١ أدناه يلخص عملية ترقية الميثان الحيوي.




الشكل 6-١: عملية ترقية الميثان الحيوي.

تتضمن مخرجات عملية ترقية الميثان الحيوي ما يلي:

- الميثان الحيوي.
- غاز العادم المتدفق الغني بثاني أكسيد الكربون، الذي يمكن إجراء معالجة إضافية له لإنتاج ثاني أكسيد الكربون المسال.
- السائل المتكثف/ مياه الصرف.

توجد إمكانية لإجراء المزيد من المعالجة لتدفقات غاز العادم، لتجميع الكربون وتسييله، وهذا مُوضح بالتفصيل في القسم ٦

### ٦-١-٤-٣ استخدام ثاني أكسيد الكربون

من خلال تركيب وحدة ترقية الميثان الحيوي، ينفصل ثاني أكسيد الكربون بشكل طبيعي في تدفقات العادم، وتتضمن عملية تجميع ثاني أكسيد الكربون نقله في الأنابيب من محطة الترقية لمعالجته، وتخزينه، بدلاً من تنفيسه في الغلاف الجوي من خلال مدخنة.

وتركز التقنيات على تبريد ثاني أكسيد الكربون، وتصريف المياه منه، وتنقيته، وضغطه، وتسييله، وتعبئته. ويمكن أن تتضمن مرحلة التنقية: تقنية التبريد، وتقنيات الغسل، والترشيح.

وعادة ما يكون فصل ثاني أكسيد الكربون والملوثات الأخرى، فعالاً بدرجة كبيرة. إلا أن ثاني أكسيد الكربون المفصول سيحتوي عادةً على بعض الميثان الذي يسمى "الميثان المتسرب"، وقد تصل كمية الميثان المتسرب إلى حوالي ١٪ من الميثان الموجود في الغاز الحيوي، وتستخدم بعض التقنيات عملية متعددة المراحل لاسترداد الميثان المتسرب.

- ثاني أكسيد الكربون في درجة النقاوة الغذائية

تقنية مثبتة تستخلص ثاني أكسيد الكربون من الغاز الحيوي المتولد في محطة الهضم اللاهوائي، وتُنقيه إلى ثلج جاف بدرجة جودة النقاوة الغذائية، وهي مادة أساسية في نقل المنتجات القابلة للتلف. ومع ذلك يُحتمل أن تتطلب إنتاجها إجراءات مراقبة

الجودة، والتحقق فيما يتعلق بإنتاج ثاني أكسيد الكربون من مرفق الهضم اللاهوائي للمهدر من الطعام (وفقاً لمصدر نفايات الطعام وطبيعته وتنوعه)، حيث يتطلب جهداً أكبر عن ذلك الذي ينتج من مرفق الهضم اللاهوائي للمدخلات الزراعية.

- التحويل إلى ميثان

تقنية جديدة يتفاعل فيها ثاني أكسيد الكربون مع تدفقات الهيدروجين (قد يكون من مرفق للهيدروجين الأخضر) لإنتاج الميثان التخليقي.

### ٦-١-٥ تقنيات التحكم في الانبعاثات والوقاية منها

تهدف المعالجة البيولوجية إلى تقليل التأثير البيئي السلبي الذي قد ينشأ من النفايات، والحدّ منه. ومع ذلك، أثناء تشغيل محطات المعالجة اللاهوائية تنشأ الانبعاثات والاستهلاك وغيرها، ويتأثر وجودها وحجمها حسب تصميم المرافق وتشغيلها. لذلك، يلخص هذا القسم المشكلات البيئية الرئيسة التي تنشأ مباشرة من منشآت محطات المعالجة البيولوجية الهوائية، والتقنيات المتاحة، للسيطرة على الانبعاثات أو تقليلها أو منعها.

وتندرج هذه الانبعاثات المحتمَلة من المعالجة الهوائية للنفايات أساساً في الفئات الرئيسة التالية:

- الانبعاثات إلى الهواء، ومنها:
  - الانبعاثات المتسربة، خاصة الروائح والغبار والهباء الحيوي الميكروبي.

تُعَد انبعاثات الروائح محدودة في حالة الهضم اللاهوائي، ومع ذلك قد تحدث انبعاثات رائحة من أنشطة مثل: مناولة مدخلات النفايات، ونقل النفايات من الهاضم وإليه، والمعالجة المسبقة للنفايات، ومناولة نفايات الهضم اللاهوائي، فضلاً عن تنظيف الغاز الحيوي وتكييفه. كما تتولد انبعاثات الغبار والهباء الحيوي بشكل عام من أنشطة المعالجة المسبقة مثل: تقطيع النفايات العضوية، وخلطها.

  - الانبعاثات الغازية.

يُعَد الغاز الحيوي منتجاً مطلوباً لعملية الهضم اللاهوائي، ومع ذلك قد تنشأ الانبعاثات المتسربة من صمَّامات تنفيس الضغط، أو عدم إحكام ربط أحزمة خزانات المياه، أو مناولة السائل المتكثف، كذلك من الميثان المتسرب من تخزين الغاز الحيوي. ويمكن أن يؤدي هذا إلى مجموعة من المخاطر التي تشمل خطر نشوب حريق أو انفجار، فضلاً عن السميَّة من الغازات الملوثة مثل: كبريتيد الهيدروجين. كذلك يمكن أن تكون مركبات كبريتيد الهيدروجين، والنيتروجين، والمركبات الموجودة في الغاز الحيوي شديدة الرائحة.

  - الانبعاثات الموجَّهة إلى الهواء من الغبار، والمركبات العضوية، والمركبات ذات الرائحة، بما في ذلك: كبريتيد الهيدروجين، والأمونيا.

- الانسكابات والتسربات إلى المياه، ومنها:
  - السوائل المرتشحة الناتجة عن ارتفاع مستويات الرطوبة في النفايات العضوية.

أثناء عملية الهضم اللاهوائي ذاتها لا توجد مياه زائدة، ومع ذلك أثناء مراحل التخزين والمعالجة المسبقة والمرحلة النهائية (مثل تنظيف الغاز الحيوي) قد يتم إنتاج المياه. وتؤثر عوامل - مثل مدى التحلل البيولوجي للنفايات- عند وصولها وأثناء تخزينها ومحتوى الرطوبة في المدخلات وإعدادات تشغيل الهاضم، على كمية المياه الزائدة.

  - مياه الغسيل التي تُستخدم في تنظيف المحطة/ المعدات والأسطح ومياه الصرف من المياه الجارية التي سقطت على مناطق التخزين والمعالجة أو كليهما.

- الضوضاء:

تُعد عملية الهضم اللاهوائي مُغلقة بطبيعتها، مما يُقلل من انبعاثات الضوضاء. ومع ذلك، قد تَصدُر بعض الضوضاء من أجهزة التهوية والتقليب.

- استهلاك الطاقة:

أثناء العمليات العادية للهضم اللاهوائي، تُستخدم الكهرباء التي يمكن توليدها في الموقع، والحرارة التي قد تكون مطلوبة لعمليات التجفيف والتسخين المحتملة، ولتدفئة المباني.

لذلك، يتم عرض أفضل التقنيات المتاحة وفقاً لمستندات أفضل التقنيات المتاحة[6]؛ من أجل التحكم في الانبعاثات وتقليلها ومنعها:

- تقنيات لتقليل انبعاثات الروائح وتحسين الأداء البيئي العام للمعالجة البيولوجية.
- تقنيات لتقليل الانبعاثات الموجهة إلى الهواء من الغبار، والمركبات العضوية، والمركبات ذات الرائحة، بما في ذلك كبريتيد الهيدروجين $H_2$ والأمونيا $NH_3$.
- تقنيات لتقليل استخدام مياه الصرف الصحي والمياه.

### ٦-١-٥-١ تقنيات تقليل انبعاثات الروائح وتحسين الأداء البيئي العام

وفقاً لمستند أفضل التقنيات المتاحة، تتمثل أفضل التقنيات المتاحة لتقليل انبعاثات الروائح، وتحسين الأداء البيئي العام في إجراء القبول المسبق، والقبول، والفرز لمدخلات النفايات، وذلك لضمان ملاءمة مدخلات النفايات لمعالجة النفايات، من حيث توازن العناصر الغذائية، أو الرطوبة، أو المركبات السامة، التي قد تقلّل من النشاط البيولوجي.

الجدول 6-2: تقنيات لتقليل انبعاثات الروائح وتحسين الأداء البيئي العام.

| التقنية | | الوصف |
|---|---|---|
| (أ) | معايير القبول المسبق/ القبول والفرز لمدخلات النفايات | - قد تشمل إجراءات القبول المسبق قيام المُشغل بإجراء عمليات تدقيق أولية على مُوَردي المواد الأولية؛ لضمان تقديم النفايات باستمرار بطريقة مناسبة لعملية معالجة النفايات الخاصة بهم. قد تتضمن حدًّا لعمر النفايات بحلول الوقت الذي تصل فيه إلى المرفق لمنع قبول المواد شديدة الرائحة.<br>- انتقاء مدخلات النفايات لضمان ملاءمتها لمعالجة النفايات، مثل: تمكين التوازن المناسب للعناصر الغذائية، وتجنب دخول المركبات السامة (السامة من حيث الحد من النشاط البيولوجي) إلى محطة المعالجة.<br>- زيادة جودة المواد الأولية إلى أقصى حد بما يتماشى مع المعالجة. |
| (ب) | إدارة التخزين | - يجب تصميم منطقة تخزين مدخلات النفايات العضوية (غير الخشبية) بسطح غير قابل للنفاذية، مع نظام تصريف مُحكم الغلق؛ لمنع دخول أي انسكاب إلى أنظمة التخزين أو خروجه من الموقع، بحيث يمنع التصميم تلوث المياه السطحية النظيفة. |

[6] القرار التنفيذي للمفوضية (الاتحاد الأوروبي) ١١٤٧/٢٠١٨ الصادر في ١٠ أغسطس ٢٠١٨ الذي يحدد استنتاجات أفضل التقنيات المتاحة (BAT) لمعالجة النفايات، بموجب التوجيه EU/٧٥/٢٠١٠ والمستند المرجعي لأفضل التقنيات المتاحة لمعالجة النفايات، مركز الأبحاث المشترك (JRC)، المفوضية الأوروبية، ٢٠١٨.

| التقنية | | الوصف |
|---|---|---|
| | | - كما يجب تصميم منطقة التخزين؛ للسماح بالتفريغ والتنظيف الكامل، بما في ذلك التصريف؛ للسماح بجمع المواد المرتشحة ومياه الغسيل، ونقلها وتصريفها.<br>يتم عرض التقنيات الأخرى المتعلقة بالمرحلة التشغيلية، مثل وقت البقاء، في القسم ٧. |
| (ج) | المراقبة والتحكم في العوامل الأساسية للنفايات | - ضمان استقرار عمليات الهاضم.<br>- تقليل صعوبات التشغيل، كتكوُّن الرغوة التي قد تؤدي إلى انبعاث الروائح.<br>- توفير إنذار مبكر بدرجة كافية لأعطال النظام المؤدية إلى فقدان الاحتواء والانفجارات.<br>ويشمل هذا المراقبة والتحكم في البارامترات الأساسية للنفايات والعملية، بما في ذلك ما يلي:<br>- الرقم الهيدروجيني والقلوية لمدخلات الهاضم.<br>- درجة حرارة تشغيل الهاضم.<br>- معدلات التحميل الهيدروليكي والعضوي لمدخلات الهاضم.<br>- تركيز الأحماض الدهنية المتطايرة والأمونيا داخل الهاضم ونفايات الهضم اللاهوائي.<br>- كمية الغاز الحيوي وتكوينه وضغطه.<br>- مستويات السائل والرغوة في الهاضم.<br>- بالإضافة إلى ذلك، يجب على المشغلين مراقبة علامات تراكم الرواسب في قاع الهاضم، وتوفير برنامج مناسب لإزالة الحمأة. |

### ٦-١-٥-٢ تقنيات تقليل الانبعاثات الموجهة

إن عملية الهضم اللاهوائي ذاتها مغلقة، ولكن قد تحدث الانبعاثات إلى الهواء، مثل انبعاثات الروائح، مما يلي:

- مناولة مدخلات النفايات.
- النقل من الهاضم وإليه.
- التخزين المفتوح.
- فصل النفايات والمعالجة المسبقة لها، وخلطها (مثل نفايات الهضم اللاهوائي).
- المفاعلات أو الخزانات المفتوحة.
- تكييف نفايات الهضم اللاهوائي.
- تنظيف الغاز الحيوي وتكييفه.
- ما بعد المعالجة.

يُعَد الغاز الرئيسي المنبعث من الهضم اللاهوائي (الميثان) منتجاً مطلوباً. إذ يُستخدم كمصدر للطاقة المتجددة، كما يُعَد مصدراً للإيرادات، ويقلل من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.

ومع ذلك، قد تنشأ انبعاثات الغاز الحيوي المتسربة من صَمَّامات تنفيس الضغط، أو عدم إحكام ربط أحزمة خزانات المياه، أو مناولة السائل المتكثف، كذلك من الميثان المتسرب من تخزين الغاز الحيوي. ويمكن أن يؤدي هذا إلى مجموعة من

المخاطر التي تشمل خطر نشوب حريق أو انفجار، فضلاً عن السميَّة من الغازات الملوثة، مثل كبريتيد الهيدروجين. كذلك، يمكن أن تكون مركبات كبريتيد الهيدروجين والنيتروجين والمركبات الموجودة في الغاز الحيوي شديدة الرائحة.

ومن أجل تقليل الانبعاثات الموجهة إلى الهواء من الغبار والمركبات العضوية والمركبات ذات الرائحة، بما في ذلك كبريتيد الهيدروجين والأمونيا، يجب أن تستخدم أفضل التقنيات المتاحة، أو مزيج من التقنيات الواردة أدناه؛ لأجل تقليل الانبعاثات.

