

الفصل الثامن

المعالجة البيولوجية للمخلفات العضوية

Biological Treatment for Biowaste

8-1- مقدمة (Introduction)

إن زيادة عدد السكان، والتطور الكبير الذي حصل في القرن الماضي أدى إلى زيادة كمية النفايات المتولدة بنسبة كبيرة نتيجة النشاطات البشرية. وهذا ما جعل الحاجة ملحة إلى البحث عن الطرق المناسبة من أجل التخلص من هذا الكم الهائل من النفايات. في الماضي كان الناس يتخلصون من نفاياتهم عن طريق الطمر، حيث أن مساحات كبيرة من الأراضي استخدمت من أجل طمر النفايات. لكن نقص الأراضي المتوفرة لعملية الطمر، إضافة إلى الوعي البيئي بالمخاطر الناجمة عن عملية طمر النفايات، والمتمثلة بتلوث التربة والمياه الجوفية، أدى إلى البحث عن طرق بديلة أكثر فعالية وأكثر اقتصادية لمعالجة النفايات والتخلص النهائي منها تتناسب مع تركيب النفايات وخصائصها كطرق التدوير والأسمدة والتخمير اللاهوائي.

في معظم الدول النامية ومنها الدول العربية تعتبر النفايات البلدية نفايات عضوية، حيث يشكل المحتوى العضوي نسبة تصل حتى 70% من تركيب تلك النفايات. في سوريا على سبيل المثال تشكل النفايات العضوية (بقايا الطعام والنفايات الخضراء) نسبة 60 % وسطياً من كمية النفايات البلدية المتولدة يومياً كما هو مبين في الشكل (8-1). كما تصنف سوريا ضمن البلدان الزراعية، حيث تعتمد في اقتصادها على الإنتاج الزراعي والحيواني. وينتج عن قطاعي الزراعة وتربية الحيوانات نفايات كثيرة تعتبر بمجملها عضوية يمكن استردادها والاستفادة منها عبر تحويلها إلى سماد عضوي وغاز حيوي يحول إلى طاقة كهربائية وحرارية.

النفايات العضوية (Biowaste) هي النفايات القابلة للتفكك البيولوجي، بواسطة الأحياء الدقيقة، والتي تنشأ عن إنتاج أو تربية أو تصنيع أو استهلاك المنتجات الحيوانية والنباتية.

تبعاً لمحتواها من المادة العضوية ومن الشوائب نميز بين:

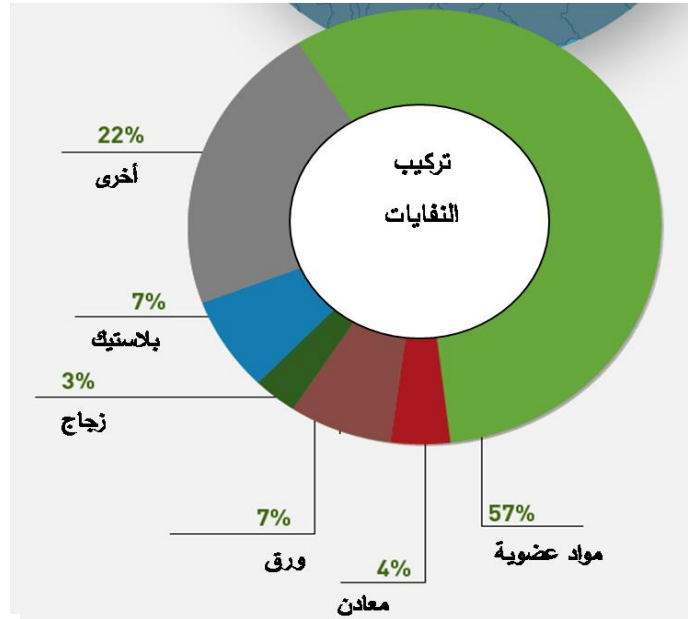
- نفايات مفروزة تتألف بنسبة كبيرة منها من المواد العضوية
- خليط نفايات تشكل المادة العضوية جزءاً محدداً منه

إن اعتماد الطريقة المناسبة لمعالجة النفايات العضوية يستند بدرجة كبيرة على نسبة الشوائب فيها، وعلى خواصها الفيزيائية والكيميائية، وكذلك إلى الهدف النهائي من

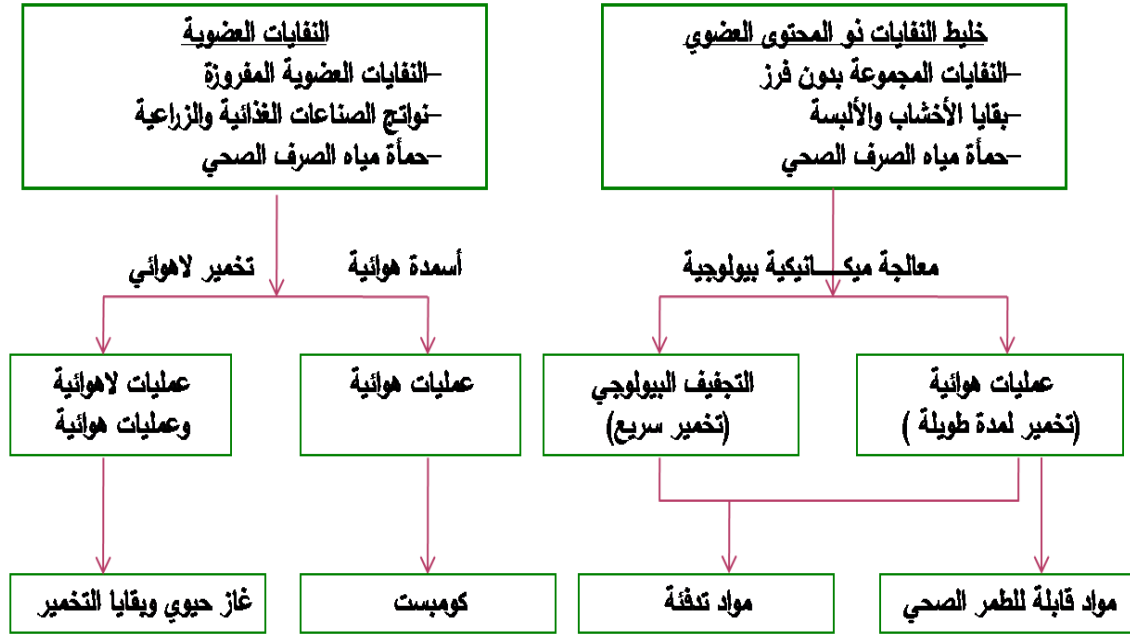
عملية المعالجة برمتها. وبناء على ذلك فإنه يمكن معالجة النفايات العضوية بالطرق التالية (انظر الشكل (8-2):

- الطريقة الهوائية أو الأسمدة الهوائية (Composting) للنفايات العضوية المفروزة.
- الطريقة اللاهوائية أو طريقة التخمير اللاهوائي (Anaerobic Digestion) للنفايات العضوية المفروزة ذات الرطوبة العالية.
- المعالجة الميكانيكية البيولوجية للنفايات التي تم جمعها بدون فرز (خليط النفايات).

إن هدف المعالجة البيولوجية للمواد العضوية هو تثبيت هذه المواد بيولوجياً بواسطة البكتريا. حيث يتم الوصول في النهاية إلى منتج يمكن الاستفادة منه، وإلى بقايا يمكن طمرها بسهولة بدون الخوف من تأثيراتها البيئية الضارة. يمكن أيضاً من خلال المعالجة البيولوجية الوصول إلى درجة معينة من التعقيم للنفايات (حالة الأسمدة) وبالتالي التخفيف من آثارها على الصحة والبيئة.



الشكل 8-1- مخطط يبين تركيب النفايات في سوريا [3]



الشكل 8-2- طرق معالجة النفايات تبعاً لمحتواها من المادة العضوية

8-2- طريقة الأسمدة الهوائية (Composting)

تعرف عملية الأسمدة (Composting) بأنها عملية تحويل النفايات العضوية القابلة للتفكك البيولوجي بواسطة الأحياء الدقيقة الهوائية والمخيرة، ضمن شروط وظروف معينة ومحددة، إلى مادة معقمة وصحية وصالحة للاستخدامات الزراعية الآمنة تسمى بالسماد العضوي أو الكومبست (Compost) الغني بالمواد الدبالية (Humus).

تحدث عملية تفكيك المواد العضوية بيولوجياً في الطبيعة بشكل تلقائي عند توفر الشروط المناسبة. حيث تشاهد تحت الأشجار في المناطق الرطبة، إذ تتفكك أوراق الأشجار ذات التركيب العضوي هوائياً بواسطة البكتيريا إلى مواد دبالية عضوية مغذية للأشجار. إن هذه العملية تدعى بعملية التحلل البيولوجية (Biological Decomposition). في حال تدخل الإنسان في سير عملية التحلل البيولوجي للمواد العضوية فإن هذه العملية تدعى بالأسمدة (Composting) [1].

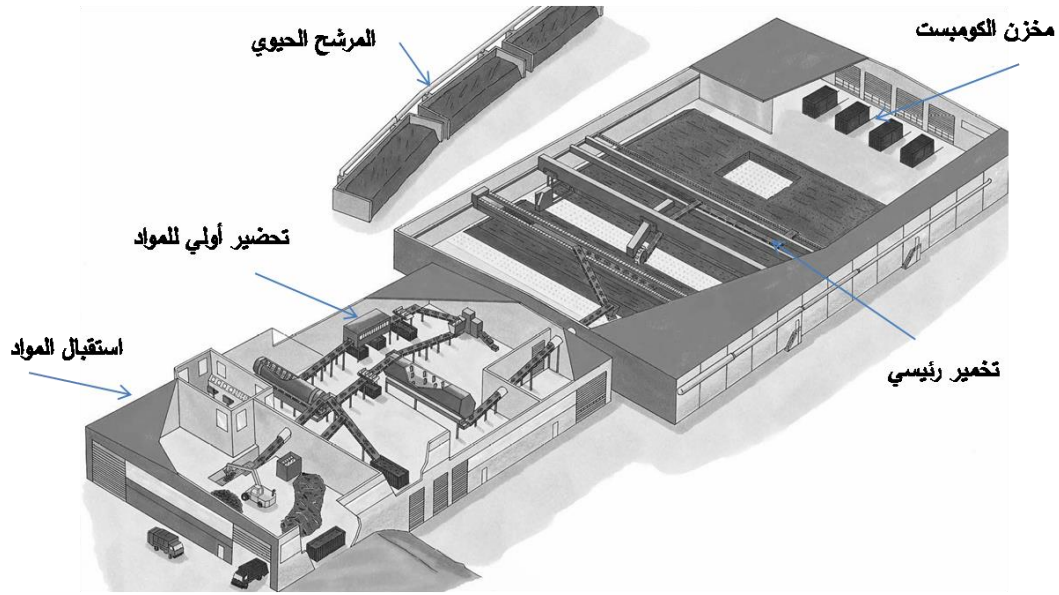
النفايات القابلة للأسمدة الهوائية هي النفايات العضوية في العموم وتشمل:

- نفايات الحدائق من أعشاب وقصاصات الأشجار والورود
- نفايات المطابخ (بقايا تحضير الطعام، بقايا الطعام، قشور البيض، ظروف الشاي، ورق المحارم،.....)
- نفايات الأسواق التجارية العضوية (بقايا الفواكه والخضار التالفة)
- حمأة مياه الصرف الصحي

- روث الحيوانات
 - بقايا حصاد وجمع المحاصيل الزراعية
 - تعتبر المواد التالية شوائب بالنسبة لعملية الأسمدة ويجب إزالتها وفصلها قبل بدء العملية:
 - المواد القابلة للتدوير (زجاج، معادن، علب الكرتون،... إلخ)
 - النفايات الخطرة (نفايات المشافي الخطرة، البطاريات، الأسمدة والمبيدات الحشرية،... إلخ)
 - بقايا المواد الصناعية (بقايا الطعام والفواكه المعلبة، أعقاب السجائر، أوراق القصدير،... إلخ)
 - أية مادة ملوثة كيميائياً
- المنتج النهائي لعملية الأسمدة هو مادة عضوية غنية بالمواد الدبالية (Humus). هذه المادة غير ضارة بالوضع الصحي للوسط المحيط، ولا تملك رائحة قوية، ولا تجذب إليها القوارض والذباب. يستخدم هذا المنتج المسمى (الكومبست) كسماد عضوي في الأراضي الزراعية وكتربة لزراعة الورود والنباتات في المشاتل، كذلك يمكن استخدامه لتحسين الخواص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للتربة الفقيرة وكمواد تدفئة في البيوت البلاستيكية.
- يمكننا أن ننتج السماد العضوي (الكومبست Compost) إما:
- في الحقول ذات الملكية الخاصة والحدائق المنزلية، وتتم العملية بدون تحضير أولي للنفايات كما في الشكل (3-8)
 - في منشآت خاصة تدعى بمحطات الأسمدة (Composting Plants) وهي محطات تتضمن التحضير الأولي للمواد ومن ثم تخميرها هوائياً باستخدام تقنيات مختلفة كما في الشكل (4-8).



الشكل 3-8- إنتاج الكومبست في الحدائق المنزلية والخاصة

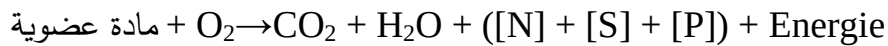


الشكل 8-4- مخطط لإحدى محطات إنتاج الكومبست على المستوى الصناعي

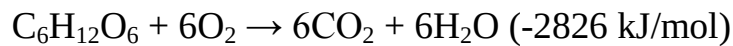
8-2-1- شروط وأسس طريقة الأسمدة الهوائية للمخلفات العضوية

كما ذكر سابقاً فالأسمدة الهوائية هي الطريقة التي تقوم من خلالها أنواع مختلفة من الأحياء الدقيقة الهوائية والمخيرة بتفكيك المواد العضوية للحصول على الطاقة والغذاء اللازمين لنموها وتكاثرها. وتشكل معرفة آلية ومخطط سير العمليات البيو-كيميائية خلال عمليات تفكيك وتحويل المواد العضوية شرطاً أساسياً لإتمام عملية الأسمدة بالشكل المثالي. خلال عملية الأسمدة تستخدم المواد العضوية كغذاء وكمصدر للطاقة من قبل البكتيريا الهوائية التي تحتاج الأكسجين من أجل تنفسها، حيث أن هذه البكتيريا تقوم باستخدام المادة العضوية وتثبيتها بوجود الماء والهواء اللازمين خلال عملياتها الاستقلابية، وتقوم بطرح غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء وطاقة على شكل حرارة كما هو مبين في الشكل (8-5).

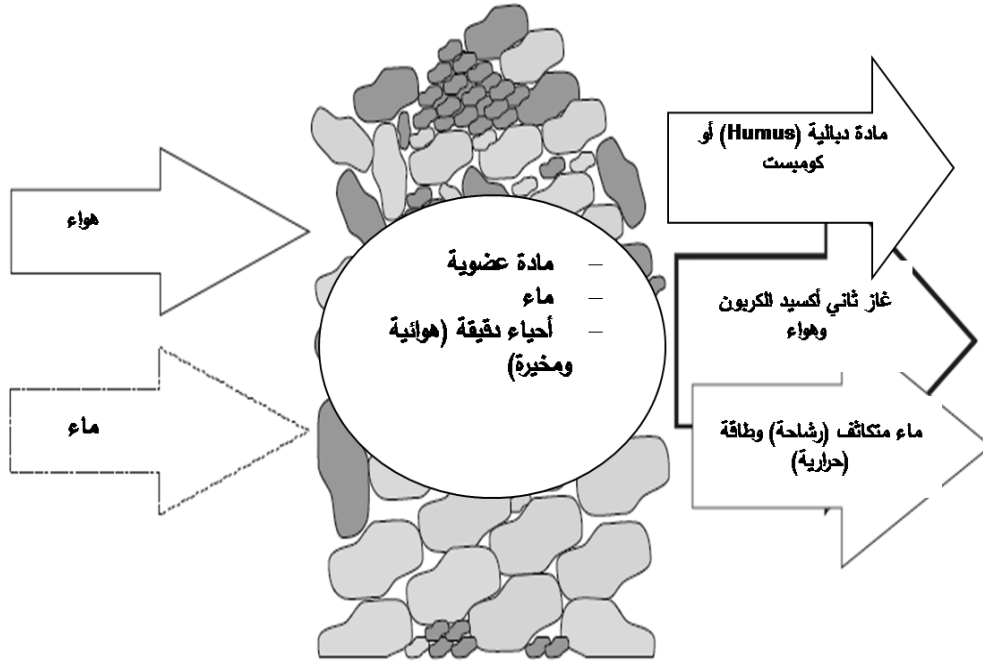
يمكن تمثيل التفاعل العام لتفكك المادة العضوية أثناء عملية الأسمدة بواسطة الأحياء الدقيقة الهوائية والمخيرة بالمعادلة التالية:



حيث تتألف المادة العضوية في العموم من كربون و أكسجين وهيدروجين و نيتروجين وفوسفور ومثاليها تفكك الغلوز الذي تبينه المعادلة:



وفيما يلي نبين الشروط والأسس البيولوجية والتقنية لعملية الأسمدة الهوائية.