الجدول ٦-٠: تقنيات تقليل الانبعاثات الموجهة إلى الهواء.

| التقنية | | الملوثات النموذجية التي تم الحد منها بفضل المعالجة البيولوجية اللاهوائية | الوصف |
|---|---|---|---|
| أ | الامتزاز | المركبات العضوية المتطايرة وكبريتيد الهيدروجين والمركبات ذات الرائحة | - تشمل مواد الامتزاز النموذجية: الكربون الحُبيبي المنشط، والزيوليت، وجزيئات البوليمر دقيقة المسام، والسيليكا جل، وألومينو سيليكات الصوديوم. ويُعَد الكربون الحُبيبي النشط هو أكثر مواد الامتزاز شيوعاً.<br>- يتضمن تطبيق الامتزاز ما يلي:<br>○ استرداد المركبات العضوية المتطايرة، كالمواد الخام والمنتج والمذيب وما إلى ذلك؛ لإعادة استخدامها وتدويرها.<br>○ الحد من الملوثات بالمواد الخطرة التي لا يمكن تدويرها، أو استخدامها بطريقة أخرى.<br>○ استخدامه كمرشح وقائي بعد المعالجة النهائية بالمرافق.<br>- يُعَد الامتزاز تفاعلاً غير متجانس، يتم فيه الاحتفاظ بجزيئات الغاز على سطح صلب أو سائل، ولكونه يفضل مركبات معينة على غيرها، فبالتالي يتم إزالتها من تدفقات النفايات السائلة، وعندما يمتص السطح قدر الإمكان يتم إحلال مادة الامتزاز أو امتصاص محتوى الامتزاز. وفي تلك الحالة عادةً ما تكون الملوثات بتركيز عالٍ، ويمكن استردادها أو التخلص منها. |
| ب | المرشح البيولوجي | الأمونيا وكبريتيد الهيدروجين والمركبات العضوية المتطايرة والمركبات ذات الرائحة | - تُمَرَّر تدفقات الغاز العادم من خلال طبقة من المواد العضوية (مثل: النباتات المتحللة، وحشائش الخلنج، والسماد العضوي، والجذور، ولحاء الأشجار، والخشب اللين، ومختلف المجموعات)، أو بعض المواد الخاملة (مثل: الطين، والكربون، المنشط والبولي يوريثان)؛ حيث يتأكسد بيولوجيًّا بواسطة الكائنات الحية الدقيقة إلى ثاني أكسيد الكربون وماء وأملاح غير عضوية وكتلة حيوية.<br>- يُصمَّم المرشح البيولوجي مع مراعاة نوعية مدخلات النفايات؛ حيث تُختار مادة مناسبة لتكوين طبقة المرشح، على سبيل المثال: من حيث القدرة على الاحتفاظ بالمياه، والكثافة الظاهرية، والمسامية، والسلامة الهيكلية. من المهم أيضاً الارتفاع ومساحة السطح المناسبين لطبقة المرشح؛ حيث |

| | التقنية | الملوثات النموذجية التي تم الحد منها بفضل المعالجة البيولوجية اللاهوائية | الوصف |
|---|---|---|---|
| | | | يُوصَّل المرشح البيولوجي بنظام مناسب للتهوية وتدوير الهواء؛ لضمان توزيع الهواء بدرجة موحدة، من خلال طبقة المرشح، وبقاء الغاز العادم داخل طبقة المرشح لفترة كافية.<br>- قد تكون هناك حاجة لإجراء معالجة مسبقة للغاز العادم قبل المرشح البيولوجي (المعالجة بالماء، أو جهاز تنقية الغاز الحمضي) في حالة ارتفاع محتوى الأمونيا NH3 (من ٥-٤٠ مجم/متر مكعب عادي)؛ للتحكم في الرقم الهيدروجيني للوسيط، وللحد من تكوين أكسيد النيتروجين في المرشح البيولوجي. ويمكن لبعض المركبات الأخرى ذات الرائحة (كبريتيد الهيدروجين) أن تسبب تحمُّض وسيط المرشح البيولوجي، مما تستلزم استخدام جهاز تنقية الغاز المائي أو القلوي للمعالجة المسبقة للغاز من قِبل المرشح البيولوجي. |
| د | الأكسدة الحرارية | المركبات العضوية المتطايرة | أكسدة الغازات القابلة للاحتراق في تدفقات الغاز العادم، عن طريق تسخين خليط الملوثات مع الهواء أو الأكسجين إلى درجة أعلى من درجة حرارة اشتعالها ذاتيًّا في غرفة الاحتراق، والحفاظ على وجودها في درجة حرارة مرتفعة لفترة كافية؛ لإكمال احتراقها إلى ثاني أكسيد الكربون وماء. |
| هـ | الغسل الرطب | الغبار والمركبات العضوية المتطايرة والمركبات الحمضية الغازية (جهاز تنقية الغاز القلوي)، والمركبات القلوية الغازية (جهاز تنقية الغاز الحمضي) | إزالة الملوثات الغازية أو الجسيمية من تدفقات الغاز، من خلال نقل الكتلة إلى مذيب سائل غالباً ماء أو محلول مائي. وقد ينطوي ذلك على تفاعل كيميائي (جهاز تنقية الغاز الحمضي أو القلوي) في بعض الحالات، ويمكن استرداد المركبات من المذيب.<br>تُستخدم أجهزة تنقية الغاز المائية أو الحمضية أو القلوية مع المرشح البيولوجي أو الأكسدة الحرارية أو الامتزاز على كربون منشط. |
| و | فصل تدفقات الغازات العادمة | - | تقسيم مجمل تدفقات الغاز العادم إلى تدفقات غازات عادمة ذات محتوى عالٍ من الملوثات، وتدفقات غازات عادمة ذات محتوى منخفض من الملوثات. |
| ز | تدوير الغاز العادم | - | تدوير غاز العادم ذي المحتوى منخفض الملوثات في العملية البيولوجية، متبوعة بمعالجة الغاز العادم، بما يتناسب مع تركيز الملوثات. قد يكون استخدام غاز العادم في العملية البيولوجية مقيداً بدرجة حرارة الغاز العادم ومحتوى الملوثات. قد يكون من الضروري تكثيف بخار الماء الموجود في غاز العادم قبل إعادة استخدامه، وفي |

| التقنية | الملوثات النموذجية التي تم الحد منها بفضل المعالجة البيولوجية اللاهوائية | الوصف |
|---|---|---|
| | | هذه الحالة يكون التبريد ضروريًا، ويُعاد تدوير المياه المكثفة عندما يكون ذلك ممكناً، أو معالجتها قبل التصريف. |

### ٦-١-٥-٣ تقنيات تقليل المياه واستخدامها

على الرغم من أنه يمكن تشغيل الأنظمة اللاهوائية على مراحلَ لتقليل مطلوبية الأكسجين البيوكيميائية الكلية في النفايات السائلة؛ فإنه بشكل عام تنتج الميثان بكفاءة، وبالتالي تميل النفايات السائلة إلى أن تكون أكثر تركيزاً من تلك الناتجة عن الأنظمة الهوائية، خلال عملية الهضم اللاهوائي ذاتها؛ حيث لا توجد مياه زائدة، ومع ذلك أثناء مراحل التخزين والمعالجة المسبقة والأنشطة الثانوية (مثل التنظيف أو التكثيف من الغاز الحيوي)، قد يكون هذا ضروريًا، ويمكن تجميع المياه الجارية واستخدامها في عملية الهضم اللاهوائي، أو في محطات التسميد.

ومن أجل تقليل إنتاج مياه الصرف واستخدام المياه، يجب أن تستخدم أفضل التقنيات المتاحة بالتقنيات الواردة في الجدول.

الجدول ١-٠: تقنيات تقليل استخدام مياه الصرف والمياه.

| | التقنية | الوصف |
|---|---|---|
| أ | فصل تدفقات المياه | - تُفصَل السوائل المرتشحة عن المياه الجارية السطحية ومياه الغسيل. |
| ب | إعادة تدوير المياه | - يُعاد تدوير تدفقات المياه الناتجة عن العملية، أو يُستخدم أكبر قدر ممكن من تدفقات المياه (مثل: المياه المتكثفة، ومياه الشطف، والمياه الجارية السطحية). تُعَد درجة إعادة التدوير محدودة بتوازن المياه في المحطة ومحتوى الشوائب (مثل: المعادن الثقيلة، والأملاح، ومسببات الأمراض، والمركبات ذات الرائحة)، وخصائص تدفقات المياه (مثل: محتوى العناصر الغذائية). |
| ج | تقليل إنتاج السوائل المرتشحة | - تحسين محتوى الرطوبة للنفايات؛ من أجل تقليل إنتاج السوائل المرتشحة. |

## ٦-٢ الهضم الهوائي

### ٦-٢-١ وصف العملية

يُقدم هذا القسم العملية العامة للهضم الهوائي، والحد الأدنى لمتطلبات تصميم كل مرحلة من مراحل العملية، ثم يليها وصف تفصيلي للتسميد بالتكويم في الهواء الطلق والأنظمة المغلقة (التسميد داخل الحاويات).

يتيح إجراء هذه العملية -في بيئة خاضعة للمراقبة- مراقبة تدفق الهواء والرطوبة ودرجة الحرارة لعملية التسميد وتحسينها؛ حيث تقلل هذه المراقبة من مدة عملية التسميد، كما توفر مادة سماد عضوي متوافقة ومستقرة بيولوجيًا.

## تدفقات المدخلات والمخرجات

تشمل بعض أمثلة مواد المدخلات المناسبة: كالخضراوات، ونفايات الحدائق، والفاكهة، والنفايات الخضراء الناتجة عن الزراعة، والنفايات الخضراء من القطاع الغذائي، ونفايات التشذيب والقص وقطع الخشب، ونفايات الهضم اللاهوائي، وما إلى ذلك.

ولكي تتم عملية التحلل في أقصر وقت ممكن، يجب أن تكون مواد المدخلات مزيجاً من المواد العضوية الرطبة والقابلة للتحلل بسهولة، والمادة العضوية التي تعمل على تحسين البنية. ويُعَد محتوى الرطوبة ضروريًّا للحفاظ على نشاط الكائنات الحية الدقيقة؛ حيث يمكن أن يؤدي انخفاض محتوى الرطوبة إلى خمول الكائنات الحية الدقيقة، وأيضاً في حال أصبح محتوى الرطوبة مرتفعاً بدرجة كبيرة تقل مسامية المواد، ويمكن أن تنشأ الظروف اللاهوائية في مادة التسميد.

تُعَد مخرجات المحطات بشكل أساسي هي السماد العضوي؛ سواء الطازج أو الناضج، بالإضافة إلى الوقود.

## عملية الهضم الهوائي

تشتمل عملية الهضم الهوائي النموذجية على أربع خطوات رئيسية، وينطبق هذا بشكل عام على أنظمة الهضم الهوائي المفتوحة والمغلقة، وهي:

١) الاستلام.

٢) التحضير (مرحلة المعالجة المسبقة).

٣) التسميد (مرحلة المعالجة).

٤) المرحلة النهائية (مرحلة ما بعد المعالجة).

## الاستلام

تبدأ عملية التسميد بتوصيل النفايات العضوية إلى منطقة الاستلام؛ حيث سيتم تسجيل خصائص النفايات (نوع النفايات العضوية، كونها مفصولة في المصدر أم مختلطة، وما إلى ذلك)، من خلال المعاينة البصرية، ووزن النفايات باستخدام مقياس.

يعتمد تصميم منطقة الاستلام (مثل: طريقة تفريغ المدخلات، وإطار منطقة الاستلام)، على نوع الطبقة التحت سطحية، ومراقبة نوعية الهواء، ومتطلبات النظافة، وتوفير المستودعات والخزانات المسطحة أو المجوفة حاوية عزل، وغيرها.

## التحضير (مرحلة المعالجة المسبقة)

تُستخدم مرحلة المعالجة المسبقة لتحسين خصائص مواد النفايات، مثل: نسبة الكربون إلى النيتروجين، ومحتوى الرطوبة والقوام، بالإضافة إلى إزالة الملوثات، وتقليل المواد التي قد تعوق عملية التسميد. وتشمل المعدات المستخدمة عموماً: أرضيات المكبِّ الموقع، واللوادر الأمامية، وفتاحات الأكياس، وآلات التقطيع، ومفكات البراغي، وأسطوانات الخلط، والغرابيل، وأجهزة الفصل المغناطيسي، ومعدات الفرم، وأجهزة الطرد المركزي لتصريف المياه، وغيرها.

تتضمن مرحلة تحضير المدخلات لعملية التسميد ما يلي:

- الإزالة اليدوية للملوثات الأكبر حجماً والمرئية، مثل: أكياس البلاستيك، والعناصر المعدنية، والكبيرة مثل: جذوع الأشجار التي لا يمكن معالجتها.
- التقطيع - قد تحتاج النفايات الخضراء المفصولة في المصدر من أنشطة تنسيق المناظر الطبيعية إلى التقطيع أو الفرم، وتتطلب نفايات الطعام المفصولة في المصدر درجة أكبر من المعالجة المسبقة، لإزالة الملوثات والنفايات المفصولة بشكلٍ سيئ. ويمكن إجراء العملية لأنواع مختلفة من النفايات العضوية المختلطة؛ حيث يتم إدخال النفايات في آلات التقطيع باستخدام لودر بعجلات وروافع وأنظمة نقل أخرى، أو بواسطة سير وناقل بريمي بناءً على المدخلات، ويمكن أن يحدث التقطيع قبل خطوة الفرز أو بعدها.

- الفرز والتجانس الآلي - تُستخدم الغرابيل الأسطوانية بكثرة لتصنيف المواد وتجانُسها عند الاقتضاء، وتتم إزالة المعادن والبلاستيك والمواد الأخرى غير القابلة للتحلل البيولوجي، عن طريق أجهزة الفصل المغناطيسي، وفاصل التيار الدوامي، ومُصنفات هوائية على التوالي. وبمجرد فصل الأجزاء العضوية، قد تخضع أيضاً للتقطيع أو السحق الفرم، حتى يصبح الحجم بين ١ و١٠ سم$^{٢}$ بناءً على نوع النفايات، حينئذٍ يمكن أن تبدأ عملية التسميد.

## التسميد (مرحلة المعالجة)

بناءً على التطور في النشاط الميكروبي ودرجات الحرارة المقابلة، يمكن تقسيم مرحلة التسميد إلى مرحلتين فرعيتين:

مرحلة أولى من التحلل سريع الوتيرة أو التسميد المكثف، ومرحلة ثانية من التحلل البطيء التي تسمى مرحلة الإنضاج.

- تحدث المرحلة الأولى "التحلل المكثف" خلال أول أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع من العملية، عندما يكون منحنى التحلل شديد الانحدار، وترتبط معظم الانبعاثات بهذه المرحلة. يؤدي التحلل الهوائي إلى تسريب ثاني أكسيد الكربون والمياه والأمونيا والحرارة؛ حيث ترتفع درجة حرارة النفايات المتحللة إلى ٧٠ درجة مئوية، مما يُنتج زيادة تكون المكونات ذات الرائحة.

  وللحفاظ على درجات حرارة أقل من هذه الدرجة، من الضروري التأكد من التهوية من داخل النفايات العضوية؛ حيث يُعَد توافر الأكسجين أمراً ضروريًّا للحفاظ على التحلل الهوائي، ومنع تكوين مناطق لاهوائية يتسرب منها الميثان. علاوةً على ذلك، يزيل نظام التهوية في الوقت ذاته الحرارة والرطوبة من التكويم، خلال عملية التسميد بالتكويم، عن طريق تقليب المادة العضوية؛ سواء يدويًّا أو باستخدام آلة. وفي التسميد الهوائي الساكن للأكوام يتم ذلك من خلال أنابيب مثقوبة داخل الحاويات، بحيث يتم التحكم في التهوية.

- المرحلة الثانية هي مرحلة الإنضاج. في هذه المرحلة تنخفض درجات الحرارة وتستقر، وتعاود البكتيريا التي تنشط في درجات الحرارة المعتدلة الظهور؛ لتحلل المواد العضوية المتبقية وتحولها إلى مواد دبالية مستقرة بيولوجيًّا: كالسماد العضوي الناضج. وتُعَد مادتا اللجنين والسليلوز مقاومتين للتحلل، وبالتالي تشكلان النصيب الأكبر من منتج السماد العضوي النهائي.

  تختلف مدة المرحلة المكثفة ومرحلة الإنضاج من حيث عمل نظام التسميد، ويضاهي نظام التكويم نظام الأكوام الساكنة من حيث وقت العملية، بينما تتميز أنظمة التسميد الأكثر تعقيداً (أنظمة التسميد داخل الحاويات، وما إلى ذلك) أو أنظمة التسميد ذات معدلات التقليب المرتفعة، بقصر مدة عملياتها، وذلك على النحو الموضح في الجدول **٦-٠٠**.

الجدول ٦-٠٠: مُدد بعض عمليات التسميد الصناعي[٣]

| المثال | المرحلة الأولية | مرحلة الاستقرار |
|---|---|---|
| نظام التسميد بالتكويم | من ٣ - ٩ أسابيع بناءً على نوع المادة ووتيرة التقليب | - |
| نظام التسميد الهوائي الساكن للأكوام | من ٣ - ٥ أسابيع | - |
| نظام التسميد بالتكويم المُغطى بنظام غطاء GORE (في أوروبا الوسطى) | ٨ أسابيع | |
| نظام التسميد بالتكويم المُغطى بنظام غطاء GORE (في جنوب أوروبا) | ٦ أسابيع | |

| المثال | المرحلة الأولية | مرحلة الاستقرار |
|---|---|---|
| نظام التسميد بالتكويم في القاعات المغلقة (WIPS - بلجيكا) | ٨ أسابيع | بضعة أسابيع إضافية |
| التسميد في الأنفاق | من ٧ - ٢١ يوماً | من ٤ - ٨ أسابيع (التسميد في أكوام) |
| نظام التسميد الآلي داخل الحاويات (برنامج مجلس مقاطعة لاويس للتسميد - أيرلندا) | أسبوعان | من ٤ - ٦ أسابيع |

### المرحلة النهائية

تتمثل الخطوة الأخيرة في محطة التسميد بوضع اللمسات الأخيرة على المنتج، أي السماد الحيوي، وعند الحاجة يُرسَل السماد الحيوي للمعالجة النهائية؛ حيث يتم إجراء تصنيف الحجم وإزالة أي شوائب متبقية (مثل: الزجاج، والبلاستيك، والمعادن)، من خلال غرابيل أسطوانية ومُصنفات هوائية وأجهزة فصل المعادن.

يمكن استخدام السماد العضوي كمادة لتعديل التربة أو كسماد أو كغطاء عضوي، وما إلى ذلك. تُعَد الأسواق الأكثر شيوعاً له هي الزراعة والبستنة. وتختلف كمية السماد العضوي الناتج من حيث وظيفة وطبيعة مادة المدخلات. فعندما يتم تسميد ١٠٠٠ كجم من نفايات الخضراوات ونفايات الحدائق والفاكهة، يمكن الحصول على ما يقرب من ٣٥٠ - ٤٢٠ كجم من السماد العضوي في نهاية العملية.

**من أجل ضمان الجودة الجيدة للسماد العضوي، يُوصَى بوضع معايير محلية للسماد العضوي.**

### ٦-٢-٢ العوامل التي تؤثر على عملية التسميد

#### ٦-٢-٢-١ خصائص المواد

يُعَد التسميد عملية قائمة على المحتوى الميكروبي؛ حيث تُشكِّل البكتيريا من ٨٠ - ٩٠٪ من الكائنات الحية الدقيقة، وتشمل البقية: الفطر والخميرة والحريش والمتحللات الغروية. وتؤثر خصائص مدخلات عملية التسميد على كفاءة تحلُّل المادة العضوية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة؛ لذا يجب مراعاة عدة معايير تشغيلية في عملية التسميد، لتوفير البيئة المناسبة لبقاء الكائنات الحية الدقيقة ونموها؛ لضمان نجاح عملية التسميد، وتشمل هذه المعايير ما يلي:

- نسبة الكربون إلى النيتروجين

عندما تكون نسب الكربون إلى النيتروجين منخفضة، يتوفر فائض من النيتروجين الذي من الممكن أن يتسرب في الغلاف الجوي: كغاز الأمونيا، ويسبب انبعاث روائح، بينما عندما تكون النسب مرتفعة، تستنفد الكائنات الحية الدقيقة النيتروجين، وتستخدمه لتلبية احتياجاتها الأيضية، مما يؤدي إلى تباطؤ عملية تحلل المادة العضوية، وتتراوح النسبة المثالية من ٢٥:١ - ٣٥:١.

- حجم الجزيئات

يؤثر حجم جزئيات المدخلات على المسامية، وبالتالي تدفق الهواء في كومة السماد؛ مما يؤثر على مستوى الأكسجين الذي يُعَد أساسيًّا للنشاط الميكروبي. وتُعرف المسامية على أنها نسبة الحجم الإجمالي للمسام إلى الحجم الإجمالي للسماد؛ حيث تمتلئ المسام بالهواء والماء أثناء عملية التسميد، مما يتسبب في تقليل حجم الكومة غالباً، وبالتالي يقل حجم المسام، ومِن ثَم المسامية الهوائية، الأمر الذي يقلل من تدفق الهواء في الكومة ومستوى الأكسجين كذلك. لذلك،

يُوصَى بأن تكون المسامية الهوائية من ٤٥ - ٦٠٪. وتجدر الإشارة إلى أنه يمكن زيادة المسامية عن طريق إضافة مواد مثل: الأغصان، وقشور الفاكهة الصلبة، التي تسمى بالمواد المالئة.

- محتوى الرطوبة

يتراوح محتوى الرطوبة المثالي بين ٤٥ - ٦٠٪ من إجمالي الوزن؛ حيث يؤدي انخفاض محتوى الرطوبة إلى إبطاء عملية التسميد؛ إذ تحتاج الكائنات الحية الدقيقة إلى بيئة رطبة، ومع ذلك عندما يزيد محتوى الرطوبة عن ٦٠٪، فإنه يؤدي إلى ملء المساحات المسامية بالمياه بدلاً من الهواء، مما يؤدي إلى نشوء الظروف اللاهوائية التي يتم فيها استنفاد الأكسجين، وتنبعث الروائح الكريهة، ويتولد الميثان وهو أحد غازات الاحتباس الحراري.

- الأس الهيدروجيني

تُفضل الكائنات الحية الدقيقة أن يكون الأس الهيدروجيني بين ٦ - ٧,٥، بينما تُفضل الفطريات أن يتراوح بين ٥,٥ - ٨، وتتراوح القيمة المثلى للأس الهيدروجيني من ٦,٥ - ٨,٠ ومن المرجح أن يحدث الفقد الغازي للأمونيا عندما يكون الأس الهيدروجيني أكبر من ٧,٥،علماً أنه يصعب التحكم في الأس الهيدروجيني؛ حيث إن بعض المواد (مثل: الجير، وكربونات البوتاسيوم، والروث اليومي) يمكن أن ترفع الأس الهيدروجيني، في حين أن نفايات معالجة الطعام وأوراق الشجر المتحللة يمكن أن تقلله، مما يصعب عملية التحكم به.

- درجة الحرارة

تؤدي درجات الحرارة المرتفعة نسبيًا إلى سرعة التحلل، ومع ذلك يمكن أن تمنع درجات الحرارة المرتفعة بشكل مفرط من حدوث النشاط الميكروبي. وتُعَد درجات الحرارة الأكثر فعالية للعملية الحرارية في التسميد من ٤٠ - ٧٠ درجة مئوية تقريباً، ويتراوح النطاق الأمثل من ٥٥ - ٦٥ درجة مئوية. ويمكن تعديل درجات الحرارة من خلال التهوية، وتغيير محتويات رطوبة الكومة، وأحجام الكومات.

### ٦-٢-٢-٢ إمداد الأكسجين

يجب توفير إمدادات الأكسجين بشكل مستمر ومتجانس؛ لضمان الظروف الهوائية الكلية في عملية التسميد بالتكويم، ويتم ذلك عن طريق تقليب المادة العضوية؛ سواء يدويًا، أو باستخدام آلة في التسميد الهوائي الساكن للأكوام، أو من خلال أنابيب مثقوبة في التسميد داخل الحاويات؛ حيث يتم التحكم في التهوية، وتُعَد النسب المثلى لتركيزات الأكسجين في كومة السماد العضوي من ١٠٪ إلى أعلى.

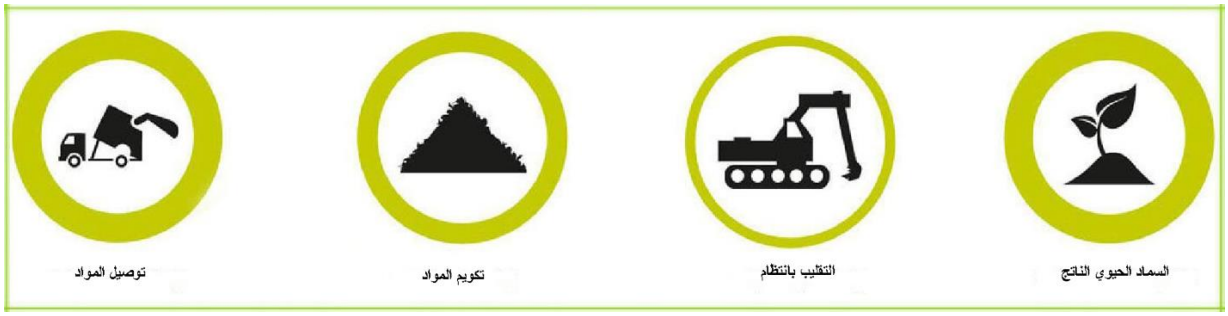
### ٦-٢-٣ طرق التسميد

#### ٦-٢-٣-١ التسميد بالتكويم

يتميز التسميد بالتكويم بكونه طريقة بسيطة بتكاليف استثمارية منخفضة ومستوى منخفض من التحكم في العملية. وتُكدس النفايات في أكوام مثلثة أو مستطيلة، وتُقَلب لتعزيز التهوية والتجانس على النحو الموضح في الشكل **7-٠**.

يمكن تقليل الحاجة للتقليب، عن طريق تركيب أنابيب هوائية أسفل الكومة؛ مما يوفر التهوية السلبية، أو التهوية بالضغط الزائد أو المنخفض، كما يمكن وضع الأكوام في الهواء الطلق، أو في قاعات مغلقة.

عند استخدام التسميد بالتكويم لمعالجة نفايات الطعام، يُوصَى بإجرائه في قاعات مغلقة؛ من أجل التحكم في النفايات السائلة والروائح التي يتم تسريبها أثناء المرحلة المكثفة. وبالنسبة لمرحلة الإنضاج، تُستخدم أنظمة التكويم في الهواء الطلق، وعلى الأسطح، على نطاق واسع؛ حيث تكون متطلبات التهوية والترطيب والتحكم في الهواء أقل صرامة.




الشكل ٦-٠: عملية التسميد بالتكويم في الهواء الطلق.

الشكل ٢-٠: أمثلة التسميد بالتكويم في الهواء الطلق في مرفق التسميد.

### ٦-٢-٣-٢ التسميد داخل الحاويات

يشير التسميد داخل الحاويات إلى عملية التسميد التي تحدث في بيئة خاضعة للمراقبة، التي قد تشتمل على ما يلي:

- الحاويات.
- الأنفاق.
- الخِلجان المغلقة.
- القاعات المغلقة.
- الأسطوانات الدوارة.