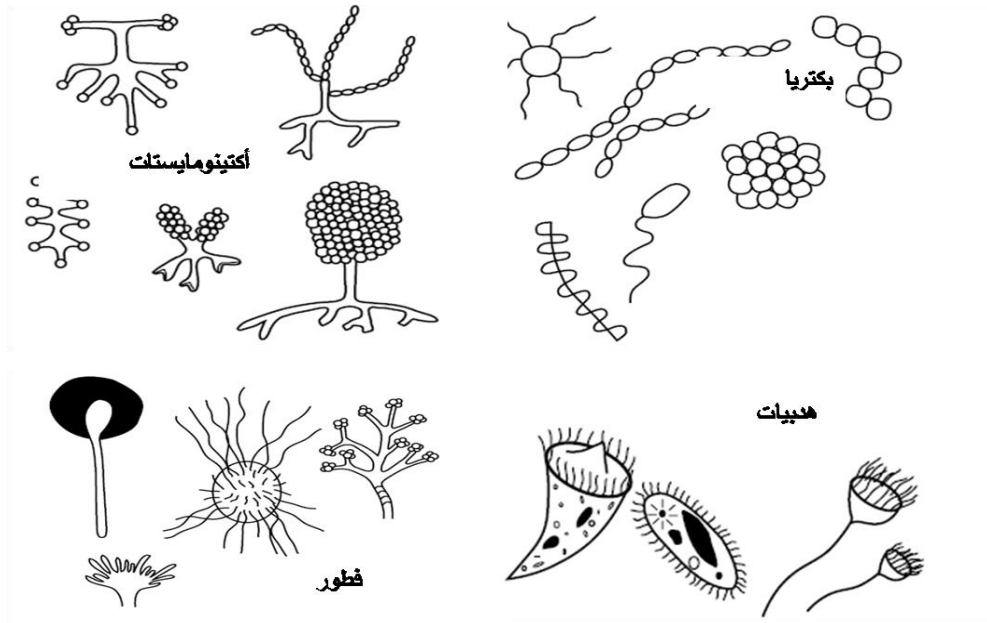


الشكل 5-8- آلية تفكيك المادة العضوية بواسطة الأحياء الدقيقة خلال عملية الأسمدة الهوائية

1-1-2-8- الشروط والأسس البيولوجية والفيزيا-كيميائية لعملية الأسمدة الهوائية

1- وجود الأحياء الدقيقة

إن البكتريا والفطور والبكتريا الشعاعية أو الأكتينومايستات (*Actinomycetes*) هي المسؤولة بشكل رئيسي عن عملية تفكيك المواد العضوية وتحويلها إلى سماد عضوي (كومبست). وتلعب البكتريا الدور الأكبر في عملية تفكيك النفايات العضوية حيث تعمل في درجات الحرارة العالية والمنخفضة وتتغذى على المواد سهلة التفكك كالسكريات والبروتينات. الأكتينومايستات تتغذى على المواد سهلة التفكك وتنشط في مختلف درجات الحرارة، بينما تقوم الفطور والهدبيات بأشكالها المختلفة بتفكيك المواد المقاومة للتفكك ذات النسبة الكبيرة من C/N مثل لحاء الشجر (الليجنين) والبكتين. وتستوطن الأحياء التي تنتمي إلى شعبة الحيوانات كالديدان والحشرات والعناكب الكومبست في المراحل النهائية لعملية الأسمدة حيث تؤثر من خلال عملياتها الحيوية على الخصائص الفيزيائية للكومبست النهائي ويبين الشكل (6-8) بعضاً من الأحياء الدقيقة الهوائية المفككة للمادة العضوية.



الشكل 8-6- الأحياء الدقيقة الهوائية المفككة للمواد العضوية.

2- المادة العضوية وقابلية التفكك البيولوجي

إن جميع المواد العضوية قابلة للتفكك بيولوجياً، لكن تختلف عن بعضها البعض من حيث سرعة تفككها. وتترج المواد العضوية في سهولة تفكيكها ومدى ملائمتها لعملية الأسمدة من مواد سريعة التفكك كالسكر والبروتينات إلى مواد صعبة التفكك كالخشب والدم والسيلولوز، ومواد صعبة جداً كالكيراتين (انظر الجدول 8-1).

الجدول 8-1- تدرج المواد العضوية من حيث سرعة تفككها ومدى ملائمتها للأسمدة.

المادة العضوية	قابلية التفكك البيولوجي	مدى ملائمتها للأسمدة الهوائية
السكريات	سريعة	
البروتينات		
الدم	متوسطة	
السيلولوز		
الخشب	صعبة	
الراتنجات		

بوجود المادة العضوية سريعة التفكك فإن كامل المادة يتحول إلى عناصر ثابتة خلال فترة قصيرة بواسطة البكتريا. على العكس من ذلك فإن وجود مواد عضوية صعبة

التفكك يطيل مدة عملية الأسمدة الهوائية. ولذلك فإنه من أجل إتمام عملية الأسمدة بشكل مثالي يلزم خلط المواد سريعة التفكك مع المواد بطيئة التفكك البيولوجي.

3- الرطوبة ومحتوى الماء

تعتبر رطوبة المواد الداخلة في عملية الأسمدة الهوائية عاملاً محدداً لسير عملية التفكك، حيث أن الأحياء الدقيقة تحتاج الماء للقيام بعملياتها الحيوية لأنها لا تستطيع أخذ الغذاء والأكسجين إلا في حالته المنحلة في الماء. يتأرجح محتوى الرطوبة خلال عملية الأسمدة ضمن مجال واسع من 25-70% من حجم المواد. ويتعلق هذا التآرجح بحجم المسام وبزمن سير العملية وبنوعية المواد[6].

إن ضمان سير عملية الأسمدة بشكل مثالي يتطلب تأمين رطوبة مثالية لعمل البكتريا، لأن محتوى الماء العالي يعيق وصول الأكسجين إلى البكتريا بسبب ملئه الفراغات ضمن المواد مما يؤدي إلى تفاعلات لا هوائية وروائح و رشاحة كبيرة. على عكس ذلك فإن المحتوى الضعيف للماء (أقل من 30 %) يعيق عمل و نشاط البكتريا. من الناحية التقنية يتراوح مجال الرطوبة المثالي بين (50-60%) من وزن المواد الداخلة. يتم الحفاظ على هذه النسبة بإضافة الماء في حالة كانت نسبته قليلة، ومن خلال تجفيف الماء عبر عمليات ضخ الهواء قسرياً، و/أو طبيعياً عبر عملية تقليب المواد، أو بإضافة مواد ماصة للماء كنشارة الخشب في حالة الرطوبة العالية للمواد.

4- التهوية والأكسجين اللازم

يعتبر وجود الأكسجين ضرورياً لإتمام عملية الأسمدة الهوائية. إذ تحتاجه الأحياء الدقيقة الهوائية من أجل تنفسها ونشاطها وإتمام عملها في تفكك المواد العضوية. ومن أجل ذلك فإنه لا يجب أن يقل تركيز الأكسجين في الوسط المحيط بالبكتريا عن 5%. يزداد استهلاك الأكسجين خلال عملية الأسمدة أثناء هضم المواد سريعة التفكك. ويحصل ذلك في طور التفكك في المرحلة الحرارية. عندما تنخفض نسبة الأكسجين في الهواء المحيط بالبكتريا عن 5% تموت البكتريا الهوائية وتبدأ تلك اللاهوائية بالتكاثر والعمل منتجة مركبات عضوية طيارة تتسبب في روائح قوية ومزعجة وانخفاض سريع في درجات الحرارة. عندما يتراوح تركيز الأكسجين في الوسط المحيط بالبكتريا من (10-14%) فإن عملية الأسمدة تسير بشكل مثالي وتنتج كميات أقل من الروائح. يتم تأمين الأكسجين للمواد إما بالتماس مع الهواء المحيط عبر عمليات التسرب والانتشار نتيجة فروق تركيز الأكسجين و ثاني أكسيد الكربون داخل وخارج المواد (Passive Aeration). ويتم تحسين هذه العملية عبر عملية تقليب

(Turnning) المواد بواسطة جرافات، أو من خلال عملية ضخ الهواء إلى داخل المواد عبر التهوية القسرية (Active Aeration). حيث أنه يلزم وسطياً من أجل تهوية المواد حوالي $(1-10 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{h})$ هواء من أجل تهوية واحدة الحجم المادة الداخلة في عملية الأسمدة في الساعة، وفي حالة سير عملية التخمر بشكل نظامي فإنه يلزم $(10-20 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{h})$ من الهواء بالعلاقة مع المادة المتفككة والزمن [21].

5- نسبة الكربون إلى النتروجين C/N

تحتاج البكتريا من أجل تكاثرها ونشاطها إلى كميات كبيرة من المغذيات كالكربون والنتروجين والفوسفور والبوتاسيوم. يشكل الكربون أحد أهم المغذيات للبكتريا ويشكل اللبنة الأساسية في بناء السكريات والكربوهيدرات، حيث يتواجد في المواد السيللوزية كالورق والخشب وأغصان وأوراق الأشجار. تقوم البكتريا بتفكيك هذه المواد وتستخدم جزءاً من الكربون في عمليات تكاثرها بينما يتحرر القسم الباقي من محتوى الكربون على شكل غاز ثاني أكسيد الكربون. في حالة وجود الكربون بصيغة صعبة التفكك مثل الليجنين فإن تفكيك المواد العضوية إلى عناصر ثابتة ومغذية يكون بطيئاً، وتستمر عملية الأسمدة وقتاً أطول. يستثنى من ذلك الأغصان الخضراء بسبب وجود السكريات في خلاياها مما يجعل عملية تفكيكها تتجزأ بشكل أسرع.

يعتبر محتوى المواد العضوية من النتروجين العامل الأكثر تحديداً لسير عملية الأسمدة. حيث تتميز الأعشاب وروث الحيوانات وحمأة مياه الصرف الصحي وبعض بقايا الأطعمة بمحتواها العالي من النتروجين. وتعتبر نسبة الكربون إلى النتروجين (C/N) للمخلفات الداخلة في عملية التخمر الهوائي معياراً لقياس مدى وفرة المواد الغذائية للبكتريا ومدى جودة السماد العضوي (الكومبست) الناتج عن عملية الأسمدة. إن فهم معنى هذه النسبة يعتبر مهماً من أجل إدارة جيدة لسير العمليات في محطات الأسمدة. ويجب أن تتراوح القيم المثالية لهذه النسبة بين $(25/1-30/1)$ في مواد البدء لذلك يتم خلط وتحضير المواد قبل بدء عملية الأسمدة من أجل تحقيق النسبة السابقة. تساوي هذه النسبة لنفايات المطابخ $(15-20)$ وللنفايات الخضراء كبقايا الأشجار $(100-500)$. في حالة كانت $C/N < 20$ فإن ذلك يؤدي إلى تشكل غازات سامة وإلى خسارة كبيرة في تراكيز النتروجين الذي يتحرر على شكل أمونيا مسبباً روائح مزعجة. وفي حالة النسب الكبيرة $C/N > 40$ فإن ذلك يعني أن النتروجين المتوفر للبكتريا غير كاف لنشاطها مما يؤدي إلى تباطؤ عملية تفكك المواد وبرودتها [6]. يبين الجدول (2-8) قيم النسبة (C/N) لبعض المواد الداخلة في عملية الأسمدة الهوائية.

الجدول 8-2- قيم النسبة (C/N) لبعض المواد الداخلة في عملية الأسمدة [6]

المادة	نسبة C/N
نشارة الخشب	500 - 100
الورق والكرتون	500-200
القش	100-40
نفايات الحدائق	60-20
بقايا الأشجار	150-100
نفايات منزلية ونفايات المطابخ	21-20
روث الحيوانات	30-2
بقايا الأعشاب	25-12
نفايات المطابخ	20-15

6-درجة الـ pH

إن وجود كميات كبيرة من نفايات المطابخ وبقايا الفواكه والخضار الطازجة يؤدي في بداية عملية الأسمدة في الأيام الأولى لعملية التخمير إلى قيم منخفضة لـ pH بين (2-4). إن هذه القيم المنخفضة تؤدي إلى تأخير عملية تفكيك الكربون وتؤدي إلى تشكّل الحموض الكربونية كحمض الخل والحموض الدسمة. من أجل التخلص من هذه المشكلة ورفع قيمة الـ pH إلى القيمة المثالية التي تتراوح بين (5,6 - 8) يضاف الكلس والتربة أو الكومبست في مرحلة بدء التخمير. يضاف الكلس بنسبة 0,2% من كتلة المواد الداخلة في الأسمدة. وفي حالة تمت إضافته بنسبة 0,4% فإن ذلك يؤدي إلى تحرر كبير في شوارد الأمونيا فتتسأ الروائح وتقل نسبة النتروجين في الكومبست الناجم. على العكس من ذلك فإن وجود المواد ذات قيم الـ pH العالية كحمأة مياه الصرف المثبتة بالكلس (pH= 10-12) في بداية عملية التخمير يعيق نشاط البكتريا. ويلزم إضافة مواد مثل بقايا الأعشاب من أجل تخفيض قيم الـ pH إلى 8 في غضون الأسابيع الثلاثة الأولى لعملية الأسمدة [6].

7- درجة الحرارة

يتميز تفكيك المادة العضوية هوائياً بعملية التسخين الذاتي الناتجة عن التفاعلات البيوكيميائية. وبناء على اختلاف المواد عن بعضها بطاقتها الحرارية الكامنة يمكن

ترتيب المواد العضوية بحسب كمية الطاقة المتحررة أثناء عملية التفكيك بشكل مبسط كما يلي: الكربوهيدرات < الدسم < البروتينات.

بما أن تطور درجات الحرارة إلى جانب تحويل المواد العضوية إلى مواد مينييرالية بسيطة يؤدي إلى تعقيم هذه المواد، فإن تغير درجات الحرارة خلال مرحلة تخمير المواد في طريقة الأسمدة الهوائية يستخدم من أجل التمييز بين مراحل سير العملية. كما يشير إلى مدى نجاح العملية برمتها. حيث تعتبر درجة الحرارة بالتزامن مع التزويد بالأكسجين إحدى أهم البارامترات المستخدمة لضبط سير عملية التفكك الهوائي.

لكل نوع من الأحياء الدقيقة التي تقوم بعملية تفكيك المواد مجالاً لدرجات الحرارة تعمل فيه بشكل فعال، حيث تتراوح درجات الحرارة بين درجة حرارة الوسط الخارجي السائدة وحتى (70) درجة مئوية في داخل الكومة. إذا كانت درجات الحرارة منخفضة جداً فإن الأحياء الدقيقة تتوقف عن العمل، وفي حال درجات الحرارة العالية جداً تموت هذه الأحياء. وفقاً لتغير درجات الحرارة خلال مرحلة تخمير المواد يمكن تمييز الأطوار التالية المبينة في الجدول (8-3) والشكلين (8-7) و(8-8).

➤ **طور البدء (Initial Stage):** ويسمى بمرحلة (سيكروفيليك) يستمر عادة من يوم حتى أسبوع على الأكثر حسب سير العمل. وهي المرحلة الأولى بعد طحن وتقطيع المخلفات العضوية إلى حبيبات بأقطار أقل من (2 سم)، ومن ثم مجانستها عبر الخلط وإضافة الماء. تسود في هذه المرحلة الأحياء العاملة في درجة حرارة الوسط المحيط.

➤ **طور التفكيك (Degradation stage):** أو المرحلة الحرارية (تيرموفيليك) ويسمى أيضاً بمرحلة التخمير الرئيسي أو المرحلة الأولى (Stage I) وتستمر من عدة أيام حتى عدة أسابيع حسب تقنية التخمير المتبعة. خلال هذه المرحلة ترتفع درجات الحرارة ضمن مزيج المواد بين (45-70) درجة مئوية) ويحصل في هذه المرحلة تفكيك معظم المواد السهلة التفكيك إضافة إلى بعض المواد الصعبة التفكيك وذلك بواسطة البكتريا المقاومة للحرارة. في نهاية هذا الطور أو المرحلة يمكن غرلة المواد لإزالة الأجزاء كبيرة الحجم والتي قد تعاد إلى قسم التحضير الأولي لتدخل من جديد ضمن دورة عملية الأسمدة أو يتم إرسالها إلى المطامر. تتميز المرحلة الحرارية بأنها أهم المراحل في القضاء على العصيات والأحياء الممرضة المتواجدة في النفايات والتي قد يسبب وصولها إلى غذاء الإنسان أمراضاً كثيرة.

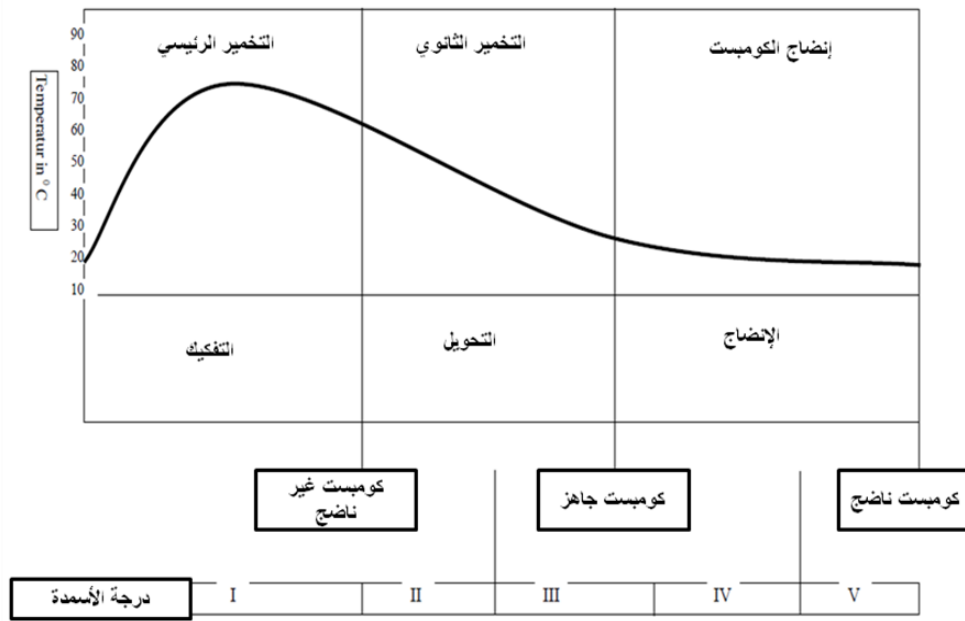
➤ **طور التحويل (Conversion stage):** ويسمى بمرحلة (ميزوفيليك) أو بمرحلة التخمير الثانوي أو المرحلة الثانية (Stage II). تتراوح درجات الحرارة خلال هذه

المرحلة بين (45-50 درجة مئوية) ويمكن الوصول إلى هذه الدرجات طبيعياً بعد انتهاء المرحلة الحرارية نتيجة انخفاض نشاط البكتريا الحرارية وزيادة نشاط البكتريا العاملة في درجات الحرارة المتوسطة. وقد يتم الدخول في هذه المرحلة نتيجة عمليات التحكم بالعمليات من خلال ضخ هواء بارد ضمن مزيج المواد في المرحلة الحرارية مما يؤدي إلى تبريدها. وتستمر هذه المرحلة من عدة أيام إلى عدة أسابيع حسب التقنيات المستخدمة للتخمير وحسب درجة الكومبست المطلوبة.

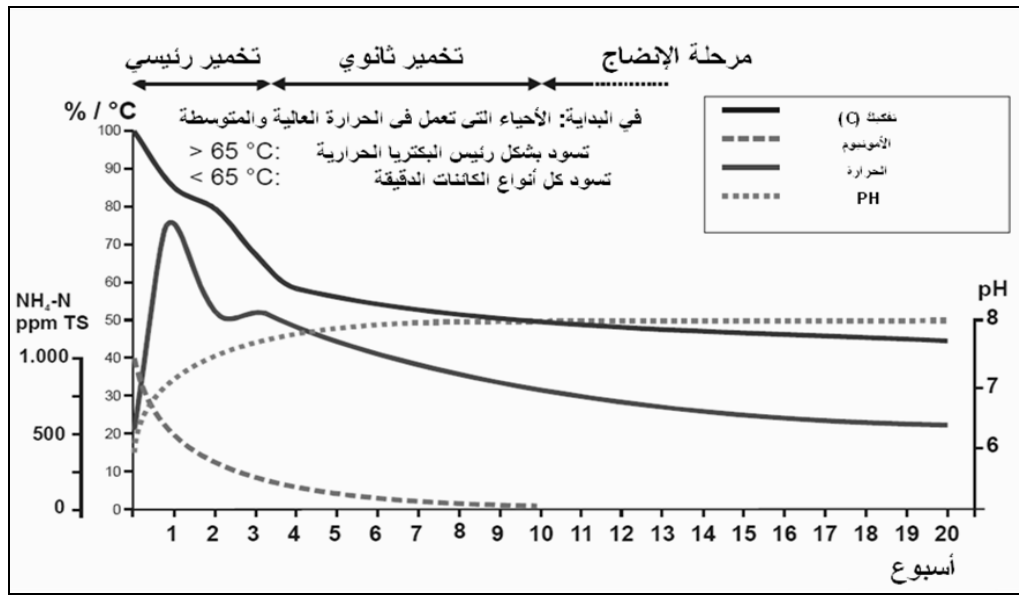
➤ **طور الإنضاج (Maturation stage):** ويسمى بمرحلة إنضاج الكومبست (Curing). وتنخفض فيها درجات الحرارة إلى أقل من (45 درجة مئوية)، وتحصل فيها معظم التفاعلات الكيميائية لتكسير المواد (مثلاً تحويل الأمونيوم إلى نترات). هذه المرحلة يمكن أن توجد أو لا توجد حسب نوع ودرجة الكومبست المطلوب (بعض الزراعات يمكن أن نستخدم فيها الكومبست الناجم عن المراحل السابقة). حسب نوعية السماد العضوي المراد الحصول عليها يمكن أن تستمر هذه المرحلة عدة أسابيع.

➤ **نقطة نهاية عملية الأسمدة:** ويتم تحديدها حسب نوعية ودرجة جودة الكومبست المطلوبة للزراعة. فبعض الزراعات كزراعة البذور والورود تتطلب سماداً ذي نوعية ممتازة و ثابتة. إن تحديد نقطة نهاية عملية الأسمدة الهوائية تعتمد على عدة طرق منها طريقة تحديد الهبوط المفاجئ في معدل الأكسجين أو عبر تحديد معدل إنتاج ثاني أكسيد الكربون في الهواء، أو عن طريق قياس تطور درجات الحرارة في عينة من الكومبست النهائي.

في نهاية كل مرحلة نحصل على كومبست ذي نوعية وجودة معينة يتم تحديدها بالمقارنة مع سلم درجات لجودة الكومبست بالعلاقة مع درجة الحرارة المقاسة ودرجة الأسمدة (الجدول 3-8).



الشكل 7-8- مراحل عملية الكومبست ودرجات الكومبست بالعلاقة مع درجات الحرارة



الشكل 8-8- مخطط يظهر مراحل عملية الأسمدة بالعلاقة مع الزمن والأنواع البيولوجية السائدة

ودرجة تفكك الكربون وتغير قيم الـ pH [6]

الجدول 8-3- مراحل عملية الأسمدة وبارامتراتهما المميزة بالعلاقة مع درجة الحرارة [4]

طور عملية الأسمدة: (التخمير الهوائي)	طور البدء Initial Stage	المرحلة الحرارية Thermophilic	المرحلة المعتدلة Mesophilic	طور التبريد والإنتاج
		(طور التفكيك: Degradation stage)	(طور التحويل: Conversion stage)	(التحويل إلى مينييرالات: Maturation stage)
الأحياء الدقيقة	البكتريا والفطور المحبة للحرارة المعتدلة	الحرارة < 45 درجة مئوية، تسود البكتريا الحرارية الحرارة < 60 مئوية تسود بكتريا الأبواغ الحرارة < 75 درجة مئوية تسود البكتريا ذات الأبواغ المقاومة للحرارة	البكتريا والفطور والطحالب التي تعمل على تفكيك المواد الصعبة	تسود الحيوانات الدقيقة كالعناكب وديدان الأرض والبعوض
بارامترات الأسمدة توفر المغذيات درجة الـ pH الحرارة العظمى	متزايد وسط حمضي تصل حتى 60 مئوية	عال متصاعد < 7 تصل حتى أكثر من 70 مئوية	- < 7 40- 45 درجة مئوية	متناقص ثابت < 7 20 درجة مئوية
التفكيك	يتم تفكيك المواد سهلة التفكيك	المواد سهلة التفكيك إضافة إلى السيللوز	تفكيك السيللوز والمواد الصعبة كاللجنين والبروتين	توقف عملية التفكيك وبداية عملية التحويل إلى مينييرالات
الدلالة	شروط مناسبة للبدء	تعقيم كامل للمواد خلال 3 أسابيع	تواصل عملية التفكيك	إنضاج
درجة نضج الكومبست في نهاية المرحلة	مواد في بداية التخمير	كومبست خام	كومبست متخمّر	كومبست ناضج
درجة جودة السماد		I	II-III	IV-V

8-2-1-2- الشروط المتعلقة بالمواد الخام

1- المحتوى العضوي للنفايات

إن المحتوى العضوي للمادة القابلة للأسمدة البيولوجية يمثل كمية الغذاء المتوفرة للبكتريا حتى تقوم بكافة نشاطاتها ويعتبر شرطاً أساسياً لعملية الأسمدة. تتتركب المادة العضوية من ماء ومادة جافة. ويؤلف الماء حتى 70% من تركيب المادة العضوية. بينما تشكل المادة الجافة المؤلفة من بروتين وكربوهيدرات ودهون النسبة المتبقية. وهذه بدورها تتألف من عناصر الكربون والنيتروجين والفوسفور والكالسيوم والكالسيوم والمغنيزيوم...إلخ.

يقاس المحتوى العضوي للمادة العضوية (Vs) (Volatile Solids) بعد تجفيفها من الماء. حيث توزن المادة الجافة ثم تحرق في فرن درجة حرارته من 350 حتى 450 درجة سيليسوس لمدة 6 ساعات، بعدها يتم وزنها من جديد، فيكون:
المحتوى العضوي أو المواد العضوية الطيارة Vs (%) = (وزن المادة الجافة قبل الحرق - وزنها بعد الحرق) / (وزن المادة الجافة قبل الحرق) × 100
ويحسب محتوى الكربون استناداً بالعلاقة مع المحتوى العضوي كما يلي:

$$\text{محتوى الكربون} = 0.58 \times \text{المحتوى العضوي} [1]$$

يلقي الجدول (4-8) نظرة عامة على المحتوى العضوي لبعض النفايات، حيث نلاحظ أن النفايات النباتية تتميز عادة بمحتوى عال من المواد العضوية يتراوح بين (50-80) %، بينما تتميز حمأة مياه الصرف الصحي على سبيل المثال بمحتوى قليل من المادة العضوية.

2- نسبة المواد الغريبة

هي كل المواد غير المرغوب بها في المنتج النهائي. وهي من حيث المبدأ كل المواد غير العضوية مثل الزجاج، البلاستيك، المعادن، أكياس النايلون، المواد كبيرة الحجم، الحجارة...إلخ. هذه المواد يجب ألا تتجاوز نسبتها 1% من وزن المواد الداخلة في عملية الأسمدة. حيث إن وجود هذه المواد في النفايات يؤدي إلى إنتاج كومبست لا يحقق معايير الجودة المطلوبة من حيث احتوائه على تراكيز غير مقبولة من المعادن الثقيلة ذات التأثيرات السمية كالرصاص والنيكل التي تنتقل من الكومبست إلى النباتات وبالتالي إلى الإنسان والحيوان وتسبب بعض الأمراض. تزال معظم هذه المواد في مرحلة التحضير الأولي للمواد عبر عمليات الفرز وإزالة المعادن قبل الدخول في عملية التخمير.

الفصل الثامن المعالجة البيولوجية للنفايات العضوية

د.كوكب حسين حريا

الجدول 4-8 التركيب الجزئي للنفايات المفروزة القابلة للمعالجة البيولوجية (قيم متوسطة من المادة الجافة)[4]:

النفايات العضوية	المحتوى العضوي	C/N	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	[%]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
نفايات المطابخ	80-20	20-12	-0,6 2,2	-0,3 1,5	1,8-0,4	-0,5 4,8	0,5-2,1
النفايات العضوية (النفايات الخضراء ونفايات المطابخ المفروزة)	70-30	25-10	-0,6 2,7	-0,4 1,4	1,6-0,5	-0,5 5,5	2-0,5
نفايات الحدائق والنفايات الخضراء	75-15	60-20	2-0,3	-0,1 2,3	3,4-0,4	-0,4 1,2	1,5 -0,2
نفايات منزلية مجموعة بدون فرز	50-25	40-30	-0,8 1,1	-0,6 0,8	0,6-0,5	-4,4 5,6	0,8
حمأة مياه الصرف (مخمرة)	30-15	15	2,3	1,5	0,5	5,7	1,0
حمأة مياه الصرف غير مخمرة	70-20	15	4,5	2,3	0,5	2,7	0,6
روث الحيوانات (حديث)							
- بقر	20,3	20	0,6	0,4	0,7	0,6	0,2
- أحصنة	25,4	25	0,7	0,3	0,8	0,4	0,2
- غنم	31,8	18-15	0,9	0,3	0,8	0,4	0,2
القش		100	0,4	2,3	2,1	0,4	0,2
نشارة الخشب	85-65	-400 500	-0,1 0,4	0,1	0,5-0,3	1-0,5	0,15-0,1
أوراق الشجر	80	60-20	-0,2 0,5	-	-	-	-
التبغ	88-85	50	-2,0 2,4	-0,5 6,6	6,0-5,1	5	0,45
الورق	75	-170 800	-0,2 1,5	-0,2 0,6	0,1-0,02	-0,5 1,5	0,4 -0,1

3-بنية المواد الداخلة

من الناحية التقنية يعتبر تماسك بنية المواد ورطوبتها عاملاً حاسماً في عملية الأسمدة الهوائية. حيث أن كلا المتغيرين يختلفان حسب نوع النفايات وعبر فصول السنة، كذلك تتأثر بنية النفايات ورطوبتها بمنطقة الجمع وطريقة جمع النفايات ونقلها. يعتبر ثبات واستقرار بنية المواد الداخلة في عملية الأسمدة شرطاً لتوفر المسام التي تؤمن التبادل الغازي ضمن المواد. إن الحجم المثالي للمسام في عملية الأسمدة يساوي (20-30)% من حجم المواد الداخلة [14].

يتم تحقيق هذه النسب عن طريق عملية التحضير الأولي للمواد الداخلة، وذلك بخلط المواد ذات الوزن الحجمي الصغير كبقايا عملية البستنة مع تلك ذات الوزن الحجمي الكبير كنفايات المنازل بنسبة (10-30)%. يفيد هذا الحجم المثالي للمسام في حركة الماء والهواء اللازمين للبكتريا ضمن المواد الخاضعة لعملية الأسمدة.

4-الوزن الحجمي أو الكثافة للنفايات

يلعب الوزن الحجمي للنفايات دوراً كبيراً في سير عملية الأسمدة، حيث أنه يؤثر على حساب سعة المخازن ومساحات التخمر في محطات الكومبست. في حال كان الوزن الحجمي للنفايات المعالجة كبيراً (أكبر من 0,7 طن/م³)، وخصوصاً في حالة كانت رطوبة المواد كبيرة، فإن مشاكل كثيرة تعترض سير العمليات أثناء التفكك إذا لم تتخذ إجراءات إضافية مثل تحسين بنية المواد عبر خلطها بمواد صغيرة الوزن الحجمي كالورق مثلاً، وضخ الهواء داخل المواد لتجفيف الرطوبة الزائدة [10].

5-تأثير المواد المساعدة والمضافة

المواد المضافة والمساعدة هي مواد عضوية أو مواد كيميائية مساعدة، تساهم في تحسين بنية المواد وبالتالي عملية التخمر، وبالتالي في تحسين جودة الكومبست الناجم. تضاف هذه المواد بكميات قليلة بحيث لا تؤثر على الكمية التصميمية. تشمل هذه الإضافات نشارة الخشب، القش، الكلس، التربة العادية، الكومبست القديم، ذرق الدجاج، حمأة مياه الصرف،... إلخ.

تؤدي هذه المواد المهام التالية:

- تخفيض كمية الروائح التي يمكن أن تصدر عن عمليات تحضير المواد وتخزينها وتخزينها عبر إضافة الكلس والرماد والكومبست أو التربة العادية.
- امتصاص رطوبة المواد الزائدة وبالتالي تخفيض معدل تولد الرشاحة أثناء العمليات (إضافة نشارة الخشب، القش، التربة،.....).

- تنشيط عمل البكتريا عن طريق عمليات حقن أو إضافة وسط غني بالبكتريا أو المواد المغذية لها (إضافة حمأة مياه الصرف، ذرق الدجاج، كومبست غير ناضج،... إلخ).

8-2-1-3- تأثير منطقة الجمع ونظام جمع النفايات

- يتغير تركيب النفايات ورطوبتها تبعاً لمناطق إنتاجها وتبعاً للمستوى المعيشي للسكان. حيث تكون نفايات الأعمال الزراعية هي السائدة في المناطق الريفية وتكون ذات بنية ورطوبة جيدين في فصل الجفاف، بينما تزداد رطوبتها في فصل هطول الأمطار. في هذه المناطق عادة لا يتم ترحيل النفايات يومياً وإنما مرة أو مرتين أسبوعياً مما يؤدي إلى بدء عمليات تخمر المواد في مناطق جمعها وهذا يؤثر سلباً على عملية معالجتها.
- تشكل نفايات المطابخ الجزء الأكبر من نفايات الكتل السكنية المدنية، ومن المعروف أنها ذات رطوبة عالية، لذلك فإن ترحيلها يجب أن يكون يومياً إلى مناطق المعالجة.
- يؤثر نظام جمع النفايات بشكل كبير على عملية الأسمدة، حيث أن انتشار نظام الفرز أو الجمع المنفصل للنفايات هو شرط أساسي لعملية المعالجة البيولوجية. فالنفايات غير المفروزة (المختلطة) يجب معالجتها في محطات المعالجة الميكانيكية البيولوجية، حيث ينتج عنها سماد ذو نوعية متوسطة الجودة مقارنة بالسماد العضوي الناجم عن النفايات المفروزة.
- حجم الحاويات المستخدم يؤثر كذلك على بنية المواد، فالحاويات الصغيرة لا تسمح باستقبال نفايات كبيرة الحجم مما يجعل وزنها الحجمي كبيراً، على عكس الحاويات كبيرة الحجم التي تسمح بإلقاء نفايات كالكرتون وبقايا الأشجار مثلاً، وهذا يعطي وزناً حجمياً صغيراً للنفايات.