بعد استلام المدخلات في مرفق المعالجة، تخضع للتحضير في شكل معالجة مسبقة، وتعتمد المعالجة المسبقة على نوعية المدخلات، ويتم إجراؤها لتحقيق تجانُس المدخلات (من حيث الحجم والاتساق والتناسق)، وإزالة الملوثات.

ولضمان تحلل جميع المواد المكونات العضوية مع عدم وجود أماكن موضعية غير محولة إلى سماد، يجب أن تخضع جميع عمليات التسميد المذكورة أعلاه لآلية تحويل السماد العضوي، وتعتمد الآلية على نوع التسميد داخل الحاويات. وتُعَد هذه المرحلة من عملية التسميد مكثفة، وتستغرق من أسبوع إلى ٣ أسابيع. خلالها يُجرى التحلل المكثف في مساحة مغلقة، مع التهوية القسرية التي تعمل على احتجاز هواء العادم بالكامل؛ مما يؤدي إلى إنتاج السماد العضوي الطازج. وبمجرد انتهاء مرحلة

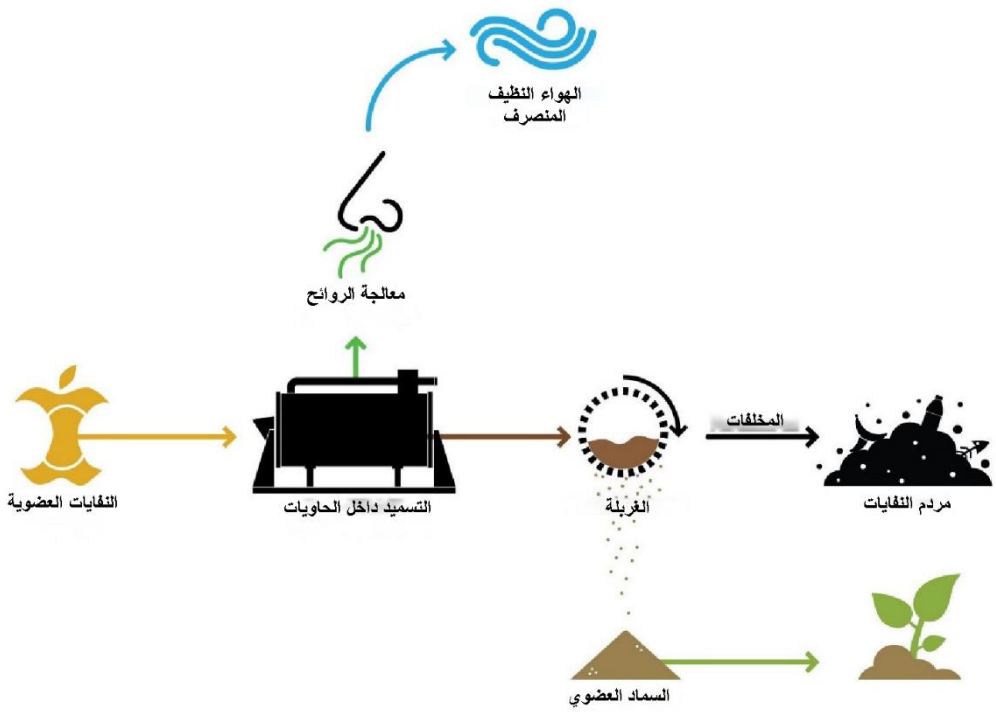
التسميد المكثف، تتم غربلة السماد العضوي لإزالة المواد كبيرة الحجم التي يمكن تقطيعها وإعادة إدخالها في بداية عملية تسميد مكثف جديدة.

تُنقل المواد المُغربَلة إلى منطقة مغلقة أكبر. وباستخدام التهوية القسرية مرة أخرى يُسحب الهواء من كومة السماد العضوي، وتُعتبر مرحلة إنضاجه، التي قد تستمر من ٦ إلى ١٢ أسبوعاً، وبها يُقَلب السماد العضوي بشكل دوري حتى يستقر. كما توجد مرحلة نهائية للغربلة بعد الإنضاج؛ لتحديد مستوى حجم السماد العضوي، بما يتناسب مع الاستخدامات النهائية المقصودة، فضلاً عن إزالة أي مواد غير مرغوب فيها مثل: الأحجار، والزجاج، وغيرهما.

يُفَرغ الهواء المستخدم في التهوية القسرية لمراحل التسميد المكثف والإنضاج، من خلال نظام تنظيف، لإزالة الروائح والغبار، ويكون عادةً في شكل مُرشح بيولوجي، وفي حالات أخرى جهاز تنقية لإزالة الأمونيا.

يمكن تلخيص مخرجات العملية على النحو التالي:

- سماد عضوي، يمكن استخدامه كمُحَسن للتربة بناءً على المدخلات واللوائح المحلية للتصريف في التربة.
- مياه الصرف.
- انبعاثات الهواء من المرشح البيولوجي.
- النفايات المرفوضة المفصولة في مرحلتَي المعالجة المسبقة، وما بعد المعالجة.




الشكل ٦-٠: المخطط النموذجي للتسميد داخل الحاويات.

الشكل ٦-٠٠: مثال لنظام التسميد في الحاويات - نظام Rocket Composter B١٤٠٠

### ٦-٢-٤ تقنيات التحكم في الانبعاثات والوقاية منها

أثناء عملية المعالجة اللاهوائية للنفايات تنشأ الانبعاثات وغيرها، التي يتأثر وجودها أو حجمها حسب تصميم المرافق وتشغيلها. لذا، يلخص هذا القسم المشكلات البيئية الرئيسية التي تنشأ مباشرةً من منشآت محطات المعالجة البيولوجية الهوائية، والتقنيات المتاحة للسيطرة على الانبعاثات؛ سواء بالمنع أو التقليل.

وتندرج هذه الانبعاثات المحتملة من المعالجة الهوائية للنفايات في الفئات الرئيسية التالية:

- الانبعاثات إلى التلوث الهوائي
  - الانبعاثات المتسربة، خاصة الروائح والغبار والهباء الحيوي.
  - الانبعاثات الموجهة إلى الهواء من الغبار والمركبات العضوية والمركبات ذات الرائحة، بما في ذلك كبريتيد الهيدروجين والأمونيا.
- تلوث المياه
  - السوائل المرتشحة الناتجة عن ارتفاع مستويات الرطوبة في النفايات العضوية، ومن الترسيب الطبيعي بأكوام السماد العضوي (في حالة محطات التسميد المفتوحة).
  - المياه الجارية السطحية التي سقطت على مناطق التخزين والمعالجة أو كليهما، ومياه الغسيل التي تُستخدم في تنظيف المحطة/ المعدات والأسطح.

**ملاحظة:** مياه الصرف من الأسطح أو من المناطق التي لا تستخدم لتخزين النفايات ومعالجتها، تُعَد مياهاً "نظيفة"، ويمكن تصريفها مباشرة إلى البيئة، أو يمكن استخدامها للحفاظ على رطوبة النفايات، ولتنظيف السيارات، وللنظافة الشخصية.

- الضوضاء الناتجة عن أجهزة التهوية والتقليب.
- استهلاك الطاقة.

وسيتم عرض أفضل التقنيات المتاحة وفقاً لمستندات أفضل التقنيات المتاحة من أجل تقليل الانبعاثات، في الفقرات التالية:

- تقنيات لتقليل انبعاثات الروائح وتحسين الأداء البيئي العام لمرفق المعالجة البيولوجية.
- تقنيات لتقليل انتشار الانبعاثات في الهواء.

- تقنيات لتقليل الانبعاثات الموجهة إلى الهواء من الغبار والمركبات العضوية والمركبات ذات الرائحة، بما في ذلك كبريتيد الهيدروجين والأمونيا.
- تقنيات تقليل استخدام الصرف الصحي والمياه.

### ٦-٢-٤-١ تقنيات تقليل انبعاثات الروائح وتحسين الأداء البيئي العام

تتمثل أفضل التقنيات المتاحة لتقليل انبعاثات الروائح وتحسين الأداء البيئي العام، في إجراء القبول المسبق والفرز لمدخلات النفايات؛ لضمان ملاءمة مدخلات النفايات لمرحلة المعالجة، من حيث توازُن المكون العضوي، أو الرطوبة، أو المركبات السامة التي قد تقلل من نشاط التحلل البيولوجي.

الجدول ٦-٠: تقنيات تقليل انبعاثات الروائح وتحسين الأداء البيئي العام.

| | التقنية | الوصف |
|---|---|---|
| أ | معايير القبول المسبق/ القبول والفرز لمدخلات النفايات | - قد تشمل إجراءات القبول المسبق قيام المشغل بإجراء عمليات تدقيق أولية على مورّدي المواد الأولية؛ لضمان تقديم النفايات باستمرار بطريقة مناسبة لعملية معالجة النفايات الخاصة بهم. قد تتضمن حدًّا لعمر النفايات، بحلول الوقت الذي تصل فيه إلى المرفق؛ لمنع قبول المواد شديدة الرائحة.<br>- انتقاء مدخلات النفايات؛ لضمان ملاءمتها لمعالجة النفايات، مثل: تمكين التوازن المناسب للمكون العضوي، وتجنب دخول المركبات السامة (السامة من حيث الحد من نشاط التحلل البيولوجي) إلى محطة المعالجة.<br>- زيادة جودة المواد الأولية إلى أقصى حد، بما يتماشى مع المعالجة. وتشمل التقنيات ما يلي:<br>o ضمان التوازن الصحيح لمحتوى العناصر الغذائية (مثل: النيتروجين والكربون).<br>o تقليل وجود المواد السامة وغير المرغوبة.<br>o تقليل وجود المكونات غير القابلة للتحلل البيولوجي في المدخلات. |
| ب | إدارة التخزين | - يجب تصميم منطقة تخزين مدخلات النفايات العضوية (غير الخشبية) بسطح غير قابل للنفاذية، مع نظام تصريف مُحكم الغلق؛ لمنع دخول أي انسكاب إلى أنظمة التخزين أو خروجه من الموقع، بحيث يمنع التصميم تلوث المياه السطحية النظيفة.<br>- كما يجب تصميم منطقة التخزين للسماح بالتفريغ والتنظيف الكامل، بما في ذلك: التصريف، والسماح بجمع المواد المرتشحة ومياه الغسيل، ونقلها وتصريفها.<br>يتم عرض التقنيات الأخرى المتعلقة بالمرحلة التشغيلية -مثل وقت البقاء- في القسم ٧. |
| ج | مراقبة و/ أو التحكم في العوامل الأساسية للنفايات والعملية | - المراقبة والتحكم في العوامل الأساسية للنفايات، التي تشمل ما يلي:<br>o خصائص مدخلات النفايات (نسبة الكربون إلى النيتروجين وحجم الجزيئات).<br>o درجة الحرارة ومحتوى الرطوبة في مواقع مختلفة من الأكوام.<br>o تهوية الأكوام (وتيرة تقليب الأكوام، تركيز الأكسجين $O_2$ وثاني أكسيد الكربون $CO_2$ أو كليهما في الأكوام، ودرجة حرارة تدفقات الهواء بالتهوية القسرية).<br>o مسامية الأكوام وارتفاعها وعرضها. |

| التقنية | الوصف |
|---|---|
| | - لا تنطبق عمليات التحكم في محتوى الرطوبة في الأكوام على العمليات المغلقة في حال تم تحديد مشكلات تتعلق بالصحة والسلامة أو كليهما. وفي هذه الحالة يمكن التحكم في محتوى الرطوبة قبل ضخ النفايات في مرحلة التسميد المغلق، ويتم تعديله عند خروج النفايات من مرحلة التسميد المغلق. |

### ٦-٢-٤-٢ تقنيات تقليل انتشار الانبعاثات في الهواء

في حالة الأنظمة المفتوحة، تكون الانبعاثات إلى الهواء انبعاثات مشتتة، نظراً لعدم وجود تقنيات للحد منها؛ لذا تهدف إدارة العملية إلى تقليل الانبعاثات إلى الهواء للحد الأدنى، لا سيما الروائح والغبار والهباء الحيوي. ومن الضروري أيضاً اختيار موقع مناسب لمحطة التسميد.

يمكن أن ينتج عن الأنشطة التالية غباراً أو هباءً حيويًّا وروائح:

- حركة المركبات والمعدات حول الموقع.
- تقطيع المدخلات أو المواد المالئة.
- تشكيل الأكوام وتقليبها وملء الحاويات.
- التهوية القسرية للأكوام في الهواء الطلق بدون أغطية.
- غربلة السماد العضوي النهائي.
- رش السوائل المرتشحة عند إعادة استخدامها في عملية التسميد، لا سيما عند استخدام الرشاشات؛ حيث يؤدي إلى إنتاج الهباء الحيوي في المقام الأول.
- الرياح العتيدة.

فيما يلي تدابير محددة لإدارة العملية لتقليل الغبار والروائح والهباء الحيوي. تتم تغطية تدابير عملية التحكم هذه من خلال خطة المرفق لإدارة الانبعاثات المنتشرة، ما لم يثبت كون هذه التدابير غير مجدية أو غير فعالة أو أنها مفيدة في حالات معينة فقط.