8-2-2- تصنيع السماد العضوي (Compost Making)

تتشابه صناعة الكومبست مع أغلب الصناعات العضوية والحيوية من حيث نظام التصنيع وحجم المنتج. فهناك إمكانية لإنتاج الكومبست يدوياً بدون تجهيزات تستحق الذكر، كما يمكن أن يتم ذلك بشكل نصف آلي تدخل المكننة في بعض مراحله، أو بشكل آلي كامل في معامل متطورة مؤتمته مكلفة في إنشائها، مستقيضة في إنتاجها. إن اختيار تكنولوجيا الأسمدة يعتمد على عدد من المتغيرات المحلية المتعلقة بكل منطقة وكل بلد. من هذه المتغيرات على سبيل المثال كلفة التخلص من النفايات،

توفر النفايات الصالحة للأسمدة؛ المزايا التي يحصل عليها القائمون على العملية؛ توفر الموقع الملائم؛ نوع وكمية الكومبست المطلوب وغير ذلك. تتأرجح التكنولوجيا المستخدمة في عملية الأسمدة من بسيطة جداً (الأسمدة على مستوى الحدائق الخاصة) إلى معقدة جداً (الأسمدة على المستوى الصناعي التجاري).

1- صناعة الكومبست الخاص على مستوى المنزل (Bin Composting)

هذه الطريقة لا تحتاج إلى أي من التجهيزات المعقدة والمكلفة، إذ يكفي إعداد صناديق صغيرة الحجم مصنوعة من ألواح الخشب أو البلاستيك أو التوتياء مفتوحة من الأسفل حيث يتم وضعها على الأرض الترابية المرصوفة والكتيمة مباشرة في الحديقة أو في الحقل. وتكون هذه الصناديق حرة الحركة من أحد جوانبها (انظر الشكل 3-8) مما يسهل عملية تحريك المواد ضمنها وتقليبها. توضع المخلفات في هذه الصناديق بارتفاع من 1 إلى 1,5 متراً ومن ثم يتم وضع الأجزاء النباتية المراد تفكيكها (تخميرها) بهدف صناعة الكومبست بعد تقطيعها ومجانستها قدر المستطاع بشكل طبقات أفقية لا تتعدى سماكتها 15 سنتيمتراً وترطب بالماء بغزارة نسبية وترش فوقها بعض الأسمدة الكيميائية الغنية بالنيتروجين والفوسفور. ويمكن الاستعاضة عنها بذرق الفروج (فضلات الدجاج) إن توفر. وهكذا تتوالى الطبقات حتى يتم امتلاء الصندوق تدريجياً مع توفر النفايات الزراعية السيلولوزية. ومن ثم يتم تقليبها عندما ترتفع درجة الحرارة في وسطها إلى حدود 60 درجة مئوية (يمكن الاستعانة بميزان حرارة مثبت على ميزابة خشبية ذات ذراع طويل) بمعدل مرة كل خمسة أيام حتى تنتهي عملية التخمير بدلالة انخفاض درجة حرارة الكتلة شيئاً فشيئاً حتى تكاد توازي درجة حرارة الوسط الخارجي أو تزيد بقليل. عندئذ تكون عملية التخمير قد قاربت على الانتهاء أو أنها انتهت فعلاً. وتحتاج هذه العملية إلى فترة تتراوح ما بين 10 - 12 أسبوع، والكومبست الناتج عنها يعتبر سماداً خاماً يصلح في التسميد العضوي للأراضي الزراعية والحدائق والبساتين. ولكن لا يستحسن استعماله في تربية نباتات التنسيق الداخلي لعدم تجانسه وإمكانية عدم اكتمال تخمره مما قد يساعد على جذب الذباب وبعض أنواع البعوض [18].

2- صناعة الكومبست على المستوى نصف الصناعي

على مستوى الملكيات الخاصة متوسطة الحجم حيث تكون كمية البقايا الزراعية والحيوانية المتولدة أكبر نوعاً ما، فإنه يمكن الاستعاضة عن عملية القليب اليدوي وهي عملية شاقة ومكلفة نوعاً ما بإعداد صناديق وحاويات مغلقة وتثقيبها من الجوانب أو صديق مفتوحة من الأعلى وقد يتم تغطيتها لتجنب أثر الظروف الجوية. ويتم تهوية

هذه التجهيزات قسرياً إما عبر التحريك أو عبر ضخ الهواء بمضخات لإتمام عملية التخمير الهوائي بدون الحاجة إلى إخراج الكتلة الحيوية وتقليبها بهدف تزويدها بالهواء الشكل (8-9).



الشكل 8-9- صناعة الكومبست على المستوى نصف الصناعي

3- صناعة السماد العضوي على المستوى الصناعي والتجاري في محطات الأسمدة
لمعالجة المخلفات العضوية الناتجة من بلدة أو منطقة ما فإنه يلزم تصميم محطات أسمدة ذات مساحات متناسبة مع كمية النفايات القادمة، وبأقسام وتقنيات مختلفة ووفق شروط وخطوات محددة.

من حيث المبدأ يجب أن تحقق محطة الأسمدة على المستوى التجاري الشروط التالية:
- أن تكون قادرة على معالجة كامل الكمية المتولدة من النفايات العضوية المفروزة إضافة إلى النفايات الخضراء والنفايات الورقية في المنطقة المدروسة، والمحسوبة على أساس معدل إنتاج الفرد اليومي والسنوي، مع مراعاة الزيادة المستقبلية للسكان.

- أن تحقق جميع الشروط والمواصفات البيئية والاقتصادية من حيث نوعية الانبعاثات الناجمة عن المحطة وكميتها وكمية الطاقة المستهلكة وكلفتها.
- أن تكون قادرة على إنتاج سماد عضوي يحقق المواصفات المطلوبة من قبل المستخدمين في منطقة المحطة.

8-2-3- أقسام محطات الأسمدة وسير العمليات فيها

عند وصف أنظمة عملية الأسمدة وخطواتها فإنه يجب التمييز بين ثلاث مستويات هي:

- الأجزاء والمنشآت المنفردة للمحطة وعملها، والمتطلبات البيئية والتقنية؛ ومتطلبات التشغيل والسلامة اللازمة.
- القسم المتعلق بتخمير المواد المحضرة ويتضمن التخمير الرئيسي والثانوي
- الآلات والتقنيات المستخدمة لإنجاز العمليات في وحدات المحطة وتشمل (آلات الطحن والتقطيع، آلات التقليب، آلات الغرلة والفرز، آلات الفرز المغناطيسي،..... إلخ)

وقد تتضمن محطة الأسمدة الأقسام التالية أو أجزاء منها حسب كبر المحطة ونوع وكمية النفايات والتكنولوجيا المستخدمة في عملية الأسمدة:

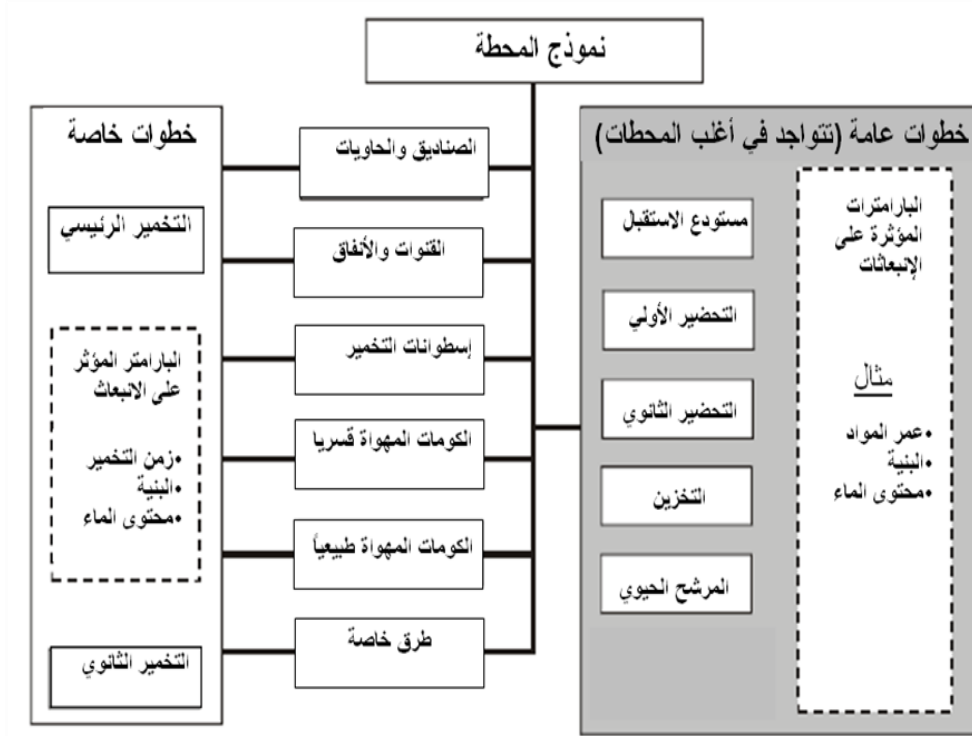
1. مبنى الإدارة والخدمة
2. قسم وزن المواد (النفايات العضوية) وتسجيل كمياتها
3. قسم أو مستودع استقبال وتخزين وتفرغ المخلفات الخام (خزان عميق، أو مستودع سطحي)
4. قسم التحضير الأولي للمواد (فرز، إزالة المعادن والزجاج، تقطيع، خلط المواد ومجانستها)
5. قسم التخمير ويتضمن:
 - الأسمدة الأولية أو الرئيسية (مرحلة التخمير العضوي الرئيسي)
 - الأسمدة الثانوية (مرحلة التخمير الثانوي)
6. قسم التحضير الثانوي للمواد المؤسمة
7. قسم تخزين السماد العضوي (الكومبست)
8. المرشح الحيوي (Biofilter) في حالة المحطات الموهوة المغلقة
9. ملحقات (قد تتضمن: أجهزة التهوية، مغسلة الحاويات، محطة تزويد بالطاقة، مكبس ضاغط للنفايات، محطة حرق النفايات الكبيرة، مطمر للبقايا غير المؤسمة،... إلخ)

في الأسواق العالمية تتواجد عدة نماذج من تصاميم محطات الأسمدة (الكومبست). وفي ألمانيا مثلاً تم تعميم مخطط يبين مراحل سير العمليات في محطات الأسمدة والتقنيات المستخدمة عالمياً يبينه الشكل (8-10).

حيث نلاحظ في هذا المخطط أن هناك:

خطوات أو أقسام عامة: قد تتواجد في أغلب محطات الكومبست وهي (استقبال النفايات، التحضير الأولي للنفايات، التحضير الثانوي للمواد المؤسمة، تخزين الكومبست، المرشح الحيوي)

خطوات خاصة: تتضمن تقنيات التخمير الرئيسي والثانوي وفيما يلي سنأتي على دراسة هذه الخطوات.



الشكل 8-10- مخطط عام لنماذج تصاميم محطات الأسمدة الموجودة حالياً في الأسواق العالمية

1-3-2-8- سير العمليات في محطات الأسمدة

تعمل محطات الأسمدة في العموم وفق مجموعة من الخطوات والعمليات التي قد توجد كلها في بعض المحطات وقد يتم الاستغناء عن بعضها وذلك حسب حجم المحطة وطاقاتها الاستيعابية وشروط التصميم. ويمكن أن نوجزها بما يلي:

1- استقبال المخلفات ووزنها (Biowaste Receiving and Weighing)

يعتبر استقبال النفايات بمعنى ضبط و تنظيم دخول المواد وتخزينها مؤقتاً ريثما يتم تحضيرها للتخمر الخطوة الأولى في سلم مسؤوليات مصنعي الكومبست. حيث تلعب هذه الخطوة دوراً هاماً في تحديد نوعية المواد المقبولة وبالتالي في تأمين جودة السماد الناتج. يتم في هذا القسم (الشكل 8-11):

I- وزن الكميات القادمة (بالطن) في حالة المحطات الكبيرة

II- استيعاب النفايات القادمة

III- تخزينها مؤقتاً ريثما يتم تصنيعها

IV- تحديد نوع النفايات و نسبة المواد الغريبة فيها

V- استيعاب المواد المساعدة والمضافة لإتمام العملية (كنشارة الخشب والكلس،

حمأة مياه الصرف،..... إلخ)

يتم استقبال النفايات أو تخزينها إما على الأرض مباشرة تحت سقف أو بدونه حيث يتم تجهيز التربة ورصها وتعبيدها، وقد توضع المواد مباشرة بدون تسوية الأرض وتجهيزها. وقد تحاط بجدران جانبية مبنية من البيتون أو من حجارة الطوب تحت سقف أو بدونه (الشكل 8-12). هناك بعض المحطات يتم استقبال النفايات فيها في خزان أو مستودع عميق (تحت الأرض) بغطاء أو من دونه. ينصح بإنشاء هذا النوع من المستودعات في حالة كانت النفايات ذات رطوبة مرتفعة وفي حالة التلقيم الآلي للنفايات إلى مرحلة التحضير الأولي (الشكل 8-11).



الشكل 8-11- مخطط يبين عمليات قسم استقبال النفايات.

يجهز قسم استقبال النفايات بحيث يحد من التأثيرات البيئية السلبية على البيئة المحيطة كانبعاثات الغبار والروائح وتسربات الرشاحة. في حالة المحطات الكبيرة الحجم والمؤتمتة يتم استقبال النفايات في صالة مغلقة تشمل أيضاً منشآت التحضير الأولي للنفايات، وذلك من أجل التحكم بالانبعاثات الصادرة. حيث يتم تهوية هذه الصالة عبر عمليات سحب الهواء ليعاد استخدامه في تهوية أقسام المحطة الأخرى، أو يتم ضخه إلى المرشح الحيوي لتنقيته.



الشكل 8-12- نماذج لمستودعات استقبال النفايات: 1- سطحي مسقوف، 2- عميق مغطى

2- التحضير الأولي للمخلفات العضوية (Biowaste Pre-Preparation)

إن عملية التحضير الأولي للنفايات تخدم في المقام الأول تحسين الخواص البيو-فيزيائية للمواد بهدف:

- التمكين من تخمير المواد بشكل مثالي مع ضمان عدم ضياع كبير في محتوى المواد المغذية خلال مراحل عملية الأسمدة و خصوصاً في مرحلة التخمير الرئيسي.
- ضمان التبادل الغازي ضمن جسم الكتلة المخمرة وذلك عبر ضمان حجم معين للمسام وتأمين استقرار بنية المواد.
- إنتاج كومبست ذو جودة مقبولة من حيث نسبة المواد المغذية، ونسبة المواد الضارة كالمعادن الثقيلة والزجاج وغيره.

يتضمن التحضير الأولي للنفايات الخطوات التالية (الشكل 8-13):

أولاً: فرز وفصل المواد الضارة وإزالتها

إن فرز المواد التي يمكن الاستفادة منها كقطع البلاستيك والمعادن والزجاج، وإزالة المواد الضارة كالحجارة وأكياس النايلون من النفايات يشكل ضرورة كبيرة من أجل ضمان جودة الكومبست، وضمان تشغيل الآلات بدون معيقات تسببها الأجزاء الكبيرة والصلبة كالحجارة.

تتم عملية الفرز إما:

- من خلال غربلة النفايات باستخدام مناخل خاصة (الشكل 8-14) لإزالة القطع كبيرة الحجم > 80 مم. تتم عملية الغربلة بعد تقطيع المواد وطحنها وفي مراحل مختلفة من عملية الأسمدة (قد تتم في البداية قبل عملية التخمير، وقد تتم بعد التخمير الرئيسي) ويتم التخلص من بقايا الغربلة في المطامر.

الفصل الثامن المعالجة البيولوجية للنفايات العضوية

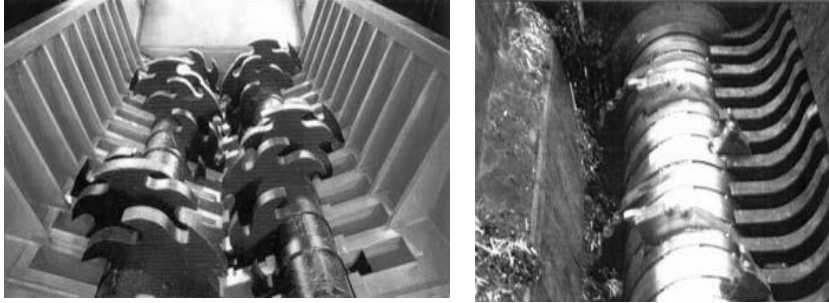
- يدوياً حيث يقوم عمال يرتدون قفازات وأقنعة يققون بجانب السيور الناقلة للنفايات بإزالة الزجاج والبلاستيك بواسطة اليد ويقومون بوضعها في حاويات مخصصة لذلك.
- بواسطة المغناطيس لإزالة القطع الحديدية وذلك في المحطات الآلية كبيرة الحجم.
- بواسطة فرازة القطع الصلبة الثقيلة غير المعدنية لإزالة الحجارة وغيرها.
- بواسطة فرازة القطع الخفيفة لإزالة النايلون وقطع البلاستيك الخفيفة الوزن.

الشكل 13-8- مخطط يبين عمليات فرز المواد وطحنها

الشكل 14-8- غربال مع فرازة هوائية لفرز النايلون

إن النفایات كبيرة الحجم صعبة التفكك كجذوع وجذور الأشجار يجب طحنها وتقطيعها قبل إدخالها مرحلة التخمير وذلك من أجل زيادة المساحة السطحية اللازمة لعمل

البكتريا من أجل تفكيك الليجنين صعب الهضم، ومن أجل تأمين البنية والمسامية اللازمتين لضمان وصول الأكسجين والماء للبكتريا. تتوفر أنواع كثيرة من المطاحن والقطاعات في الأسواق، حيث يبين (الشكل 8-15) بعضاً منها.



الشكل 8-15- نماذج من مطاحن وقطاعات النفايات

ثالثاً: مزج المواد ومجانستها وإضافة المواد المساعدة عند اللزوم تؤمن عملية المزج والمجانسة النسب المطلوبة من الـ C/N والرطوبة وحجم المسام، حيث يتم على سبيل المثال خلط النفايات الخضراء ذات البنية والتركيب الجيد مع النفايات المنزلية ذات البنية المتوسطة الجودة بالنسبة لعملية الأسمدة، أو خلط حمأة مياه الصرف الصحي منزوعة الماء مع النفايات المنزلية.