الجدول ٦-٧: تقنيات تقليل الانبعاثات المنتشرة.

| التقنية | | الوصف |
|---|---|---|
| أ | استخدام أغطية غشائية شبه نافذه | - تُغطى أكوام التسميد النشطة بأغشية شبه نافذة، وهي طريقة لمعالجة الانبعاثات مثل: الروائح، والأمونيا، والمركبات العضوية المتطايرة، والغبار، والهباء الحيوي.<br>- يتكون الغطاء من أقمشة رقائقية، مع وجود الغشاء كطبقة وسطية بينها باعتباره العنصر الوظيفي. يعتمد الاحتفاظ بالانبعاثات على مزيج من طبقة السائل المكثّف التي تنشأ على السطح الداخلي للغطاء، وتعمل كطبقة غاسلة بيولوجية قادرة على إذابة غالبية المواد الغازية، والسلوك نصف النفاذ للغشاء. وبفعل شدة الجاذبية تتشكل القطرات، وتتقطر بطريقة تحافظ على التبادل المستمر مع المياه غير المشبعة، مما يضمن القدرة على الاحتفاظ بالروائح. كما توفر الأغطية الغشائية نصف النفاذة، كأحد مكونات النظام، الإدارة المثلى للرطوبة أثناء عمليات المعالجة البيولوجية. |

| | التقنية | الوصف |
|---|---|---|
| ب | مُواءمة العمليات مع حالة الظروف المناخية | - يجب مراعاة الظروف المناخية وتوقعاتها عند إجراء أنشطة رئيسة في العمليات الخارجية. على سبيل المثال: ينبغي تجنب تشكيل الأكوام، أو تقليبها، أو الغربلة، أو التقطيع، في حالة أن تكون الظروف المناخية غير مواتية من حيث تشتيت الانبعاثات، كأن تكون سرعة الرياح منخفضة جدًّا أو مرتفعة جدًّا، أو أن تهبَّ الرياح في اتجاه المستقبِلات الحساسة (المدارس والمستشفيات وغيرها).<br>- توجيه الأكوام بحيث تتعرض أصغر مساحة ممكنة من كتلة السماد لاتجاه الرياح السائد؛ وذلك لتقليل تشتيت الملوثات من السطح، كما يُفضّل وضع الأكوام عند أدنى ارتفاع ضمن المخطط الكلي للموقع. |

### ٦-٢-٤-٣ تقنيات تقليل الانبعاثات الموجهة

من أجل تقليل الانبعاثات الموجهة إلى الهواء من الغبار والمركبات العضوية والمركبات ذات الرائحة، بما في ذلك كبريتيد الهيدروجين والأمونيا، يجب أن تُستخدم تقنية أو مزيج من التقنيات من بين أفضل التقنيات المتاحة الواردة أدناه.

**الجدول ٦-٨: تقنيات تقليل الانبعاثات الموجهة إلى الهواء**

| | التقنية | الملوثات النموذجية التي تم الحد منها بفضل المعالجة البيولوجية الهوائية | الوصف |
|---|---|---|---|
| أ | الامتزاز | المركبات العضوية المتطايرة، وكبريتيد الهيدروجين، والمركبات ذات الرائحة | - تشمل مواد الامتزاز النموذجية الكربون الحُبيبي المنشط، والزيوليت، وجزيئات البوليمر دقيقة المسام، والسيليكا جل، وألومينو سيليكات الصوديوم. ويُعَد الكربون الحُبيبي المنشط أكثرها شيوعاً.<br>- يتضمن تطبيق الامتزاز ما يلي:<br>○ استرداد المركبات العضوية المتطايرة (المواد الخام، والمنتج، والمذيب، وما إلى ذلك). لإعادة استخدامها أو تدويرها.<br>○ الحد من الملوثات (المواد الخطرة التي لا يمكن تدويرها أو استخدامها بطريقة أخرى).<br>○ استخدامه كمرشح وقائي بعد المعالجة النهائية بالمرافق.<br>- يُعَد الامتزاز تفاعلاً غير متجانس، يتم فيه الاحتفاظ بجزيئات الغاز على سطح صلب أو سائل؛ ولكونه يُفضل مركبات معينة على غيرها، فبالتالي يتم إزالتها من تدفقات النفايات السائلة، وعندما يمتص السطح قدر الإمكان، يتم إحلال مادة الامتزاز أو امتصاص محتوى الامتزاز. وفي تلك الحالة عادةً ما تكون الملوثات بتركيز عالٍ، ويمكن استردادها أو التخلص منها. |
| ب | المرشح البيولوجي | الأمونيا، وكبريتيد الهيدروجين، والمركبات | - تُمرَّر تدفقات غاز العادم من خلال طبقة من المواد العضوية (مثل: النباتات المتحللة، وحشائش الخلنج، والسماد |

| التقنية | | الملوثات النموذجية التي تم الحد منها بفضل المعالجة البيولوجية الهوائية | الوصف |
|---|---|---|---|
| | | العضوية المتطايرة، والمركبات ذات الرائحة | العضوي، والجذور، ولحاء الأشجار، والخشب الليّن، ومختلف المجموعات)، أو بعض المواد الخاملة (مثل: الطين، والكربون المنشط، والبولي يوريثان)؛ حيث يتأكسد بيولوجيًّا بواسطة الكائنات الحية الدقيقة إلى ثاني أكسيد الكربون وماء وأملاح غير عضوية وكتلة حيوية.<br>- صُمِّم المرشح البيولوجي مع مراعاة نوعية مدخلات النفايات. تُختار مادة مناسبة لتكوين طبقة المرشح، من حيث القدرة على الاحتفاظ بالمياه، والكثافة الظاهرية، والمسامية، والسلامة الهيكلية. من المهم أيضاً الارتفاع ومساحة السطح المناسبين لطبقة المرشح؛ حيث يُوصل المرشح البيولوجي بنظام مناسب للتهوية وتدوير الهواء؛ لضمان توزيع الهواء بدرجة موحدة من خلال طبقة المرشح، وبقاء الغاز العادم داخل طبقة المرشح لفترة كافية.<br>- قد تكون هناك حاجة لإجراء معالجة مسبقة للغاز العادم قبل المرشح البيولوجي (مثل: المعالجة بالماء، أو جهاز تنقية الغاز الحمضي)، في حالة ارتفاع محتوى الأمونيا NH3 (من ٥-٤٠ مجم/متر مكعب عادي)؛ للتحكم في الرقم الهيدروجيني للوسيط، وللحد من تكوين أكسيد النيتروجين $O_2N$ في المرشح البيولوجي. يمكن لبعض المركبات ذات الرائحة الأخرى (مثل: المركابتان، وكبريتيد الهيدروجين HS2) أن تُسبب تحمُّض وسيط المرشح البيولوجي، مما يستلزم استخدام جهاز تقنية الغاز المائي أو القلوي للمعالجة المسبقة للغاز قبل المرشح البيولوجي. |
| د | الأكسدة الحرارية | المركبات العضوية المتطايرة | يتم أكسدة الغازات القابلة للاحتراق في تدفقات غاز العادم، عن طريق تسخين خليط الملوثات مع الهواء أو الأكسجين إلى درجة أعلى من درجة حرارة اشتعالها ذاتيًّا في غرفة الاحتراق، والحفاظ على وجودها في درجة حرارة مرتفعة لفترة كافية؛ لإكمال احتراقها إلى ثاني أكسيد الكربون وماء. |
| هـ | الغسل الرطب | الغبار، والمركبات العضوية المتطايرة، والمركبات الحمضية الغازية (جهاز تنقية الغاز القلوي)، والمركبات القلوية الغازية | تُزال الملوثات الغازية أو الجسيمية من تدفقات الغاز، من خلال نقل الكتلة إلى مذيب سائل يكون غالباً ماء أو محلولاً مائيًّا. وقد ينطوي ذلك على تفاعل كيميائي (مثل: جهاز تنقية الغاز الحمضي أو القلوي). في بعض الحالات يمكن استرداد المركبات من المذيب. |

| التقنية | | الملوثات النموذجية التي تم الحد منها بفضل المعالجة البيولوجية الهوائية | الوصف |
|---|---|---|---|
| | | (جهاز تنقية الغاز الحمضي) | تُستخدم أجهزة تنقية الغاز المائية أو الحمضية أو القلوية مع المرشح البيولوجي أو الأكسدة الحرارية أو الامتزاز على كربون منشط. |
| و | فصل تدفقات الغازات العادمة | | تُقسم مجمل تدفقات غاز العادم إلى تدفقات غازات عادمة ذات محتوى عالٍ من الملوثات، وتدفقات غازات عادمة ذات محتوى منخفض منها. |
| ز | تدوير غاز العادم | | يُعاد تدوير غاز العادم ذي المحتوى منخفض الملوثات في العملية البيولوجية، متبوعة بمعالجته بما يتناسب مع تركيز الملوثات. قد يكون استخدام غاز العادم في العملية البيولوجية مقيداً بدرجة حرارته ومحتوى الملوثات. قد يكون من الضروري تكثيف بخار الماء الموجود في غاز العادم قبل إعادة استخدامه، بحيث يكون التبريد ضروريًا، ويُعاد تدوير المياه المكثفة عندما يكون ذلك ممكناً، أو تُعالج قبل التصريف. |

### ٦-٢-٤-٤ تقنيات تقليل المياه واستخدام المياه

بشكل عام، هناك ثلاثة مصادر رئيسة لمياه الصرف الصحي الناتجة عن تشغيل محطات معالجة التسميد:

- تَسرُّب السوائل المرتشحة من أكوام التسميد التي تحتوي على كمية كبيرة من المواد العضوية، التي من المحتمَل أن تسبب تَخثث المياه السطحية والجوفية والنباتات، ويمكن أن تسبب تلوث التربة، كما أن لديها قدرة عالية على إصدار الروائح.
- مياه الغسيل التي تُستخدم في تنظيف المحطة/ المعدات والأسطح.
- المياه السطحية المتدفقة التي سقطت على مناطق التخزين، أو المعالجة، وقد تكون ملوثة.

**ملحوظة:** مياه الصرف من الأسطح أو من المناطق التي لا تُستخدم لتخزين ومعالجة النفايات، تُعَد مياهاً "نظيفة"، ويمكن تصريفها مباشرة إلى البيئة، أو يمكن استخدامها للحفاظ على رطوبة النفايات، ولتنظيف السيارات، وغيرها.

من أجل تقليل إنتاج مياه الصرف، وكذلك استخدام المياه؛ يجب أن تُستخدم أفضل التقنيات المتاحة، الواردة في *الجدول ٠-*.

الجدول ٦-٠: تقنيات تقليل استخدام مياه الصرف والمياه.

| التقنية | | الوصف |
|---|---|---|
| أ | فصل تدفقات المياه | - تُفصل السوائل المرتشحة عن المياه الجارية السطحية ومياه الغسيل. |
| ب | تدوير المياه | - يُعاد تدوير تدفقات المياه الناتجة عن العملية، أو استخدام أكبر قدر ممكن من تدفقات المياه (المياه المتكثفة، ومياه الشطف، والمياه الجارية السطحية). تُعَد درجة عملية التدوير محدودة بتوازن المياه في المحطة ومحتوى الشوائب (مثل: المعادن |

| | | |
|---|---|---|
| | | الثقيلة، والأملاح، ومسببات الأمراض، والمركبات ذات الرائحة)، وخصائص تدفقات المياه (محتوى العناصر الغذائية). |
| ج | تقليل إنتاج السوائل المرتشحة | - يُحَسَّن المحتوى الرطوبي للنفايات؛ من أجل تقليل إنتاج السوائل المرتشحة. |

الاعتبارات الأخرى:

- يجب تصميم محطات المعالجة البيولوجية للنفايات بقدرة كافية؛ لتجميع المياه الجارية والسوائل المرتشحة والمياه الملوثة وتخزينها.
- تُقلَّل مياه الصرف الناتجة للحد الأدنى، ويُعاد تدويرها، ويُجمع الفائض ويُعالَج مسبقاً أو يُعالَج في الموقع، قبل تصريفه إلى المسطحات المائية الطبيعية، أو نظام الصرف الصحي المركزي.
- يمكن إعادة استخدام مياه الصرف في بداية عملية التسميد؛ لترطيب مواد المدخلات الطازجة في إجراء الخلط بالمرفق، عندما يتطلب تعديل مستوى الرطوبة، أو في وقت لاحق في عملية التسميد إذا كانت المياه الملوثة لا تحتوي على كمية كبيرة من الملوثات التي قد تضر بجودة السماد العضوي الذي يُنتَج.
- عند تحديد الأبعاد المناسبة لخزانات مياه الصرف الوسيطة، يجب مراعاة حجم الموقع وهطول الأمطار؛ للاحتفاظ بالمياه الملوثة من جميع المناطق المرصوفة؛ حيث يُخزَّن السماد العضوي، أو المواد الخام، أو تُعالَج في مناطق مفتوحة غير مسقوفة.
- تغطي المنطقة مُحكمة الغلق مجالات محطة التسميد التالية:
  - منطقة المكبِّ ومنطقة تخزين المدخلات الوسيطة لجميع مواد المدخلات، باستثناء المواد الخشبية (قِطع الأشجار والشجيرات)، أو السماد العضوي النهائي، أو القش، أو المدخلات الجافة غير النشطة بيولوجيًا والغنية بالكربون (إذا سمحت اللوائح التنظيمية بذلك).
  - منطقة تخزين المواد غير الخشبية: كنفايات الطعام والمطابخ والحمأة، ونفايات معالجة الطعام، وجميع المواد ذات المحتوى المائي العالي التي لها قدرة عالية على التخمر.
  - منطقة المعالجة المسبقة التي تُخلط فيها المدخلات، باستثناء المنطقة التي تُقطع فيها المواد الخشبية (قِطع الأشجار والشجيرات).
  - منطقة التحلل النشط والإنضاج، بصرف النظر عما إذا كانت مسقوفة أم لا.
  - منطقة تخزين السماد العضوي الناضج، مع استثناء ما يُتوقع اعتماده من جانب المركز، ومع مراعاة ما يلي كحد أدنى: ١) الترسيب الموضعي. ٢) حماية المياه الجوفية والسطحية. ٣) التغطية بغطاء أو سقف طارد للمياه.
- يجب أن تسمح جميع مناطق التخزين والمعالجة بالتحكم في تصريف جميع السوائل؛ لتجنب الإشباع بالماء عند قاعدة الأكوام أو المدخلات، وتحقيق هذا من خلال بناء بطانة للتسميد على منحدر لتجنُّب ركود الماء. ويُحدَّد الحد الأدنى لانحدار الموقع وفقاً: لارتفاع الأكوام، والترسيب السنوي، ووجود الأسقف، وطريقة التهوية، ووجود أنابيب الصرف والتهوية.

## ٧- متطلبات التشغيل والصيانة

تتضمن الأقسام التالية مجموعة من التقنيات المطبّقة على كل محطات المعالجة الميكانيكية البيولوجية، بهدف تحسين الأداء العام، بناءً على أفضل التقنيات المتاحة، بما في ذلك:

- إجراءات القبول المسبق للنفايات.
- تخزين النفايات.
- إجراءات تخزين النفايات ومناولتها.
- صيانة المرفق والمعدات.
- إدارة المنتج.

### ٧-١ القبول المسبق للنفايات

تهدف إجراءات القبول المسبق للنفايات إلى ضمان ملاءمة نفايات معينة لعمليات معالجة النفايات، تقنيًّا ونظامياً، قبل وصول النفايات للمحطة. وتتطلب إجراءات القبول المسبق للنفايات ما يلي، كتابيًّا أو إلكترونيًّا، قبل وصول النفايات إلى المرفق:

- تفاصيل منتج النفايات، بما في ذلك: اسم مؤسسته، وعنوانها، وتفاصيل التواصل.
- وصف النفايات.
- رمز قائمة النفايات في اللائحة التنفيذية لنظام ادارة النفايات.
- مصدر النفايات.
- تكوين (تصنيف) النفايات (بناءً على عينات تمثيلية إذا لزم الأمر).
- تقدير الكمية التي المُتوقّع تلقيها في كل شاحنة، وعلى مدار العام (الكمية السنوية المتوقعة).

قد يتطلّب الأمر التحقق من المعلومات المقدمة كتابيا، وقد يتطلب الأمر الاتصال بالمنتج أو زيارته، بالإضافة إلى ذلك، قد تظهر عوامل أخرى أثناء التعامل مع الموظفين المسؤولين عن إنتاج النفايات. قد تشمل إجراءات القبول المُسبق أيضًا جمع عينات من النفايات وتحليلها لفهم مكوناتها بشكل أفضل.

### ٧-٢ تخزين النفايات

تهدف إجراءات القبول إلى التأكد من خصائص النفايات، على النحو المحدد في مرحلة القبول المسبق. وتُحدد هذه الإجراءات العناصر التي يجب التحقق منها قبل وصول النفايات إلى المحطة، بالإضافة إلى معايير قبول النفايات ورفضها؛ مما قد يشمل جمع عينات من النفايات وفحصها وتحليلها. وتوفر إجراءات قبول النفايات تفاصيل الخطوات التالية التي ينفذها المُشَغلون عند وصول النفايات إلى المرفق، كما توضح أيضاً أهداف المعالجة.

**القبول:**

- بخلاف حالات الطوارئ، يتلقى المُشَغل فقط النفايات المحجوزة في الموقع، والمتوافقة مع معلومات القبول المسبق.
- تخضع كل النفايات للفحص والتحقق، حول معلومات القبول المسبق ووثائق النقل، قبل استلامها في الموقع.
- يوضع المُشَغل، ويتبع معايير واضحة لا لبسَ فيها لرفض النفايات.
- لا تُستلم النفايات ولا تُقبل إلا تحت إشراف شخص مؤهَّل بشكل مناسب.
- فحص وثائق النقل كافة، والتحقق من صحتها.
- يتأكد المُشَغل من قدرة المرفق اللازمة لاستلام النفايات لكافة مناطق التخزين (مناطق الحَجْر الصحي واستلام النفايات، ومناطق تخزين النفايات العامة والسائلة)، وعمليات المعالجة. ولا تُسَلم النفايات في حال عدم توفر القدرة التخزينية المطلوبة.

**جمع العيّنات:**

بخلاف بعض النفايات، مثل النفايات البلدية الصلبة غير الخطرة (بما في ذلك النفايات الخضراء ونفايات الطعام)، تُجمع العينات الممثلة من كل النفايات المكومة، أو المعبأة في حاويات، وتخضع لاختبار الفحص والتحقق، حيث لا يكفي الاعتماد فقط على المعلومات المكتوبة المقدمة.

- يجب أن تجمع العينة الممثلة في الاعتبار التباين الكامل وتقسيم الحمولة، وأن تراعي أسوأ السيناريوهات المُحتملة.
- يتم جمع العينات في الموقع تحت إشراف طاقم العمل المؤهل. وفي حالة وصول سائق إلى الموقع مع عينة مأخوذة من موقع آخر، يُجرى تقييم كامل المخاطر؛ للتحقق من أن العينة ممثلة بالفعل للموقع الأخر وموثوقة، وأنها لم تُؤخذ إلا لأغراض محددة تتعلق بالصحة أو السلامة (على سبيل المثال: النفايات المتفاعلة مع الهواء أو الماء).
- يُحتفظ بسجل لنظام جمع العينات والتبرير لمواقع وآلية جمع العينات، بالاضافة الى نظام التحكم والتسجيل الالكتروني لعملية جمع النفايات.
- يُحتفظ بعينات النفايات المقبولة في الموقع لفترة زمنية مناسبة (يومين على الأقل)، بعد معالجة النفايات أو إزالتها من المرفق، بما في ذلك جميع النفايات الناتجة عن معالجتها.

**الفحص والتحليل:**

- تَرِد الاختبارات المطلوبة لأغراض التحقق عند القبول (المحتوى المعدني، والهيدروكربونات البترولية الكلية، واللون، والأس الهيدروجيني، والرائحة) في نظام التحكم الالكتروني لعمليات قبول النفايات، والتحقق من امتثال مدخلات النفايات بواسطة المعدات التحليلية (قياس مستوى اللزوجة، والأشعة تحت الحمراء، والتحليل الكروموتوجرافي، والقياس الطيفي الكتلي)، والمختبرات، والموارد البشرية الكافية، إذا لم يكن الفحص البصري ممكناً (لأسباب تتعلق مثلاً بالسلامة المهنية).
- تحليل عينات النفايات من قِبل المختبر، بأساليب اختبار ملائمة ومعتمدة.

**الاستلام:**

تُنتقى مدخلات النفايات لضمان ملاءمتها لمرفق معالجة النفايات، مثل: تحقيق التوازن المُناسب بين العناصر العضوية، وتجنُّب دخول المركبات السامة (السامة من حيث الحد من النشاط البيولوجي) إلى الأنظمة البيولوجية. يُعَد العامل التقني الرئيس لاختيار النظام المناسب، هو قدرته على توفير اتصال مناسب بين المكونات العضوية للنفايات، والمجموعات

الميكروبية. يجب مراعاة خصائص النظام البيولوجي المختار، مثل: التوزيع المنتظم للعناصر العضوية، ومحتوى رطوبة النفايات المطلوب معالجتها (التجانس)، بالإضافة إلى توافر المعالجة المختارة.

كما هو الحال مع إجراءات القبول المسبق، تعتمد إجراءات قبول النفايات على المخاطر، مع الأخذ في الاعتبار الخصائص الخطرة للنفايات، والمخاطر التي تشكلها النفايات من حيث: سلامة العملية، والسلامة المهنية، والتأثير البيئي السلبي، بالإضافة إلى المعلومات المقدَّمة من أصحاب النفايات السابقين، وغيرها.

## ٣-٧ تخزين النفايات العضوية

فيما يلي متطلبات إدارة تخزين مدخلات النفايات القابلة للتحلل وتحسينها:

- تُصمَّم منطقة تخزين المدخلات غير الخشبية القابلة للتحلل بشكل يسمح بإفراغها وتنظيفها، بما في ذلك الصرف عند الحاجة، والسماح بتجميع السوائل المرتشحة ومياه الغسيل بشكل صحيح، ونقلها وتصريفها في أخاديد عبر حوض؛ لاستخدامها في العملية، أو تصريفها في شبكة الصرف، أو نقلها بالصهاريج إلى محطة معالجة الصرف الصحي وغيرها من محطات معالجة النفايات المرخصة، أو استخدامها للأرض في حال يُسمح بذلك.
- تُخزَّن بعض مواد المدخلات الخشبية (الشجيرات السائبة، وقِطع الأشجار) في منطقة مخصَّصة؛ لمزجها مع النفايات الأخرى من نفايات بيولوجية وحمأة، وتُخزَّن بطريقة تقلل من الانبعاثات المتسربة والحرائق.
- يجب أن يتناسب مستوى تدابير الحماية مع مخاطر تلوث المياه السطحية والجوفية أو كليهما، بحيث تحتوي كل مناطق تخزين المدخلات غير الخشبية القابلة للتحلل على سطح منعدم النفاذية، مع نظام تصريف مُحكم الغلق؛ لمنع دخول أي انسكاب إلى أنظمة التخزين أو خروجه من الموقع، حيث يمنع التصميم تلوث المياه السطحية (الأمطار).
- تُخزَّن النفايات في ظروف مناسبة في المنطقة المخصصة، بهدف إدارة التحلل وتولُّد الرائحة وجذب الحشرات وأي حالة أخرى مزعجة أو غير مقبولة، ويمكن تحقيق ذلك من خلال التأكد من معالجة النفايات بسرعة، وتقليل وقت تخزينها.
- بناءً على نوع المدخلات (نسبة الكربون إلى النيتروجين، وقابلية التحلل، وما إلى ذلك)، يُعَد تقدير وقت البقاء الأمثل بالنسبة لنفايات المدخلات المخزنة قبل معالجتها، عاملاً رئيساً لتفادي إنبعاث الروائح في الموقع. ويمكن أن تؤدي النفايات التي لم تُعالَج، والمخلوطة بشكل غير صحيح، إلى زيادة انبعاث الروائح. وقد يفيد التخزين المنفصل لأنواع النفايات المختلفة، في إنتاج منتجات معينة من السماد العضوي.
- يُفضل تخزين النفايات القابلة للتحلل في منطقة مغلقة، وإذا لم يتم ذلك:
  - يُعالَج العشب وأوراق الشجر (سواء عبر الخلط أو التغطية أو تصنيع السيلاج، وما إلى ذلك) في غضون ٧٢ ساعة كحد أقصى.
  - تُعالَج النفايات الأخرى القابلة للتحلل (مثل: نفايات الطعام، ونفايات المطبخ، ونفايات صناعات الأغذية) بالطريقة الواردة أعلاه، في غضون ٢٤ ساعة كحد أقصى.
- عند استخدام المباني المغلقة، تُوفَّر أبواب سريعة للدخول والخروج لعمليات التوصيل والمركبات الأخرى، وتُتخَذ تدابير مناسبة أخرى لتقليل الانبعاثات المنتشرة من مناطق التفريغ (مثل الستائر الهوائية). ويجب تحديد حجم المباني، بحيث يسمح بتنفيذ عمليات التفريغ داخلها مع إغلاق الأبواب، ويمكن المساعدة في ذلك عن طريق استخدام بوابات أوتوماتيكية يتم التحكم فيها من خلال مستشعِرات أو بوابات قلابة، مع مراعاة الأبعاد الكافية لمنطقة الحركة أمام القاعة. وينبغي إدراك أن انضباط موظفي القاعة وأسطول المركبات له نفس القدر من الأهمية لتحقيق أقصر وقت ممكن لعمليات الفتح. أما ما يخص المستودعات تحت الأرضية التي تقترب منها المركبات

بالخلف ثم تقلب حمولتها فيها، فقد يكون تركيب ستارة بأبعاد المركبة خلف الباب الفعلي وسيلة فعالة لتقليل تبادل الهواء أثناء التفريغ للحد الأقصى.

- عندما يتطلب أن تكون منطقة تخزين النفايات في مبنى مغلق، فيجب أن يشتمل المبنى على نظام تهوية آخر للحد من الانبعاثات؛ لإبقاء المبنى تحت ضغط الهواء السلبي؛ من أجل تقليل الروائح المتسربة والغبار المتسرب منه. ويُجمَّع هواء العادم بحيث يمكن إعادة استخدامه لتهوية أكوام التسميد قبل التصريف والمعالجة.
- في حالة تخزين المادة الوسيطة من النفايات الخضراء المفصولة في المصدر، ونفايات الطعام من المنازل (في البلدان التي يُسمح فيها بذلك في الهواء الطلق)، تُثَبت الحماية المادية (أسوار، وجدران، وأغطية) ضد انجراف الجزيئات الخفيفة (الملوثات مثل البلاستيك) بفعل الرياح، أو يتم جمعها وازالتها من السطح.

## ٧-٤ إدارة المنتج

تنطوي هذه التقنية على إنشاء وتنفيذ نظام إدارة جودة المخرجات، يضمن توافق مخرجات معالجة النفايات مع التوقعات المرجوة. وبالرغم من الحاجة إلى السماد العضوي في القطاع الزراعي، إلا أن بعض المزارعين قد يمتنعون عن شراء السماد الناتج من عمليات المعالجة البيولوجية للنفايات -حتى لو كانوا بحاجة إليه- بسبب انخفاض مستويات الثقة في جودة السماد العضوي ونفايات الهضم اللاهوائي الناتجة. لذلك، يُفضّل قيام نظام إدارة المخرجات بمراقبة أداء معالجة النفايات وتحسينه، ولهذا قد يتضمن تحليل تدفق المواد للمكونات ذات الصلة في كل مراحل معالجة النفايات. ويجب أن يعتمد استخدام تحليل تدفق المواد على المخاطر، مع مراعاة الخصائص الخطرة للنفايات، والمخاطر التي تُشكلها النفايات، من حيث: سلامة العملية، والسلامة المهنية، والتأثير البيئي السلبي، بالإضافة إلى المعلومات المقدَّمة من جانب أصحاب النفايات السابقين. ومن الضروري التأكد من امتثال المخرجات للمعايير الموضوعة، ويجب أن يكون لدى كل مرفق للمعالجة البيولوجية إجراءات مُطَبقة لفحص جودة المخرجات والتحقق منها.