إن هدف خلط النفايات الخام ومجانستها بعد عملية طحنها يكمن بشكل أساسي في تأمين الفراغات اللازمة لوصول الأكسجين إلى البكتريا، وذلك في كافة مراحل عملية التخمر من دون الحاجة لإجراءات تقنية إضافية مكلفة كإضافة الماء أو التقليب الزائد أو ضخ هواء إضافي،... إلخ.

يتم خلط المواد ومجانستها عادة باستخدام تقنيات وأدوات التقليب والتلقيح كالجرافات، وآلات التقليب واسطوانات الخلط الدوارة والخلاط الحلزوني،... إلخ (الشكل 8-13). إن اسطوانات المزج والخلط الدوارة لها ميزة إمكانية إضافة المواد المساعدة والماء في نفس الوقت التي يتم تلقيح المواد به إلى داخلها.

أثناء عملية استقبال النفايات وتحضيرها تصدر مجموعة من الانبعاثات كالروائح وخاصة من النفايات البلدية ونفايات المطاعم، وانبعاثات غازية مختلفة نتيجة التخمرات اللاهوائية والهوائية، إضافة إلى الأبواغ والبكتريا والفطور المتطايرة والغبار، وتترسب بعض الرشاحة من النفايات وقد تمتزج بمياه غسل الآلات ومياه الأمطار. وعن آلات الطحن والغربة وتلقيح المواد يصدر ضجيج مزعج. لذلك يجب التعامل مع هذه الانبعاثات ومنع وصولها إلى البيئة المحيطة وذلك عبر وضع هذه المنشآت في صالة مغلقة وتهويتها.

3- مرحلة التحلل أو التفكيك (Decomposition)

يمكن تقسيم فترة التخمير خلال عملية الأسمدة من الناحية النظرية إلى مرحلتين تتمايزان من خلال تطور درجات الحرارة ضمن المواد الداخلة في مرحلة التخمير (انظر الفقرة 1-2-8 بند درجة الحرارة) هما:

مرحلة التخمير الرئيسي أو الفعال (Active Composting): وتسمى أحياناً بطور التسخين أو طور التفكيك وتعرف بالتخمير الرئيسي. وفيها تفكيك المواد العضوية سهلة التفكيك وإنتاج مواد انتقالية، حيث يتم تفكيك من (30-40)% من كمية المادة العضوية وتتميز هذه المرحلة بالحاجة إلى كميات كبيرة من الأكسجين لعمل البكتيريا، وتزداد فيها درجات الحرارة كثيراً (حتى 70 درجة مئوية) مما يؤدي إلى تعقيم المواد. تنتهي هذه المرحلة عندما تنخفض درجات الحرارة إلى ما دون 40 درجة مئوية بعد عدة أسابيع دون أن ترتفع مرة أخرى. يتم الحصول في نهايتها إلى سماد من الدرجة الثالثة والرابعة حسب توصيف درجات جودة السماد. بالعلاقة مع تركيب المواد ومع كثافة عملية تهوية المواد فإن هذه المرحلة قد تستمر من 2 إلى أكثر من 3 أسابيع. تقنياً يتم إنجاز مرحلة التخمير الفعال إما:

على مستوى واحد حيث يستمر تفكيك المواد في نفس المكان دون انقطاع حتى الوصول إلى درجة معينة من تثبيت العناصر للدخول في مرحلة الإنضاج ومثالها (التخمير عبر الكومات المصفوفة مع التقليب والتهوية القسرية أو بدونها).

على مستويين حيث تنجز عملية التخمير بداية بشكل مكثف في مفاعل مغلق أو صالة مغلقة (مثالها التخمير في حاويات، قنوات أو في صالات كبيرة مغلقة،... إلخ)؛ ومن ثم يتم إخراج المواد لتبدأ مرحلة التخمير الثانوي حيث يستكمل تخمير المواد بهدف تثبيتها. تستخدم في المستوى الثاني بشكل رئيس تقنية التخمير في الكومات المصفوفة سواء ضمن صالة أو في ساحات مكشوفة مع تقليب أو بدونه بتهوية قسرية أو طبيعية.

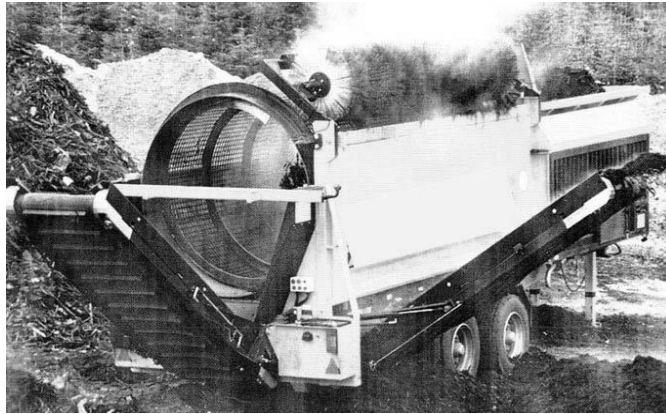
مرحلة التخمير الثانوي أو الإنضاج (Curing): وهي المرحلة التي تبدأ عندما تهبط درجة الحرارة ضمن المواد الخاضعة للتخمير إلى ما دون 40 درجة مئوية دون أن ترتفع فوقها مرة أخرى. هذا يعني أن التخمير الثانوي يتم في درجات الحرارة المعتدلة حيث تقوم الأحياء التي تنشط في الدرجات المعتدلة من الحرارة بهضم وتفكيك المواد الصعبة كالخشبين وغيره. وفي هذه المرحلة يتم تثبيت المواد وتحويلها تقريباً إلى كومبست ناضج. تتعلق مدة التخمير الثانوي بدرجة جودة الكومبست المطلوبة.

يتم إنجاز التخمير الثانوي عادة في كومبات مصفوفة على شكل هرم أو شبه منحرف أو متوازي مستطيلات وهي على الأغلب تكون مهواة طبيعياً عبر عمليات التقليب إلا في حالة زاد ارتفاع الكومة عن 2,5 م حيث يجب في هذه الحالة استخدام التهوية القسرية.

4- التحضير النهائي للكومبست (Final Preparation For Compost)

يتم التحضير النهائي أو الثانوي للسماد بعد الانتهاء من مرحلة الأسمدة الثانوية، وقد يتم في مرحلة التخمير الرئيسي أو الأولي بعد مراعاة شروط و بارامترات التخمير من درجات الحرارة والرطوبة وغيرها. الهدف الرئيس من هذه المرحلة هو تصنيع الكومبست اللازم لكافة الاستخدامات، ونزع الأجزاء التي لم يتم تفكيكها من السماد كبقايا الأخشاب والحجارة والمواد البلاستيكية والزجاجية المتبقية من عمليات التحضير الأولي. يتم ذلك عبر المناخل مختلفة الأقطار (الشكل 8-16)، وأيضاً باستخدام فرزاة النايلون والحجارة والزجاج (الشكل 8-14)، ومن ثم مطاحن لتأمين أنواع السماد للاستخدامات المختلفة.

تنشأ عن عملية التحضير النهائي للمواد المخمرة روائح وغبار بالدرجة الأولى، إضافة إلى الضجيج الصادر عن عمل الآلات. يتم التحكم بهذه الانبعاثات عبر إجراء العمليات في طقس جيد قليل الهواء أو عن طريق وضع هذه المنشآت ضمن صالة مسقوفة أو مغلقة وتهوية هذه الصالة ومن ثم ضخ الهواء الملوث إلى مرشح حيوي أو مبادل غازي لتنقيته.



الشكل 8-16- غريال دوار يستخدم لازالة الأخشاب وغيرها من الكومبست

5- تخزين السماد

يتم تخزين السماد في محطات الكومبست في مكان مجهز لهذا الغرض. ويشغل مكان تخزين الكومبست مساحة واسعة من المحطة تأتي بالمرتبة الثانية من حيث توزيع المساحات المطلوبة للأقسام المختلفة بعد مساحة التخمير.

إن الغاية من تخزين السماد الناتج هو إعطاء السماد فترة إضافية لمتابعة عملية تثبيت المواد من أجل الحصول في أي وقت على سماد صحي للتربة وبدون رائحة تذكر. يخدم تخزين السماد أيضاً تغطية حاجة السوق في كل الأوقات، وخصوصاً في الفترات الموسمية التي يقل فيها إنتاج المحطة بسبب قلة النفايات الأولية الداخلة إلى المحطة. يجب أن يجهز المخزن بحيث يؤمن حماية الكومبست من تأثير الملوثات و تغيرات الطقس كالأمطار والرياح وغير ذلك، وبالتالي يحافظ على الكومبست ضمن الجودة المطلوبة.

لحفاظ على جودة السماد المخزن فإنه من الأفضل تخزينه ضمن صالة مغلقة كما في المحطات الضخمة، أو وضعه تحت سقف في المحطات متوسطة الحجم والصغيرة. كما يجب تجهيز أرضية المخزن بحيث تكون كثيفة ومائلة من أجل منع تجمع أي سوائل عليها. تستمر فترة تخزين السماد من يوم واحد إلى عدة أشهر حسب طلب السوق، يوضع خلالها السماد ضمن كومات لا يتجاوز ارتفاعها (1,5 م) من أجل ضمان عدم تشكل بؤر لا هوائية داخل السماد تؤدي إلى نشوء الروائح. حيث أن عملية إنضاج الكومبست قد يستمر خلال فترة التخزين.

تكون الانبعاثات الصادرة عن قسم تخزين الكومبست قليلة مقارنة مع بقية الأقسام. وتصدر رائحة ليست قوية في حالة السماد الناضج. وأثناء عملية تعبئة السماد من أجل تسويقه ينبعث الغبار. يمكن التقليل من تأثير هذه الانبعاثات على الوسط المحيط عن طريق بناء سقف وجدران للمخزن.

6- تسويق السماد

يجب أن يحقق السماد الناتج المواصفات القياسية اللازمة لنوع الاستخدام المطلوب (زراعة النباتات الورقية، زراعة الأشجار، تدفئة البيوت البلاستيكية، أو تحسين خصائص التربة،.... إلخ). إذ يقوم كل بلد بوضع معايير ومقاييس محددة لضمان جودة السماد العضوي الناتج عن عملية المعالجة البيولوجية للنفايات بما يتناسب مع نوع استخدام الكومبست و بما يضمن صحة البيئة والإنسان.

تتعلق جودة السماد العضوي الناتج عن عملية الأسمدة الهوائية إلى درجة كبيرة بدرجة نقاوة المواد الأولية ودرجة فرزها. فالنفايات العضوية التي يتم جمعها بنظام الفرز في المنازل والمطبعة في الدول المتقدمة تكون أفضل من حيث جودة السماد الناتج. وأفضل أنواع السماد العضوي هو السماد العضوي الناتج عن أسمدة البقايا الزراعية غير المشوبة بأي نوع آخر من النفايات.

على العكس من ذلك فإن النفايات التي جمعت بشكل مختلط ولم يتم فرزها في المصدر تنتج سماداً عضوياً يحتوي الكثير من الشوائب كالزجاج والنايلون وكثير من المعادن الثقيلة.

وعموماً يتصف السماد الجيد الناضج المستخدم من أجل التسميد وتحسين نوعية التربة بالمواصفات المينة في الجدول 5-8. يتم تعبئة السماد الناتج في أكياس ومن ثم تسويقه أو يتم بيعه بدون تعبئة إذا كانت الكميات المطلوبة كبيرة.

الجدول 5-8- مواصفات الكومبست الجيد الناضج المستخدم للتسميد وتحسين نوعية التربة

	الصفة	الوصف والحدود المثلى
1	اللون	اللون البني الداكن أو الغامق
2	القوام	القوام اسفنجي
3	الرائحة	مقبولة كرائحة التراب المرشوش بالماء
4	درجة التخمر	IV-V الرابعة والخامسة
5	الكثافة	لا تزيد عن 700 كغ/م ³
6	درجة الحرارة	أعلى من حرارة الجو الخارجي بـ 5 - 10 درجة مئوية
7	نسبة الرطوبة	أقل من 30%
8	درجة الـ pH	أقل من 8
9	الأكسجين	أكبر من 5%
10	ثاني اكسيد الكربون	بين 1-2%
11	النيتروجين الكلي	أكبر من 1%
12	الفوسفور الكلي	أكبر من 0,8%
13	البوتاسيوم الكلي	أكبر من 1%
14	الرماد	بين 70-80%
15	المادة العضوية	أكبر من 30%
16	الدبال	بين 25-30%
17	C/N	بين 10 إلى 15
18	تركيز المعادن الثقيلة مغ/كغ مادة جافة	الرصاص: 150، الكاديوم: 1,5 ، الكروم: 100، الزئبق: 1، النيكل: 50، النحاس: 100، الزنك 400

كما يتم تصنيف أنواع السماد وفقاً لمدة الأسمدة التي خضعت لها المواد العضوية ودرجة الحرارة والتعقيم التي وصلت إليها المواد خلال مراحل التخمير (درجة النضوج) فنجد في المراجع الألمانية سماد من الدرجة الأولى (I) والثانية (II) والثالثة (III) والرابعة (IV) والخامسة (V) انظر الجدول (3-8).

2-3-2-8- تقنيات التخمير المستخدمة حالياً في محطات الأسمدة

على مستوى العالم تنتشر حالياً عدة أنظمة وتقنيات للتخمير الرئيسي والثانوي في محطات الأسمدة متوسطة وكبيرة الحجم، ولا يمكن القول إن أحداً من التقنيات المنتشرة حالياً في العالم هو الأمثل لعملية الأسمدة في كل الشروط والظروف. ويوجد عدة تصنيفات لهذه الأنظمة والتقنيات، حيث يمكن تصنيفها تبعاً لوصف مكان إجراء عملية الأسمدة إلى:

– الأنظمة المغلقة وتسمى في المراجع المختلفة بعدة أسماء هي: Contained,

Enclosed; In-Bay or In Reactor, In-Vessel Systems

– الأنظمة المفتوحة: Open or Outdoor Systems

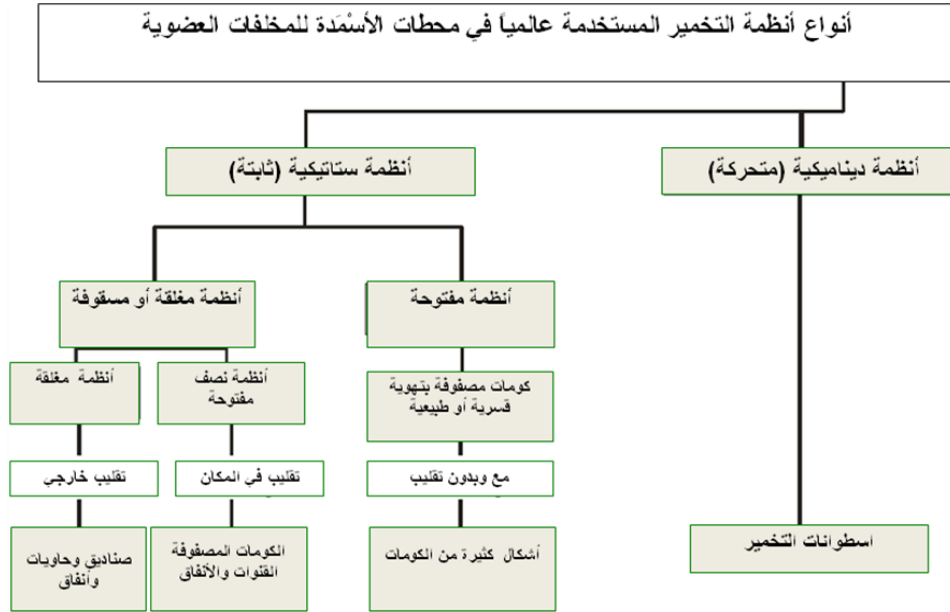
كما تصنف أيضاً تبعاً لحجم التكنولوجيا المستخدمة في عملية الأسمدة إلى:

– أنظمة منخفضة التكنولوجيا (Low-Tec) كالكومات المصفوفة المهواة طبيعياً.

– أنظمة نصف تكنولوجية (Mid-Tec) كالكومات المصفوفة المهواة قسرياً.

– أنظمة عالية التكنولوجيا (High-Tec) كالحاويات والصناديق والقنوات والأنفاق والاسطوانات الدوارة.

ويوجد أيضاً تصنيف وفقاً لحركة ووصف مكان إجراء عملية الأسمدة وفق المخطط في الشكل (8-17). وفي ألمانيا يستخدم حالياً التصنيف الذي يبينه الشكل (8-10) وهو الذي سنعتمده فيما يلي، على الرغم من وجود تطور دائم في تكنولوجيا عملية الأسمدة يؤدي إلى تطوير تصنيفات جديدة.



الشكل 8-17- مخطط يبين أنظمة التخمير المتبعة في محطات الأسمدة للمخلفات العضوية

الأسمدة في الصناديق والحاويات (Boxes /Container Composting)

يتشابه نظاما الصناديق والحاويات في محطات الأسمدة من حيث مخطط سير العمليات (الشكل 8-18)، حيث تنجز مرحلة التخمير الرئيسي في غرف مغلقة مع تهوية قسرية (الشكل 8-18) ويتم سحب الهواء المضخوخ ليصار إلى استخدامه ثانية أو تنقيته عبر المرشح الحيوي أو بطرق أخرى.

تتراوح سعة الحاوية أو الصندوق الواحد بين (20 - 60) م³. حيث يتم إدخال النفايات التي تم تحضيرها في مرحلة التحضير الأولي إلى هذه الحاويات والصناديق بواسطة جرافات، وقد يتم تلقيمها آلياً. بعد ملء الحاويات أو الصناديق يتم تهوية المواد عبر عمليات ضخ و/أو سحب الهواء من خلال أنابيب أو أرضيات مثقبة تثبت فيها منافث للهواء (Blowers) موضوعة في أرضية أو سقف كل منها، ومن ثم سحبه من الأعلى أو من الأسفل ليذهب بعدها إلى المرشح الحيوي أو يعاد استخدامه وذلك عبر نظام تهوية متكامل لكل المحطة (انظر الشكل 8-29).

تستمر مرحلة التخمير الرئيسي من 7 إلى 14 يوماً، يجب أن يتم فيها تفكيك الجزء الأكبر من المواد العضوية والوصول إلى درجة معينة من تعقيم المواد عبر درجات الحرارة العالية. تمتاز هذه الطريقة بإمكانية المراقبة والتحكم الكاملين في بارامترات عملية التخمير (درجة الحرارة، رطوبة المواد، محتوى CO₂، والـ O₂ في الغاز العادم المسحوب من كل حاوية أو صندوق). وأيضاً تمتاز بإمكانية التحكم بكمية الهواء المضخوخ وبالتالي بدرجة تفكيك المواد.

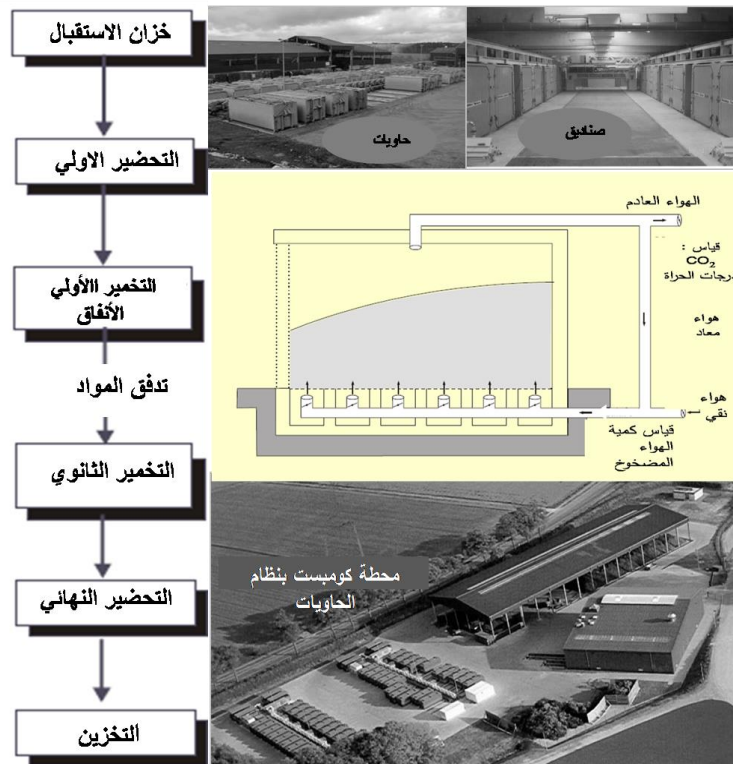
ومن أهم مزايا هذه الطريقة تخفيف الانبعاثات الصادرة عن المحطة كالروائح و الرشاحة والغبار وذلك من خلال إمكانية تجميع الهواء الملوث والرشاحة الملوثة ومعالجتهما. بعد إنتهاء مرحلة التخمير الرئيسي في الصناديق والحاويات فإننا نحصل على كومبست من الدرجة الأولى (I) أو الثانية (II). في حالة أردنا الحصول على كومبست ذي جودة أعلى فإنه يجب إجراء مرحلة التخمير الثانوي في كومات مصفوفة أو قد تعاد المواد إلى الصناديق والحاويات ونتابع عملية التخمير.

الجدول 6-8- مزايا تقنية الصناديق والحاويات في محطات الأسمدة

مدة التخمير الرئيسي	التخمير في الصناديق 6-7 أيام	التخمير في الحاويات 10-14 يوماً
مدة التخمير الثانوي	3 أشهر في كومات مصفوفة مهواة طبيعياً على شكل شبه منحرف وهرمي، قد تكون مكشوفة أو تحت سقف	شهر أو شهرين في كومات مصفوفة مهواة طبيعياً
حجم الصناديق والحاويات	60م ³ لكل صندوق بكمية 1250-1500 طن/سنة	حوالي 22م ³ لكل حاوية، تعالج حتى 30000 طن/سنة
المساحة اللازمة	وسطياً 0,7-0,6 م ² /طن.سنة	وسطياً 0,7-0,6 م ² /طن.سنة
إمكانية توسيع المحطة	جيدة جداً عن طريق إضافة صناديق جديدة في حالة زيادة معدل تولد النفايات	جيدة جداً عن طريق زيادة عدد الحاويات في حال زيادة معدل تولد النفايات
نوع النفايات المعالجة	نفايات خضراء ومنزلية، ونفايات الأسواق ومختلطة	نفايات خضراء ومنزلية ومختلطة
إمكانية التحكم بالعمليات (الرطوبة، O ₂ ، الحرارة)	ضخ الأكسجين إلى الصناديق بناء على نسبة CO ₂ في الهواء الخارج من الصندوق يتم آلياً، الترطيب والتحكم بالحرارة ممكن	يتم تنظيم ضخ الهواء إلى الحاوية بواسطة الكمبيوتر عن طريق قياس O ₂ في الهواء الخارج
الانبعاثات الصادرة وكيفية التحكم	الروائح تعالج عن طريق تحويل تيار الهواء الخارج إلى المرشح الحيوي، ويتم تجميع الرشاحة وإعادة تدويرها ضمن النظام ومعالجتها.	الروائح تعالج عن طريق تحويل تيار الهواء الخارج إلى المرشح الحيوي، ويتم تجميع الرشاحة وإعادة تدويرها ضمن النظام ومعالجتها.
الكلفة	كبيرة نوعاً ما وتحدد بحسب كل بلد وحسب حجم المواد الداخلة	كبيرة نوعاً ما وتحدد بحسب كل بلد وحسب حجم المواد الداخلة

في نظام الصناديق والحاويات لا يتم تقليب المواد، ويختلف النظامان عن بعضهما فقط في كيفية تلقيم المواد إلى مرحلة التخمير الرئيسي أو الثانوي وكيفية تفرغهما. حيث يتم ملء الصناديق عادة باستخدام جرافة أو عبر سيور ناقلة في المحطات كاملة الأتمتة، ويتم إخراج المواد من الصندوق أيضاً بنفس الأساليب. في الحاويات يتم نقل

الحاوية بعد ملئها بالمواد المحضّرة بواسطة رافعة أو شاحنة إلى منطقة التخمير، ويتم استخدام الرافعة أو الشاحنة من أجل تفريغها. يعد نظام الحاويات والصناديق نظاماً مرناً يمكنه استيعاب زيادة المخلفات مع الزمن عبر إضافة وحدات جديدة (صندوق أو حاوية)، كما أنه يحتاج إلى مساحات أقل بكثير من تلك التي تحتاجها أنظمة الكومات المصفوفة. ويبين الجدول (6-8) مزايا هذا النموذج من تقنيات الأسمدة الهوائية.



الشكل 8-18- نموذج تقنية الصناديق والحاويات لمحطات الأسمدة مع مخطط سير العمليات وكيفية التهوية [6]، [10]

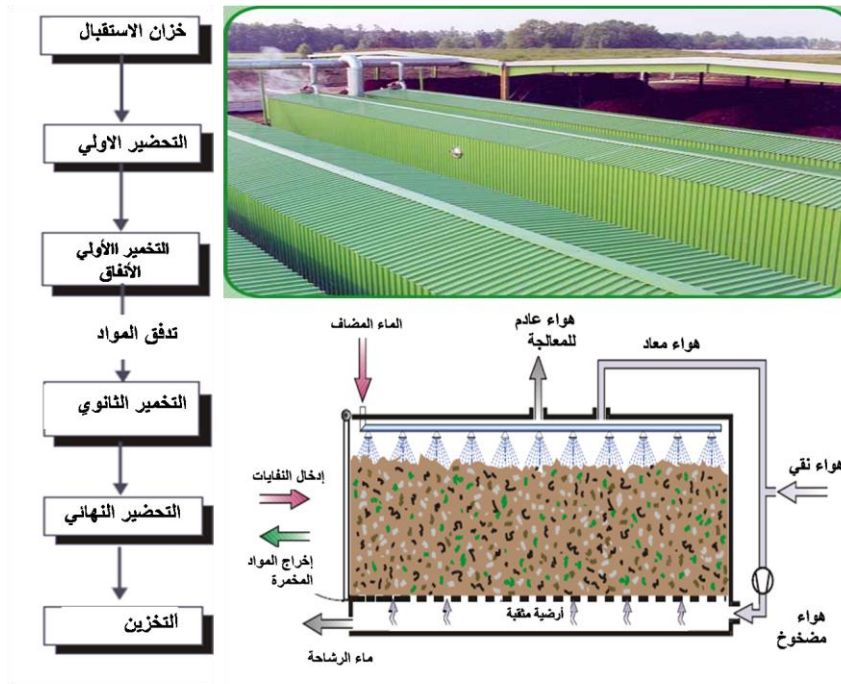
الأسمدة في القنوات والأنفاق (Channal/Tunnel Composting)

في نظام القنوات (Channals) يتم التخمير الرئيسي والثانوي للمخلفات العضوية في قنوات مفتوحة من الأعلى مفصولة عن بعضها بحدان الشكل (8-19). يتم فيها تلقيح وتقليب المواد بآلات خاصة تتحرك على الجدران الجانبية للقناة. يتم تهوية كل قناة بشكل منفصل تهوية قسرية من خلال فتحات تهوية في قاعدة كل قناة عبر عمليات الضخ مع التقليب حتى يتم الحصول على درجة الكومبست المطلوبة. من أجل التخفيف من انبعاث الروائح والغازات الأخرى من المحطة يتم عادة كبسلة القنوات عبر وضعها في صالات كبيرة مغلقة ومن ثم تهوية هذه الصالات. ويتم إعادة تدوير

الهواء فيها بين أقسام المحطة المختلفة، والهواء العادم من جميع أقسام المحطة يتم جمعه وتوجيهه إلى مرشح حيوي ليتم تنقيته بهدف التقليل من الانبعاثات الغازية الضارة والروائح المزعجة.



الشكل 8-19- نموذج لنظام القنوات في محطات الأسمدة مع مخطط سير العمليات [6]، [10]



الشكل 8-20- نموذج عن نظام الأنفاق مع مخططي سير العمليات والتهوية

الأنفاق (Tunnels) تختلف عن القنوات بأنها مغلقة من الأعلى وتتشابه مع الحاويات والصناديق لكنها أكثر طولاً (الشكل (8-20)). حيث يعالج كل نفق كمية من النفايات أكثر من 5000 طن في السنة.

يتم تهوية الأنفاق قسرياً عبر ضخ الهواء أو سحبه من خلال منافث الهواء (Blowers) (الشكل 20-8)، حيث يعاد استخدامه عدة مرات حتى يتحول إلى هواء عادم تتم تنقيته عبر المرشحات الحيوية. تبقى المواد في النفق من أسبوع حتى ثلاثة أسابيع حسب الدرجة المطلوبة من الكومبست. في حالة الطلب على كومبست ناضج فإنه يجب وضع المواد في مرحلة التخمير الثانوي على شكل كومات مصفوفة. يتم ملء الأنفاق وإفراغها بواسطة الجرافات الصغيرة (تراكس). ويتم ضبط العمليات آلياً عن طريق التحكم بدرجات الحرارة ومحتوى الأكسجين والضغط. رطوبة الهواء المضخوخ وكميته تبقى اختيارية، ويتم تصحيح الأعطال الحاصلة عبر التحكم بمضخات الهواء ومضخات المياه. مزايا نموذج القنوات والأنفاق وخصائصه يوضحها الجدول (7-8).

الجدول 7-8- مزايا وخصائص نظام القنوات والأنفاق في محطات الأسمدة

مدة التخمير الأولي	التخمير في القنوات	التخمير في الأنفاق
9-11 أسبوعاً	10-14 يوماً	
لا يتم هنا التمييز بين التخمير الثانوي والرئيسي	8-12 أسبوعاً في كومات مصفوفة مهواة طبيعياً موضوعة تحت سقف	
حجم القنوات والأنفاق	1000-1500 طن/سنة لكل قناة	1000-1500 طن/سنة لكل نفق
المساحة اللازمة	وسطياً 0,6-0,7 م ² /طن.سنة	وسطياً 0,6-0,7 م ² /طن.سنة
إمكانية التوسع	جيدة جداً عن طريق إضافة قنوات جديدة في حالة زيادة معدل النفايات	جيدة جداً عن طريق زيادة عدد الأنفاق
نوع النفايات المعالجة	نفايات خضراء ومنزلية، ونفايات الأسواق ومختلطة	نفايات خضراء ومنزلية، ونفايات الأسواق ومختلطة
إمكانية التحكم بالعمليات (الرطوبة، O ₂ ، الحرارة)	ضخ الأكسجين بناء على نسبة CO ₂ في الهواء الخارج من الصندوق يتم آلياً، الترطيب والتحكم بالحرارة ممكن.	ضخ الأكسجين بناء على نسبة CO ₂ في الهواء الخارج من الصندوق يتم آلياً، الترطيب والتحكم بالحرارة ممكن.
الإنبعاثات الصادرة وكيفية التحكم	الروائح تعالج عن طريق تحويل تيار الهواء الخارج إلى المرشح الحيوي، ويتم تجميع الرشاحة وإعادة تدويرها ضمن النظام ومعالجتها.	الروائح تعالج عن طريق تحويل تيار الهواء الخارج إلى المرشح الحيوي، ويتم تجميع الرشاحة وإعادة تدويرها ضمن النظام ومعالجتها.
الكلفة	كبيرة نوعاً ما وتحدد بحسب كل بلد وحسب حجم المواد الداخلة	كبيرة نوعاً ما وتحدد بحسب كل بلد وحسب حجم المواد الداخلة

الأسمدة في الاسطوانات الدوارة (Rotary Drum Composting)

ينتشر استخدام اسطوانات التخمير بشكل رئيس في أسمدة النفايات المختلطة غير المفروزة. من خلال الحركة الدورانية لاسطوانات التخمير يتم خلط النفايات ومجانستها وحتى أحياناً تقطيعها وبنفس الوقت يتم تهويتها إما قسرياً في حالة المحطات الكبيرة أو طبيعياً من خلال ثقب في الاسطوانات في حالة المحطات ذات الكميات الصغيرة. يمكن استخدام اسطوانات التخمير فقط للتخمير الرئيسي. حيث تستمر فترة بقاء المواد في الاسطوانة من 1 إلى 7 أيام. اسطوانات التخمير ذات مدة البقاء الصغيرة تؤدي عادة مهمة تحضير أولي للنفايات، حيث تتم عملية تعقيم المواد في هذه الحالة فقط في مرحلة التخمير الثانوي. تعتبر هذه الطريقة مكلفة بسبب الطاقة المصروفة على تحريك الاسطوانات لذلك قل استخدامها عالمياً. يبين الشكل 8-21 مخطط سير العمليات في هذا النموذج من محطات الأسمدة. حيث أنه يمكن أن تسير العمليات وفق خطين مختلفين حتى مرحلة التخمير الثانوي وذلك تبعاً للشركات المصممة لهذا النموذج. ويبين الجدول 8-8 مزايا هذه الطريقة.



الشكل 8-21- نماذج لنظام اسطوانات التخمير مع مخطط سير العمليات

الفصل الثامن المعالجة البيولوجية للنفايات العضوية د.كوكب حسين حربا

الجدول 8-8- مزايا وخصائص تقنية الاسطوانات الدوارة في محطات الأسمدة

مدة الأسمدة الأولية	10-1 أيام
مدة الأسمدة الثانوية	8-10 أسابيع في كومات مصفوفة مهواة طبيعياً أو قسرياً
حجم الاسطوانات	1300-3000 طن/ سنة لكل اسطوانة
المساحة اللازمة	وسطياً 0,6-0,7 م ² / (طن.سنة)
إمكانية التوسع	جيدة جداً عن طريق إضافة قنوات جديدة في حالة زيادة معدل إنتاج النفايات
نوع النفايات المعالجة	نفايات خضراء ومنزلية، ونفايات الأسواق ومختلطة
إمكانية التحكم بالعمليات (الرطوبة، O ₂ ، الحرارة)	ضخ الأكسجين بناء على نسبة CO ₂ في الهواء الخارج يتم آلياً، الترطيب والتحكم بالحرارة ممكن.
الإنبعاثات الصادرة وكيفية التحكم	الروائح تعالج عن طريق تحويل تيار الهواء الخارج إلى المرشح الحيوي، ويتم تجميع الرشاحة وإعادة تدويرها ضمن النظام ومعالجتها.
الكلفة	الكلفة الكلية كبيرة نوعاً ما لكن كلفة التشغيل أقل وتحدد بحسب كل بلد وحسب حجم المواد الداخلة

الكومات المصفوفة المهواة طبيعياً (Passive Aerated Piles)

تعتبر طريقة الكومات الهرمية المصفوفة المهواة طبيعياً عبر التسرب (Passive Windrows) من أقدم وأبسط الطرق المستخدمة للأسمدة الهوائية والأقل كلفة أيضاً وتعتبر الطريقة السائدة في المناطق الريفية و المزارع. في هذه الطريقة يتم استقبال النفايات في مستودع سطحي على الأغلب ومن ثم يتم نقلها إلى منطقة التحضير الأولي بواسطة جرافات أو آلات خاصة، حيث يتم فرزها وتقطيعها ومجانستها وفق النسب المثالية للرطوبة وال pH وال C/N. توضع النفايات الناتجة عن مرحلة التحضير الأولي بواسطة الجرافات أو آلات أخرى مباشرة على أرض حقل معد مسبقاً لهذا الغرض وذلك على شكل كومات هرمية مكشوفة أو تحت سقف من أجل التخفيف من تأثير العوامل الجوية. يتم تهوية هذه الكومات طبيعياً عن طريق تسرب الهواء النقي البارد إلى داخل الكومة وخروج الهواء الساخن من داخلها بالاعتماد على مبدأ فروق تركيز CO₂ و O₂ داخل وخارج الكومة (الشكل 22-8). وفي هذه الحالة يجب أن تتمتع الكومة ببنية ومسامية ورطوبة جيدة وألا يزيد ارتفاعها عن 1,5 م كي تتم عملية وصول الأكسجين إلى البكتريا وبالتالي منع حدوث التخمرات اللاهوائية وانطلاق الروائح المزعجة والرشاحة الملوثة. أما عرض قاعدة الكومة فيفضل ألا يزيد عن 3 م، والطول يبقى اختيارياً.