فيما يتعلق بالغاز الحيوي، يجب مراقبة تدفقه باستمرار، بالإضافة إلى جودته وتكوينه. وينبغي مراعاة ما يلي:

- مستويات كبريتيد الهيدروجين في الغاز الحيوي؛ لتحديد كفاءة طرق الإزالة المطبقة. ويمكن تنفيذ ذلك، من خلال مراقبة معدات تنظيف الغاز قبل التنظيف وبعده.
- إذا تم استخدام الأكسجين لإزالة الكبريت من الغاز الحيوي، يجب مراقبة مستويات الأكسجين. ويجب توفير أجهزة الإنذار عالية المستوى التي تُضبط لإيقاف إضافة الأكسجين تلقائيًا قبل الوصول إلى الحد الأدنى لمُسببات الانفجار.
- إذا استُخدمت مرشحات الكربون، على سبيل المثال، لتنظيف الغاز قبل احتراقه؛ فيجب تنفيذ إجراءات لتقليل خطر التفاعلات الناشرة للحرارة التي تحدُث أثناء صيانتها، ويمكن ذلك عن طريق التطهير بالنيتروجين.
- فحص كافة معدات تخزين الغاز ومحطة المعالجة، ويتم صيانتها واختبارها بشكلٍ روتيني، وفقاً لتوصيات الشركة المصنِّعة. يجب تسجيل كل عمليات الفحص والصيانة الروتينية وغير الروتينية.

## ٧-٥ صيانة المرفق والمعدات

تُعَد صيانة المرفق والمعدات عنصراً حاسماً في العمليات اليومية في أيٍّ من مرافق المعالجة؛ لأنها ستسمح بالحفاظ على ارتفاع مستويات الأداء وجودة المنتج.

وفيما يلي، بعض الاعتبارات المتعلقة بصيانة المرفق والمعدات، التي يجب اتباعها في مرفق المعالجة البيولوجية للنفايات:

- إجراء الصيانة الوقائية بشكلٍ متكرر للمعدات المستخدمة في عمليات المعالجة المسبقة (مثل: التقطيع، وما إلى ذلك)، بالإضافة إلى عمليات المعالجة البيولوجية.

- الاختبار الدوري لمعدات التخزين؛ للبحث عن علامات تدهور السلامة الهيكلية، إن وُجدت.
- فحص المرفق بانتظام؛ بحثاً عن الشقوق، والمعدات البالية، والتسريبات، وما إلى ذلك.
- تنظيف الأرضيات والجدران بشكل متكرر ودوري.
- يجب إزالة النفايات من فتحات التصريف، إن وُجدت.

تُوصي أفضل الممارسات بإجراء صيانة المعدات بشكل دوري وخارج ساعات العمل الرئيسية، لمنع تعطل المعدات، وكذلك منع صيانة المعدات المشغلة التي يمكن أن تمثل مخاطر صحية جسيمة.

## ٨- اعتبارات الصحة والسلامة

### ٨-١ الصحة المهنية

وفقاً للمادة رقم (١٠٥) من القسم الرابع للائحة التنفيذية لنظام إدارة النفايات، على مقدمي الخدمات الالتزام بضوابط واشتراطات المركز بشأن مؤهلات العاملين بمرفق إدارة النفايات واللياقة البدنية والقدرة الصحية، وإجراءات الدخول والخروج، وتأمين المرفق بالأدوات والمعدات اللازمة التي تمنع أو تحدُّ من دخول غير المختصين إلى المرفق.

لمنع المخاطر التي قد يتعرض لها العمال، لا سيما المخاطر البيولوجية المرتبطة باستنشاق الهباء الحيوي والغبار، يجب إجراء كل العمليات في المرفق داخل مركبات مكيفة، أو إذا أُجريت يدويًّا، يجب على العمال ارتداء معدات وقاية مناسبة، مثل: الرداء الذي يُستخدم لمرة واحدة، وقفازات وأحذية السلامة، وأقنعة التنفس المزودة بمرشح للغبار، ونظارات السلامة، وخوذات السلامة (راجع *الشكل ٨-٠*). علاوةً على ذلك، يجب مراعاة ما يلي وإبلاغ الموظفين به:

- النظافة الشخصية عند دخول المحطة والخروج منها. يجب على صاحب العمل أن يتأكد بانتظامٍ من نظافة ملابس جميع العمال، ويجب تجهيز الخزائن ومرافق الاستحمام والمراحيض بأماكن منفصلة للمعدات النظيفة والمتسخة.
- التدريب الكافي للعاملين بكيفية التعامل مع النفايات واستخدام المعدات.
- إجراء الفحوصات الطبية الدورية المتعلقة بالمخاطر الأكثر احتمالاً: العوامل البيولوجية، والغبار، والضوضاء، والاهتزازات (لمن تشمل أنشطتهم العمل على المعدات والآليات بالموقع، أو غيرهم).
- السماح بالتدخين والأكل وتناول المشروبات فقط في الأماكن المخصصة لذلك.

ويجب أن تكون المرافق الإنشائية المؤقتة موجودة في الموقع كحد أدنى؛ لتوفير الإقامة لموظفي الموقع. ويجب تصميم هذه المرافق الإنشائية لتوفير الآتي:

- مساحات مكتبية لمهام إدارة الموقع العامة وإدارة السجلات.
- المرافق الصحية (دورات المياه وغيرها) لموظفي الموقع والزوار.
- مكان لتخزين معدات الموقع وأغراض الصيانة.
- منطقة إسعافات أولية مجهَّزة بالكامل للحوادث الطفيفة.

يجب أن تكون كل الهياكل موجودة في منطقة مناسبة من الموقع، للسماح بالتحكم في الأنشطة اليومية، مع مراعاة جوانب الصحة والسلامة أيضاً.

## ٨-٢ معدات السلامة

يجب أن تكون مرافق النفايات المرخصة كافة، مجهَّزة بما يلي:

- معدات الوقاية الشخصية المناسبة لنوع النفايات التي يتم التعامل معها، بما في ذلك النفايات الخطرة، لجميع الموظفين المعنيين. تتضمن معدات الوقاية الشخصية كحد أدنى، ما يلي:
  - معدات حماية العينين، مثل: نظارات السلامة، أو النظارات الواقية، أو القناع.
  - قفازات من المواد المناسبة، لمنع اختراق الأشياء الحادة أو المواد الكيميائية، وفقاً لما يتم التعامل معه.
  - الأحذية الواقية.
  - خوذات السلامة في حالة العمل أسفل عوارض بمكونات مرتفعة.
  - توفير الحماية/ التغطية المناسبة للبشرة.
  - أقنعة الوجه؛ لمنع استنشاق الجسيمات والغبار في الأجواء المُترِبة، وحيثما يعمل الأفراد داخل المنشأة، أو في مكان وجود المركبات.
  - سترات عالية الوضوح، أو ما شابه ذلك.
- نظام اتصالات أو إنذار داخلي قادر على توفير تعليمات أو تحذيرات فورية في حالات الطوارئ لجميع الموظفين.
- جهاز، مثل الهاتف (متوفر على الفور في مكان العمليات)، أو جهاز لاسلكي محمول باليد، قادر على طلب المساعدة في حالات الطوارئ من أقسام الإطفاء المحلية، أو سيارات الإسعاف، أو فِرق الاستجابة في حالات الطوارئ.
- تجهيز مناطق تخزين النفايات القابلة للاحتراق أو للاشتعال، بالكشف التلقائي عن الدخان، وعند الضرورة الرشاشات الآلية أو غيرها من أنظمة إخماد الحريق.
- طفايات الحريق المحمولة، وأجهزة مكافحة الحرائق (بما في ذلك معدات الإطفاء الخاصة، مثل تلك التي تَستخدم الرغوة أو الغاز الخامل أو المواد الكيميائية الجافة)، ومواد مكافحة الانسكاب ولوازم إزالة التلوث.
- المياه بحجم وضغط كافِيين؛ لتوفير الخراطيم والمعدات المنتِجة للرغوة، إذا كان ذلك مناسباً.

يجب اختبار كل معدات الوقاية الشخصية ومعدات الطوارئ بانتظام، وصيانتها؛ لضمان التشغيل السليم. وعندما تُخَزَّن النفايات القابلة للاحتراق أو النفايات الخطرة القابلة للاشتعال أو تُعالَج، فمن الجيّد وَضْع خطة للوقاية من الحرائق وإدارتها، ويُتفق عليها مع خدمات الطوارئ ذات الصلة، وتُعتمد من المركز الذي يغطي إدارة النفايات القابلة للاحتراق أو للاشتعال، إضافة إلى معدات كشف الحرائق، وإخمادها، ومكافحتها، وإجراءات الطوارئ.

الشكل ٨-٠: معدات الحماية أثناء العمل ٥(Cre، ٢٠١٨).

## ٨-٣ التدريب المهني والشهادات

يستوجب تشغيل المرافق من قِبل موظفين مؤهَّلين ومدرَّبين. لذلك، يجب أن يوفر مقدِّم خدمة مرافق المعالجة البيولوجية تدريباً وتثقيفاً مناسبين لموظفيه بشكل منتظم؛ للتأكد من جاهزيتهم لإدارة تدفقات النفايات بأمان. علاوةً على ذلك، يضمن مقدِّم الخدمة تقديم شهادة داخليًّا، أو عن طريق أطراف خارجية تُثبت لياقة العمال وصحتهم بشكل سنوي.[7]

يجب أن يكون مستوى التوظيف والتدريب وطبيعتهما كافِيين للإدارة البيئية المسؤولة والآمنة لمرافق المعالجة البيولوجية للنفايات. ويتعين أن تضمن مستويات التوظيف، أن المرفق يمتثل في جميع الأوقات لجميع أحكام ترخيصه. علاوةً على ذلك، يجب أن تنطوي تدريبات الموظفين على ما يلي:

- تخطيط الموقع، بما في ذلك مناطق المعالجة والتخزين المختلفة، ووظائفها، وموقع معدات الطوارئ.
- نظرة عامة على النفايات المستلمة لمعالجتها في المحطة، والعمل عليها، ومعالجتها، وتخزينها قبل المعالجة وبعدها، ونقلها والتخلص منها وإدارتها.
- خصائص النفايات التي سيتعاملون معها وكيفية إدارتها، بما في ذلك الفئات المختلفة لأي نفايات خطرة.
- يحظى جميع الموظفين الذين يفحصون النفايات العضوية الواردة بمهارة تحديد النفايات العضوية غير المقبولة، ليتمكنوا من تسجيل البيانات بدقة.
- الأخطار التي تمثلها النفايات، وطرق منع أي خطر أو تخفيفه.
- يتمتع جميع مشغلي المعدات المتحركة بالمحطة بمهارة تنفيذ كافة المهام المنوطة بهم.
- معدات الوقاية الشخصية، والغرض منها، وكيفية استخدامها، والعناية بها، ومتى يتم تغييرها.
- استخدام مجموعات الإسعافات الأولية، ومعدات الطوارئ الطبية.
- يجب تدريب جميع الموظفين على تحديد الإجراءات أو السلوكيات التي يُحتمل أن تسبب آثاراً ضارة على صحة الإنسان والبيئة نتيجةً لتشغيل المرفق، وكيفية منعها أو تقليلها.

تختلف متطلبات التوظيف باختلاف نوع المرفق وحجمه، ونوع المواد العضوية التي يتم استلامها وإدارتها ومعالجتها في المرفق، ووفقاً لتنوع عمليات المرفق وتعقيدها.

تدريب الموظفين: ويشمل ذلك تطوير وتنفيذ وتوثيق برامج التدريب لجميع الموظفين في مرفق استرداد المواد. وقبل بَدء العمل الذي ينطوي على التعامل مع المواد الكيميائية أو النفايات الخطرة. يجب أن يكون جميع الموظفين على دراية بالخصائص الخطرة ذات الصلة، ويجب تزويدهم بتعليمات واضحة حول كيفية التعامل مع حالات الطوارئ. يتضمن هذا التوجيه أو التدريب ما يلي كحد أدنى:

- كيفية الإبلاغ عن حريق، أو إصابة، أو انسكاب كيميائي، أو أي حالة طوارئ أخرى.
- موقع معدات الطوارئ، مثل: دُش السلامة، وغسول العينين، ومجموعات الإسعافات الأولية.
- موقع طفايات الحريق ومعدات التحكم في الانسكاب.
- مواقع جميع المخارج المتاحة للإخلاء.
- أسماء وأرقام هواتف مُنسق الطوارئ المُعين والمناوب.

يجب الاحتفاظ بالوثائق والسجلات المتعلقة بالتدريب في المرفق. يجب أن تتضمن تلك السجلات: المسمى الوظيفي لكل شخص، واسم الموظف الذي يشغل هذا المنصب. توصيف المناصب الوظيفية كتابيًّا لكل منصب، بالإضافة إلى سجلات

---

[7] (The Implementing Regulations of the Waste Management Law, 2021)

تُوثق أن الموظف الذي يشغل هذا المنصب قد أكمل التدريب، أو يملك الخبرة الوظيفية بشكل ملائم. كما يجب أن تحتوي الملفات على سجلات التدريب على الموظفين الحاليين والموظفين السابقين لمدة ثلاث (٣) سنوات.

## ٨-٤ خطط إدارة الحوادث

يجب وضع خطة لإدارة الحوادث (تتم مراجعتها مرة واحدة على الأقل كل ثلاث سنوات، أو في حالة وقوع حادث) التي تحدد:

- احتمال وقوع الحوادث وعواقبها.
- وإجراءات منع الحوادث والتخفيف من أي عواقب.