في حالة تم إنشاء الكومات ضمن الشروط المذكورة سابقاً فإن الأكسجين اللازم يصل بالتسرب إلى كل كتلة النفايات في الكومة وتسير العملية بدون أية مشاكل في الروائح أو غيرها. في حالة كانت الكومة كبيرة جداً أو عالية الرطوبة والكثافة فإن التهوية الطبيعية تفشل في إيصال الأكسجين إلى البكتريا، وتتسبب ظروف لاهوائية في قلب وقاعدة الكومة تؤدي إلى انطلاق روائح مزعجة. أما إذا كانت أبعاد الكومة صغيرة وكثافة المواد صغيرة فإن ذلك يؤدي إلى ضياع كبير في الحرارة وبالتالي إلى تباطؤ أو حتى توقف عملية الأسمدة برمتها. يتم قياس الأكسجين بواسطة جهاز يمسك باليد يقيس بالتزامن درجات الحرارة ونسبة الأكسجين.

حسب أبعاد هذه الكومات فإنه يمكن الحصول على كومبست ناضج خلال فترة تتراوح بين عام إلى ثلاثة أعوام حسب نوعية المخلفات. هذه الطريقة تستخدم في حالة محطات الأسمدة الصغيرة الحجم التي لا تزيد طاقتها التصميمية عن 6500 طن/سنة. في حالة الكومات التي يزيد ارتفاعها عن 1,5 م وعرض قاعدتها عن 3 م يتم تعزيز ودعم تهويتها من خلال قلبها بواسطة الجرافات وآلات الانقلاب بشكل دوري لمنع تشكل بؤر لاهوائية في قلب الكومة وبالتالي انتشار الروائح المزعجة (الشكل 22-8). تكون هذه الكومات في الغالب هرمية الشكل أو بشكل شبه منحرف وتستخدم غالباً في حالة النفايات الخضراء الصرفة.

إن قلب الكومات يستبدل المواد داخلها بتلك التي كانت في الخارج ويعمل على خلخلة البنية لإدخال الهواء إلى الفراغات الحاصلة وتحرر الحرارة وبخار الماء، وهو ما نراه على شكل دخان عند قلب الكومة. قد تتحرر بعض العوالق الحيوانية (كأبواغ البكتريا والفطور والأكتينومايستات) خلال عملية القلب، وفي حال وجود تفاعلات لاهوائية ضمن المواد تتحرر كميات كبيرة من الروائح النفاذه والمزعجة.

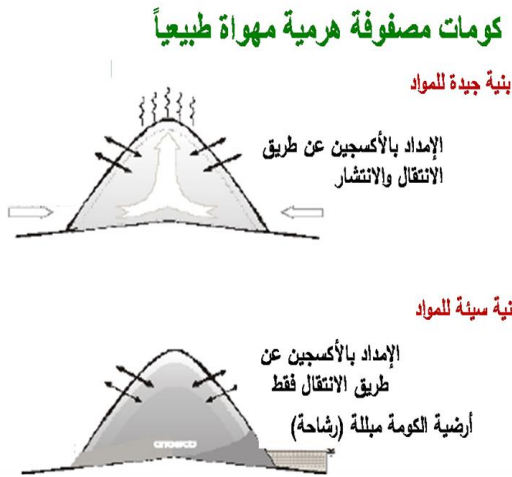
يجري قلب الكومات مرة يومياً في بداية وضع الكومة، ومن ثم مرة أسبوعياً. وفي مرحلة التخمير الثانوي والإنضاج مرة كل أسبوعين أو أكثر. يمكن إضافة الماء أثناء القلب في حال وجود مؤشر على نقصان الرطوبة عن الحدود المثلى.

عند اختيار نظام قلب الكومات هناك عدة اعتبارات يجب أخذها بالحسبان تتعلق بالمساحات المتوفرة وبالكلفة المرصودة للعملية. حيث أن هناك عدة أنظمة مستخدمة لقلب الكومات منها:

- القلب في المكان حيث لا يتغير موقع الكومة أثناء عملية القلب وتتم هذه العملية بواسطة آلة القلب المبنية في الصورة العلوية من الشكل (22-8).

- التقليل عبر نقل الكومة إلى مكان مجاور بجانبها متعامد مع طول الكومة بواسطة جرافات أو آلات تقليل خاصة كما هو مبين في الصورة السفلية في الشكل (8-22). وقد تعاد الكومة إلى مكانها الأولي عند التقليل الثاني.
- التقليل عبر نقل المواد بواسطة جرافات إلى مكان فارغ على امتدادها الطولي ومن ثم إعادتها إلى مكانها الأصلي في التقليل الثاني.

عند تصميم المساحة اللازمة لمحطة الأسمدة التي تستخدم تقنية الكومات المصفوفة المهواة طبيعياً يجب أخذ المساحات اللازمة لحركة آلات نقل المواد وتقليبها بعين الاعتبار. من أجل تحكم أفضل بالعمليات خلال الأسمدة بنظام الكومات المصفوفة المهواة طبيعياً، فإنه يفضل وضع الكومات على أرضيات من البيتون أو الإسفلت المصبوبة بميل قليل في اتجاه معين من أجل السماح بتجميع الرشاحة. والرشاحة المتجمعة إما أن تستخدم من أجل ترطيب الكومبست أو تجمع في خزان لتتم معالجتها. في بعض الأنظمة يتم وضع الكومات على الأرض مباشرة بعد رصها بشكل جيد، لكن هذا قد يؤدي إلى تسرب الرشاحة إلى التربة والمياه الجوفية في المنطقة. بين الجدول 8-9 بعض مزايا وخصائص تقنية الكومات المصفوفة المهواة طبيعياً.



الشكل 8-22 نظام الكومات المصفوفة المهواة طبيعياً المسقوفة والمكشوفة مع نماذج من طرق التهوية والتقليل

الجدول 8-9- مزايا وخصائص تقنية ونظام الكومات المصفوفة المهواة طبيعياً

مدة الأسمدة الأولية	12-36 أسبوعاً
مدة الأسمدة الثانوية	لا يمكن تمييزها هنا
حجم المواد الداخلة	40000-6000 طن/سنة
المساحة اللازمة	1-2,2 م ² /طن.سنة
إمكانية التوسع	جيدة جداً عن طريق إضافة كومات جديدة في حالة زيادة معدل إنتاج النفايات
نوع النفايات المعالجة	نفايات خضراء ومنزلية، ونفايات الأسواق ونفايات مختلطة.
إمكانية التحكم بالعمليات (الرطوبة، O ₂ ، الحرارة)	ضخ الأكسجين إلى القنوات يتم عبر التسرب والتقليب والتحرك، الترطيب والتحكم بالحرارة يتم من خلال تحسين البنية والتقليب.
الإنبعاثات الصادرة وكيفية التحكم	معالجة الروائح غير ممكنة، يمكن فقط التقليل من انبعاثها عبر الإجراء الجيد لعملية الكومبست والتقليب الجيد، ويمكن أيضاً تغطية الكومة بواسطة العشب أو الكومبست الناضج للتخفيف من انبعاث الروائح. الرشاحة يمكن التحكم بها عن طريق تجهيز أرضية الحقل إما بتغطيتها بالإسفلت أو البيتون أو رص تربة الحقل بشكل جيد يخفف تسرب الرشاحة، ومن ثم تجهيز قنوات صغيرة لتجميع هذه الرشاحة في حفرة ليتم معالجتها.
فترات التقليب	في حالة استخدام التقليب لتعزيز التهوية يتم تقليب الكومة كلما انخفضت درجات الحرارة وعادة في الأسبوعين الأولين يجري التقليب كل ثلاثة أيام وبعد ذلك أسبوعياً.
الكلفة	أقل تقنيات الأسمدة كلفة لكنها الأكبر من حيث تكلفة الأرض، وتحدد بحسب كل بلد وحسب حجم المواد الداخلة.

الكومات المصفوفة المهواة قسرياً (Active Aerated Pile)

تختلف الكومات المصفوفة المهواة قسرياً عن تلك المهواة طبيعياً بأن الهواء يتم ضخه إلى داخل الكومة من خلال منافث هواء (Blowers) موضوعة في أسفل الكومة وتعمل بطريقتين إما بسحب الهواء أو ضخه. يتم اللجوء إلى هذا النوع من أنظمة الكومات عندما يكون حجم النفايات كبيراً والمساحة المتوفرة صغيرة وعندما يكون استخدام التقنيات الأخرى مكلفاً.

هناك عدة أنماط من الكومات المصفوفة المهواة قسرياً يمكن إيجازها بما يلي:

- الكومات المصفوفة المهواة بالسحب (شفط الهواء) و/أو الضغط (ضخ الهواء) مع أو بدون تقليب والمفتوحة أو تحت سقف وتكون إما هرمية أو بشكل شبه منحرف أو بشكل قوالب متوازية المستطيلات الشكل (23-8).

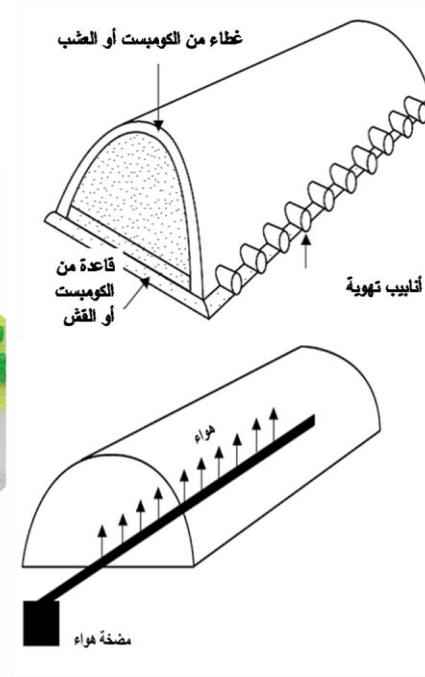
– الكومات المصفوفة المهواة بالسحب (شفط الهواء) و/أو الضغط (ضخ الهواء) مع أو بدون تقليب والموضوعة ضمن صالة مغلقة وتكون بشكل شبه منحرف أو بشكل قوالب متوازية المستطيلات.

في طريقة الكومات المهواة قسرياً دون تقليب (Aerated Static Pile) والموضوعة في الخارج، تعتبر طريقة سحب الهواء أفضل من ناحية التحكم بالروائح. حيث يتم سحب الهواء من الكومات الموضوعة حديثاً وضخه في قاعدة كومات الكومبست الناضج، حيث تعمل الأخيرة كمرشح حيوي يخفف من انبعاثات الروائح وغيرها. من مساوئ طريقة التهوية بالسحب أنه لا يمكن دفع الهواء إلى داخل الكومة بنفس الكمية التي يتم تأمينها عبر التهوية بالضح.

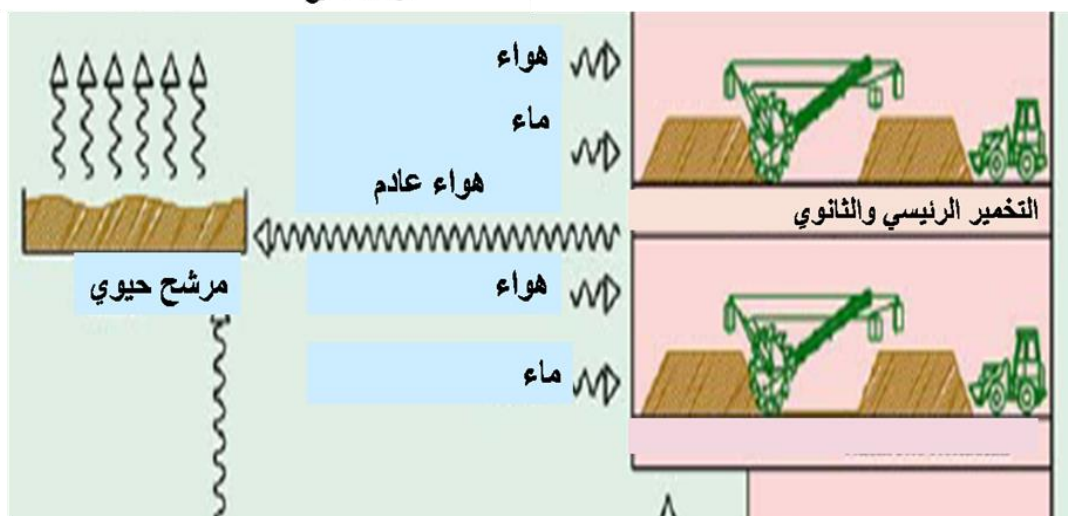
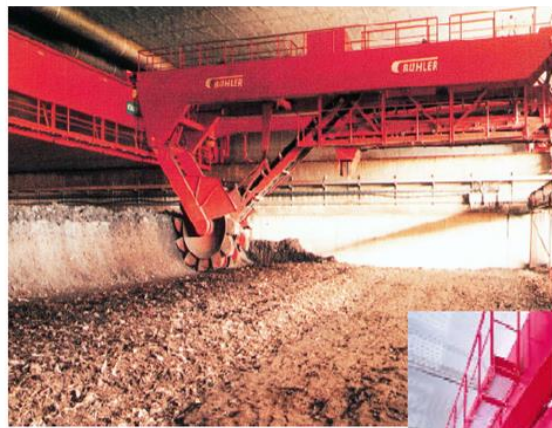
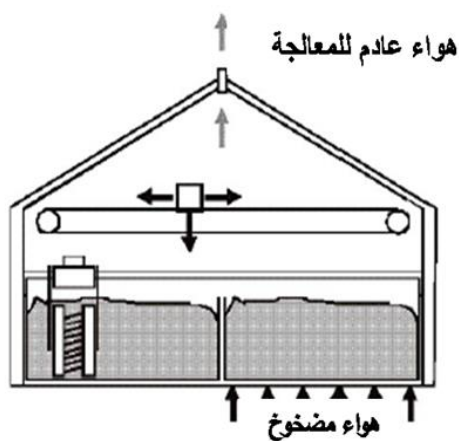
إن نفاثات الهواء (Blowers) لا تستخدم فقط للتهوية وإنما أيضاً لتبريد الكومة في حال أردنا إنهاء فترة الأسمدة. ويمكن تشغيل هذه المنافث إما بشكل مستمر أو بشكل متقطع. حيث أنه عند تشغيلها بشكل متقطع يتم الاستناد في ذلك إما على درجة الحرارة أو على فترات زمنية منتظمة. حيث تتوقف المنافث المرتبطة بدرجات الحرارة عن العمل آلياً في حال انخفاض درجات الحرارة عن درجة معينة، ويسمح ذلك بفعالية تحكم أكبر بكافة بارمترات عملية الأسمدة.

من أجل توزيع الهواء بشكل أفضل داخل الكومات المهواة ومن أجل منع الانبعاثات من الروائح والرشاحة وغيرها توضع طبقة من نشارة الخشب أو القش في أسفل الكومة، وطبقة من الكومبست الناضج أو الرماد في أعلى الكومة كما في الشكل 8-23 في طريقة الكومات المصفوفة الموضوعة في صالات كبيرة مغلقة يتم استخدام طريقتي السحب والضح عبر الثقوب الموجودة في الأرضية البيتونية، حيث يتم تهوية الكومات وكذلك الصالة بأكملها، ويتم تقليب الكومات التي تكون في الأغلب على شكل متوازي مستطيلات باستخدام آلات تقليب عملاقة تقوم أيضاً بطحن ومجانسة المواد ضمن الصالة كما في الشكل (8-24).

كما في كل طرق الكومبست يجب تأمين إعداد جيد للمواد الداخلة في عملية الأسمدة من حيث الرطوبة والمسامية والقلوية وغيرها.