تتضمن خطة إدارة الحوادث المنظمة ما يلي:

- تحديد المخاطر على البيئة التي تُشَكلها مرافق المعالجة.
- قد تشمل المجالات المحددة التي يجب مراعاتها: أنواع النفايات، الردم الزائد للحاويات، عطل المعدات (مثل: الضغط الزائد للحاويات والأنابيب، والمصارف المسدودة)، فشل الاحتواء (مثل: استخدام السد أو الردم الزائد لأحواض الصرف)، الفشل في احتواء مياه مكافحة الحرائق، تثبيت الوصلات الخاطئة في المصارف أو الأنظمة الأخرى، منع المواد غير المتوافقة من التلامس، تجنُّب التفاعلات غير المرغوب فيها، تسرب النفايات السائلة قبل الفحص الكافي لتركيبتها، حالات التخريب/ الحرق العمد، والظروف الجوية القاسية مثل السيول والرياح العاتية.
- تقييم كل مخاطر الحوادث (الخطر مضروباً في معدل الاحتمالية) وعواقبها المحتمَلة. بعد تحديد المخاطر، يمكن تناول عملية تقييم المخاطر بوصفها تتصدى لستة أسئلة أساسية:
  - ما الاحتمال المقدر لحدوثها؟ (المصدر، الوتيرة).
  - ما الذي يمكن أن ينبعث، وما كميته؟ (تقييم مخاطر الحدث).
  - إلى أين يذهب تحديداً؟ (التنبؤات بالانبعاثات - ما المسارات والمستقبِلات؟).
  - ما العواقب؟ (تقييم العواقب - الآثار على المستقبِلات).
  - ما الخطر العام؟ (تحديد إجمالي المخاطر وحِدتها بالنسبة للبيئة).
  - ما التدابير الممكنة لمنع أو تقليل المخاطر؟ (إدارة المخاطر - تدابير منع الحوادث والحد من عواقبها البيئية).

تحديد مخاطر الحريق على وجه الخصوص التي قد تتشكل على سبيل المثال من خلال:

- الحرق العمد أو التخريب.
- الاحتراق الذاتي (على سبيل المثال: بسبب الأكسدة الكيميائية).
- عطل المحطة أو المعدات، والأعطال الكهربائية الأخرى.
- المصابيح المكشوفة، ومواد التدخين المهمَلة.
- الأعمال على أسطح ساخنة (اللحام أو القطع)، والسخانات الصناعية، والعوادم الناتجة عن تلك الأعمال.
- التفاعلات بين المواد غير المتوافقة.
- أنشطة المواقع المجاورة.
- الشرر من دلاء التحميل.

- الحمولات الساخنة المُخزنة في الموقع.

يعتمد عمق ونوع التقييم على خصائص المرفق وموقعها، وقد أُخذت في الاعتبار العوامل التالية:

- حجم وطبيعة مخاطر الحوادث التي يمثلها المرفق والأنشطة.
- المخاطر على مناطق السكان والبيئة (المستقبِلات).
- طبيعة المحطة، وتعقيد الأنشطة، والصعوبة النسبية.
- البتُّ في مدى كفاية تقنيات التحكم في المخاطر وتبريرها.

- تحديد أدوار ومسؤوليات الموظفين المشاركين في إدارة الحوادث. إلى جانب ذلك، تتوفر إرشادات واضحة حول كيفية إدارة كل سيناريو حادث، على سبيل المثال: الاحتواء أو التشتيت لإطفاء الحرائق أو السماح بالاحتراق.
- إنشاء طرق اتصال مع الجهات ذات الصلة وخدمات الطوارئ قبل وقوع الحادث، وفي حال وقوعه تشمل إجراءات ما بعد الحادث تقييماً للضرر الذي قد يكون قد حدث، وإجراءات الإصلاح التي يجب اتخاذها.
- وضع إجراءات الطوارئ، بما في ذلك إجراءات الإغلاق الآمن وإجراءات الإخلاء.
- يجب تعيين موظف مُؤهل كمنسق للطوارئ في المرفق، ليتولى مسؤولية القيادة لتنفيذ الخطة. من المهم أن توفر المرافق التدريب لموظفيها؛ لأداء واجباتهم بفعالية وأمان، ومعرفة كيفية الاستجابة لحالات الطوارئ.

# ٩- تسجيل البيانات ورصدها واعداد التقارير

## ٩-١ تسجيل البيانات

يتحمل مشغل مرفق المعالجة البيولوجية مسؤولية تنفيذ واستخدام وصيانة نظام تتبع النفايات الإلكتروني؛ للاحتفاظ بمعلومات مُحَدثةً حول السعة المتاحة للأجزاء المختلفة من مرفق المعالجة البيولوجية، والتأكد من تمتع المرفق بالقدرة الكافية لتخزين النفايات المقبولة الواردة ومعالجتها. يقوم مقدم الخدمة (مشغل المحطة) بتسجيل البيانات المتعلقة بالنفايات، ومراقبتها، ورفع تقارير بها وفقاً لمتطلبات الترخيص الصادرة عن المركز. ويرد فيما يلي الحد الأدنى من المعلومات التي يتعين تحديثها:

- تفاصيل كل النفايات المستلَمة في الموقع بما في ذلك التاريخ والوقت، ومصدر النفايات، وطبيعتها، بما في ذلك تفاصيل المنتج الأصلي، وأي رمز (رموز) نفايات، بالإضافة إلى الوزن، وتفاصيل الناقل، والمركبة، والسائق.
- تفاصيل أي حالات عدم مطابقة ورفض، بما في ذلك ملاحظات الشحن للنفايات المرفوضة بسبب خطورتها.
- تفاصيل المنتجات الخارجة التي تم الحصول عليها بعد معالجة النفايات في المرفق، بما في ذلك الوزن والوجهة النهائية. في حالة رفض المخلفات وإعادة توجيهها إلى مرافق نفايات أخرى، ستشمل المعلومات المسجلة أيضاً تفاصيل الناقل والمركبة والسائق.
- التفاصيل المتعلقة بمدة المخرجات المخزنة داخل الموقع في انتظار الاسترداد أو التدوير.
- أي حوادث أدت أو يمكن أن تؤدي إلى إطلاق غير خاضع للرقابة، أو غير مسموح به من الموقع، مثل: تسرُّب النفايات إلى نظام تصريف المياه السطحية.
- أي حوادث تنطوي على نفايات، أو مركبات نقل نفايات، أو نفايات معالجة في المرفق، قد تؤدي إلى إصابة الموظفين أو الجمهور، أو إلحاق أضرار جسيمة بالممتلكات.

يتعين أن يكون نظام تسجيل النفايات قادراً على إنتاج معلومات بشأن تدفقات النفايات المقبولة للمعالجة في مرفق النفايات، على النحو التالي (بحد أدنى):

- إجمالي كمية النفايات الموجودة داخل الموقع في أي وقت.
- تحليل كميات النفايات المخزنة في انتظار المعالجة في الموقع، أو في انتظار النقل المستقبلي.
- مكان وجود مجموعة النفايات بناءً على مخطط الموقع.
- كمية النفايات في الموقع مقارنةً بالحدود المنصوص عليها في الترخيص/ التصريح.
- المدة الزمنية المستغرقة لوجود النفايات في الموقع مقارنةً بالحدود الواردة في التراخيص والتصاريح.

**ملاحظة:** بالإضافة إلى ما سبق، يجب على مقدمي الخدمات تسجيل كافة البارامترات المتعلقة بالبيئة، ومراقبتها، ورفع تقارير بها (جودة المياه، وجودة الهواء، والضوضاء، والغبار، وما إلى ذلك)، وفقاً لمتطلبات التصريح البيئي الصادر للمرفق من السلطة المختصة (المركز الوطني للرقابة على الالتزام البيئي).

## ٩-٢ عمليات التفتيش والتدقيق البيئي الدورية

يجب مراقبة كل مرفق، إما بشكل عشوائي، أو على فترات منتظمة؛ لضمان تشغيل الموقع وفقاً لما يلي:

- خطة العمل المتفق عليها مع المركز، والمدرجة في الترخيص.
- أي شروط مبينة في الترخيص صادرة عن المركز.

وينبغي تنفيذ مهام المراقبة المذكورة من قِبل الشخص المسؤول المعين الذي ينبغي أن يضطلع *بجملة أمور أخرى كما* يلي:

- إجراء عمليات فحص دورية، ولكن غير منتظمة؛ للتحقق من سلامة المعدات داخل المرفق، ولمنع وتقليل مخاطر الحوادث الكبرى، ومن أجل ضمان أن كافة عمليات الاحتواء الأوَّلي والثانوي مناسبة للغرض.
- ينبغي على الشخص المسؤول طرح الأسئلة على المسؤولين عن التعامل مع النفايات، حول ما إذا كانوا قد واجهوا أي مشكلات، وما الاقتراحات -إن وُجدت-؛ وذلك لأغراض التحسين.
- يجب مراجعة البيانات الخاصة بمدخلات ومخرجات النفايات، وكمية وأنواع النفايات المختلفة الموجودة في المخزن، مقارنةً بكمية النفايات المرئية في منطقة التخزين المؤقتة، وأي اختلافات لُوحظت، والتصرف بناءً عليها.

## ٣-٩ رفع تقارير بيانات النفايات

يجب على الشخص المعيَّن استخدام البيانات المسجلة أعلاه؛ لمراقبة إنتاج وإدارة النفايات داخل مرفق المعالجة البيولوجية للنفايات بشكل مستمر. يجب على الشخص المعيَّن إعداد تقارير بشأن كافة الجوانب المتعلقة بالنفايات، مثل: الإنتاج، والتخزين، والنقل، والمعالجة، وتقديم نسخة منها إلى الجهات ذات الاختصاص داخل المركز بشكل دوري على النحو الذي تحدده هذه الجهات.

يجب رفع كافة التقارير وفقاً لمتطلبات الترخيص الصادرة عن المركز، التي يمكن أن تكون شهرية أو سنوية، ويمكن أن تتضمن البيانات المقرر الإبلاغ عنها، مثل ما يلي:

أ- البيانات العامة:

- اسم المرفق، وعنوانه، ورقم التصريح.
- الموقع (على سبيل المثال: عنوان الموقع الذي تُنفَّذ فيه الأعمال).
- الاسم وبيانات التواصل المفضَّلة للشخص المسؤول عن تسجيل البيانات ورفع التقارير.

ب- بيانات عن النفايات المعالجة داخل المرفق:

- كمية النفايات المقبولة داخل المرفق مُقدرةً بعدد تدفقات ومجموعات النفايات، بما في ذلك أي رمز للنفايات.
- إجمالي كمية المخرجات بالطن (السماد العضوي، ومخلفات الهضم اللاهوائي، والغاز الحيوي) المنتجة داخل المرفق، خلال الفترة التي يغطيها التقرير.
- إجمالي كمية المخرجات بالطن (السماد العضوي، ونفايات الهضم اللاهوائي، والغاز الحيوي) المزالة للاستخدام، أو التخلص منها من المرفق خلال الفترة التي يغطيها التقرير.
- نتائج الاختبار التحليلي للمخرجات القابلة للتسويق (السماد العضوي، ونفايات الهضم اللاهوائي، والغاز الحيوي)، وكذلك كل النفايات السائلة المقرر التخلص منها، أو التي ستخضع لمزيدٍ من المعالجة.
- كمية النفايات أو المنتجات المنتظَر نقلها.

ج- البيانات المتعلقة بمقدمي الخدمات:

الملحق ١ يعرض جدولاً يمكن استخدامه كقالب لتسجيل بيانات النفايات ورفع تقارير بها.

يجب تزويد المركز بالسجلات والوثائق عند طلبها، كما أن عدم الالتزام بذلك يعد مخالفاً للنظام.

وبالإضافة إلى ذلك، على المركز أن يحلل البيانات الواردة من كل مرفق، لمقارنة كميات مختلف فئات النفايات المُبلّغ عنها، وبيان الأسباب أو التفسيرات لأي اختلافات كبيرة.

# الملحق ١ رفع تقارير بالبيانات – نموذج

## أ- المعلومات العامة

- اسم مرفق النفايات.
- مكان الموقع.
- الفترة المشمولة بالتقرير وتاريخ الإنجاز.
- الاسم وتفاصيل التواصل بالشخص الذي قام بتعبئة البيانات واعتماد الأرقام.

## ب- معلومات عن الموارد والنفايات

ب-١ النفايات المعالجة

| م. | النفايات المستلمة في المرفق | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | مُنتِج النفايات | ناقل النفايات | تدفق/مجموعة النفايات | رمز النفايات | الكمية بالطن |
| ١ | | | | | |
| ٢ | | | | | |

ب-٢ منتجات ما بعد المعالجة

| م. | النفايات/المنتجات | إجمالي الكمية | الكمية الموجهة إلى الغير، بالطن | الكمية في المخزن، بالطن |
|---|---|---|---|---|
| ١ | المواد القابلة للتدوير، بالطن | | | |
| | - الورق/ الكرتون | | | |
| | - الزجاج | | | |
| | - البلاستيك | | | |
| | - مواد أخرى | | | |
| ٢ | الوقود المشتق المسترد/ الوقود المسترد الصلب، بالطن | | | |
| ٣ | نفايات الهضم اللاهوائي / السماد العضوي، بالطن | | | |
| ٤ | رشيح نفايات الهضم اللاهوائي، بالطن | | | |
| ٥ | إنتاج الغاز الحيوي، بالمتر المكعب | | | |
| ٥ | النفايات المرفوضة، بالطن | | | |

## ج- معلومات بخصوص الغير

- معلومات عن ناقلي النفايات.

- تفاصيل الجهات التي قامت بشراء المنتجات، بما في ذلك الاسم والعنوان وكمية النفايات/ المواد المشتراة (حسب تدفق النفايات والإجمالي).