الشكل 23-8- نظام الكومات الموهوة قسرياً والمفتوحة في الخارج مع التقلب

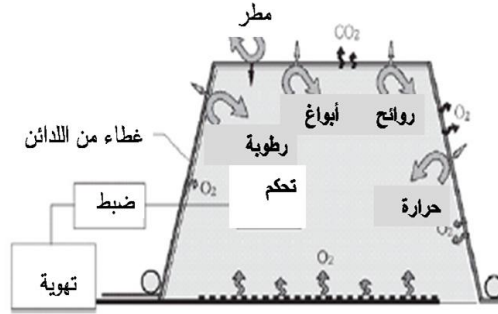


الشكل 24-8- نظام الكومات الموهوة قسرياً والموضوعة في صالة مغلقة مع أنظمة تقليب

هناك تقنيات خاصة كثيرة للأسمدة طورت من قبل العديد من الشركات والعاملين في مجال معالجة النفايات العضوية الصلبة وذلك في العديد من الدول منها:

الكومات المغطاة بالدائن (Areated Covered Pile)

وهي عبارة عن كومات من المواد العضوية تغطي برقائق من اللدائن الخاصة التي تسمح للهواء بالدخول إلى الكومة وتمنعه من الخروج (انظر الشكل 8-25) ويتم تهويتها قسريا" عبر عمليات السحب والضخ. الغاية من هذه اللدائن هي حفظ المواد من تأثير الأمطار ومنع انتشار الروائح، حيث تعمل اللدائن عمل الفلتر. يمكن استخدام هذه الطريقة في حالة كانت الكمية المتوفرة من المخلفات العضوية صغيرة وفي حالة وجود منطقة الأسمدة قريبة من التجمعات السكنية.



الشكل 8-25- الكومات المصفوفة المغطاة بالدائن

نظام البالات المضغوطة (البريكولار: Bricollare)

ويعرف هذا النظام أيضا" بنظام (كوكا KUKA). الكميات التي يمكن معالجتها في هذا النوع من المحطات تتراوح بين 15000 طن/سنة إلى 50000 طن/سنة. يتم استقبال المواد وتحضيرها في هذا النظام كما في الطرق الاعتيادية لبقية الأنظمة (وزن، تخزين أولي، فرز، إزالة المعادن، تقطيع،.. إلخ)، ويتم مجانسيتها وإضافة كمية الماء المثالية إليها خلال تحويلها إلى بالات مضغوطة (وزنها حوالي 30 كغ). تجري عملية التخمير الرئيسية على منصات في صالة مغلقة حيث توضع المنصات على شكل صف في الصالة وكل منصة يتم تحميلها بطبقات من المخلفات تزن حوالي 1,2-1,8 طن (انظر الشكل 8-26). ويتم إدخال المواد وإخراجها عبر نظام آلي متكامل. تبقى البالات المضغوطة في الصالة حوالي 4-5 أسابيع وتكون نسبة الماء في المواد الخارجة من 30-35%. بعد خروجها من مرحلة التخمير الرئيسي يتم تفكيك البالات من أجل التحضير النهائي بواسطة مطرقة مخصصة، ويتم غربلة المواد

وإزالة النايلون والشوائب المتبقية منه عبر آلة الفرز. بعد ذلك إما أن تذهب المواد إلى قسم التخمير الثانوي أو إلى المخزن مباشرة حسب نوع السماد المطلوب. تتميز هذه الطريقة بالأتمتة الكاملة وبالتالي فإنه لا يلزم مساحات للعمل. ونظراً لغياب التهوية القسرية وغياب التقليب فإن العملية تتم بأقل كمية من انبعاثات الروائح. من مساوئها أنه لا يتم إضافة الماء أثناء عملية الأسمدة وبالتالي ينتج سماد غير ناضج كلياً (من الصنف III) وغير محقق لمواصفات الجودة المطلوبة. يمكن الحصول على سماد عضوي ناضج عبر ترطيب المواد الخارجة من مرحلة التخمير الرئيسية ومن ثم وضعها للتخمير الثانوي.



الشكل 8-26- نظام البالات المضغوطة (البريكولار)

8-2-4- تصميم محطات الأسمدة

يشارك في عملية تصميم وبناء محطات الأسمدة الهوائية كل من:

- المسؤولين عن ترحيل ومعالجة النفايات ((قطاع خاص (شخص)، بلدية، مدينة، أو الدولة))
- واضعي المخططات (مهندس معماري، مهندس مدني، مهندس كهرباء، مهندس ميكانيك،)
- السلطات والدوائر والمؤسسات التي تمنح التراخيص
- ممولي المشروع
- مستثمري ومشغلي المحطة

بعد دراسة نوعية النفايات، ومعرفة معدل تولدها وتحديد كميتها، يتم البدء بعملية تصميم وتخطيط محطة الأسمدة التي تمر بالمراحل التالية:

- 1- تحديد الكمية التصميمية ونوعية النفايات التي ستعالجها المحطة (نفايات خضراء، نفايات منزلية، معالجة مشتركة لحمأة مياه الصرف الصحي منزوعة الماء مع النفايات المنزلية أو الخضراء).
- 2- تحديد ووصف الموقع الذي تم اختياره لبناء المحطة ويتضمن (تحضير الخرائط، تحديد البعد عن المباني السكنية).
- 3- اختيار تقنية الأسمدة المناسبة (من حيث التكلفة والفعالية وبأقل الانبعاثات الممكنة) وتحديد مخطط سير العمليات.
- 4- تحديد كمية النفايات التي تدخل كل قسم من أقسام المحطة (أي تحديد توازن الكتل) من أجل تحديد المساحة اللازمة.
- 5- وضع التصاميم اللازمة (معمارية وتقنية وكهربائية وميكانيكية) التي تبين المساحات والأبنية والتكنولوجيا المستخدمة.
- 6- إجراء التراخيص اللازمة (من مختلف المؤسسات المعنية).
- 7- وضع الخطة الزمنية اللازمة للبناء.
- 8- بناء المحطة.

8-2-4-1- تحديد نوعية النفايات والكمية التصميمية

يتم تحديد نوعية النفايات وكميتها بالتعاون مع المؤسسات المعنية بجمع النفايات ومعالجتها (حالة النفايات البلدية)، وبالتعاون مع منتجي المخلفات الزراعية والصناعات الغذائية (حالة المخلفات الزراعية)، ومع مؤسسات الصرف الصحي في حالة معالجة حمأة مياه الصرف. يتم حساب الكميات الحالية للمخلفات العضوية ومن

ثم يتم التنبؤ بمعدل زيادة الكميات بالاعتماد على قوانين محددة تراعي زيادة عدد السكان وتطور المنطقة. تصمم محطات الأسمدة العضوية (الكومبست) على أساس كمية النفايات الأعظمية التي ترد إلى المحطة في شهور السنة. حيث تجرى دراسة لكمية النفايات اليومية والشهرية والسنوية ثم يتم التصميم على أساس أكبر كمية متولدة في الشهر. وهذه الكمية تختلف من مجتمع لآخر حسب النسيج الاجتماعي وحسب نظام جمع النفايات وزمن الترحيل.

يتم تحديد عمر تصميمي للمحطة يراعي تطور وزيادة كمية النفايات المتولدة، ويجب أن تكون المحطة قادرة على معالجة الكميات المتزايدة من النفايات خلال هذا العمر الذي يؤخذ عادة ما بين 15 و 30 عاماً.

2-4-2-8- ظروف وشروط اختيار موقع محطات الأسمدة

عند دراسة وتصميم منشآت محطات الأسمدة فإنه يجب إجراء عملية مسح أولية وجمع معلومات كاملة عما يلي:

- استعمال الأرض والعوامل الطبوغرافية والجيولوجية
 - الظروف المناخية وعوامل الطقس السائدة
 - الظروف البيئية والاجتماعية المحلية
- ويبين الجدول (8-10) أهمية الحصول على هذه المعلومات في عملية التخطيط والتصميم والبناء والتشغيل لمحطات الأسمدة:

الفصل الثامن المعالجة البيولوجية للنفايات العضوية

د.كوكب حسين حربا

الجدول 8-10- أهداف المسح الأولي لموقع محطة الأسمدة في مرحلة التخطيط

العملية	أهداف المسح	المعلومات التي يتم الحصول عليها
المسح الطبوغرافي	الحصول على الأرض اللازمة	حدود الأرض المقترحة
	دعم وضع مخططات منشآت وأقسام المحطة	- خطوط الكونتور (ارتفاعات الأرض 1م أو 0,5 م) - المساحة المجاورة - توضع شبكة الطرق الحالية - وجود الكهرباء ووجود الماء - مكان تصريف مياه الصرف الصحي والمياه المعالجة
	وضع خطة التحكم بمياه الأمطار	- خطوط الكونتور 1م أو 0,5 م - منطقة الصرف - موقع تصريف المياه
	دعم أشكال المسح الأخرى	- تحديد مواقع الآبار - تحديد مواقع نقاط اعتيان المياه - وضع البدائل والحلول التصميمية
المسح الجيولوجي	تصميم أساسات المنشآت	- خصائص التربة السطحية - منسوب المياه الجوفية - تصميم مطمر النفايات
استعمال الأراضي	الحصول على الأرض	- نماذج استعمال الأرض والمساحات الحالية - النماذج المخططة لاستعمال الأراضي والمساحات
	وضع مخططات منشآت المحطة	- نماذج استعمال الأرض والمساحات الحالية - النماذج المخططة لاستعمال الأراضي والمساحات
المسح المناخي	تصميم مصارف العواصف المطرية	معطيات الهطول المطري السنوي والشهري
	تصميم المباني والمنشآت	معطيات جهة الرياح وشدتها
المسح البيئي (إجراء تقييم للأثر البيئي)	تجنب المشاكل البيئية الناجمة عن تشغيل المحطة	- المناطق المحمية - المسطحات المائية (أنهار، بحيرات، بحار، مستنقعات) - جودة المياه في الجداول والآبار القريبة
المسح الاجتماعي	تجنب المشاكل الاجتماعية التي قد تنشأ عن تشغيل المحطة	السكان، المدارس، المشافي،

3-4-2-8- اختيار تقنية الأسمدة وتحديد المنشآت ووضع مخطط سير للعمليات

يتم اختيار تقنية الأسمدة المناسبة اعتماداً على نوعية النفايات (خضراء أو منزلية) وكميتها وكذلك مساحة الأرض المتوفرة وقربها وبعدها عن المباني السكنية. ويؤثر مدى توافر التقنية في البلد عاملاً هاماً في الاختيار. حيث تفضل التقنيات المغلقة في حالة القرب من المباني السكنية وعدم توفر مساحات الأراضي الكبيرة. بعد اختيار تقنية التخمير الملائمة من حيث التكلفة والنواحي البيئية يتم وضع مخطط لسير العمليات ضمن المحطة.

4-4-2-8- توازن كتل المواد في محطات الأسمدة وحساب المساحات

تتعلق المساحة الكلية اللازمة لإنشاء المحطة بـ:

- تدفق المواد الأولية اليومي إلى المحطة
- درجة الأتمتة

- مدة التخمير اللازمة التي تحدد درجة التخمير

في العموم تعتبر المساحات اللازمة للكمات المصفوفة المهواة طبيعياً أكبر ما يمكن وتتناقص المساحة اللازمة كلما زادت درجة أتمتة المحطة.

وعند التصميم يمكن الانطلاق من القيم التالية للمساحات اللازمة والتي تتعلق بالكمية التصميمية [10]:

- من أجل محطات الأسمدة التي تستخدم تقنية الكومات المصفوفة يلزم مساحة تتراوح بين 1-2,2 م²/ (طن.سنة) حسب الكمية التصميمية التي تقاس بوحدة (طن/سنة)

- وللمحطات التي تستخدم التقنيات المغلقة (حاويات، صناديق، صالات التخمير) فإن المساحة اللازمة تتراوح بين 0,6-0,7 م²/ (طن.سنة).

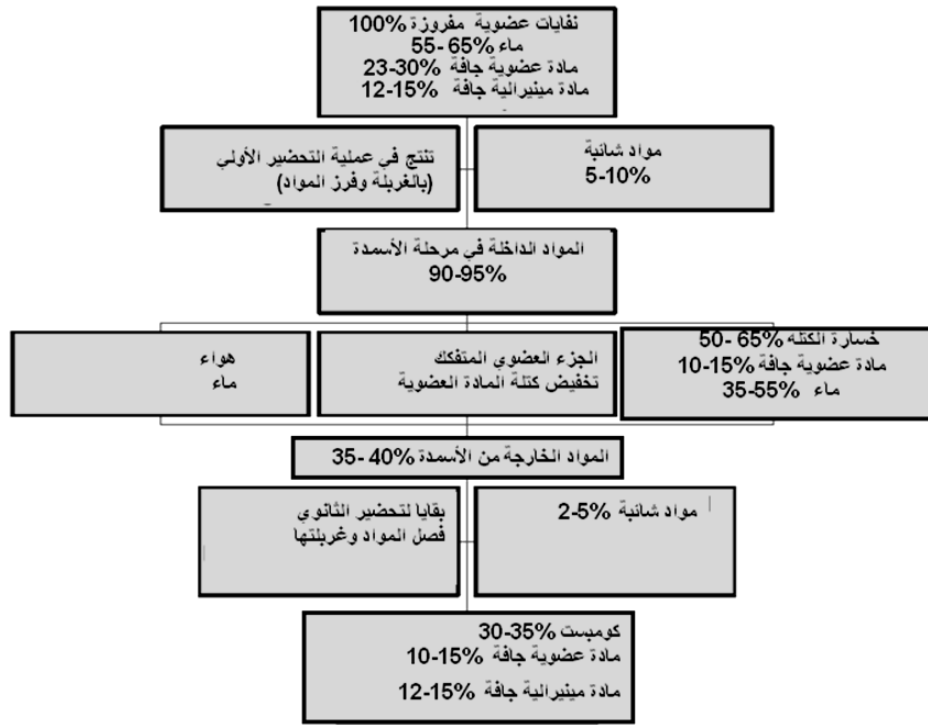
من أجل حساب المساحات الجزئية لكل قسم من أقسام المحطة فإنه يلزم معرفة توازنات الكتل في أقسام المحطة المختلفة. في التطبيقات العملية في محطات الأسمدة يتعلق توازن الكتل بـ:

- المواد الداخلة (رطوبتها، نسبة الشوائب فيها، نسبة المادة العضوية)
- التقنيات المستخدمة في عمليات التحضير الأولي للمخلفات والتحضير النهائي للكومبست

- سير عملية التخمير (درجة تكتيك المواد العضوية)

يحصل الفقد الرئيسي للمواد في عملية الأسمدة خلال مرحلة التخمير الرئيسي والثانوي حيث تبلغ النسبة حوالي 60% من كتلة المواد الداخلة (يحصل على شكل خسارة في

الماء وفي المادة العضوية). نسبة المواد التي يتم إبعادها في مرحلتي التحضير الأولي للمواد والنهائي للكومبست تبلغ حوالي 5%. وحوالي 10-15 % من المواد الداخلة (الأخشاب والأغصان كبيرة الحجم) قد يتم استخدامها كمادة لتحسين بنية المواد. بالتالي فإن حوالي ثلث المواد الأولية الداخلة فقط يتحول إلى كومبست (انظر الشكل 8-27)



الشكل 8-27-مخطط توازن الكتل في إحدى محطات الأسمدة

8-2-4-5- وضع مخططات المنشآت المقترحة

إن للتصميم الهندسي لمحطات الأسمدة أهمية كبيرة لعدة أسباب نذكر منها:

- ضمان سير عملية التشغيل
 - التقليل من الانبعاثات
 - حساب التكاليف (كلف البناء والتشغيل والإصلاح)
 - ضمان الصحة والسلامة المهنية (الضجيج، الغبار والأحياء الدقيقة)
- يجب اختيار التصميم الذي يناسب نوعية المواد وكميتها ويضمن معالجة النفايات بأقل تكلفة ممكنة. ومن الأمور التي يجب أن تتضمنها المخططات:

مخطط الموقع العام

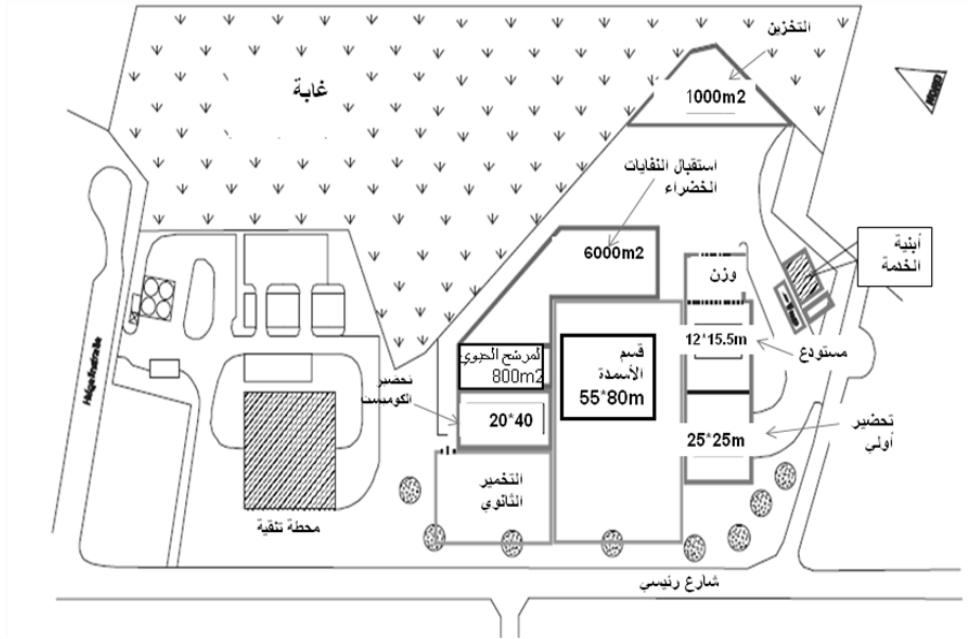
يؤثر تصميم الموقع إلى درجة كبيرة على سير العمليات والتخفيف من الانبعاث وحتى على التصميم المعماري. ويجب الانتباه عند ترتيب وحدات الأبنية في المحطة إلى

جعلها تتبع نفس اتجاه تيار تدفق المواد. في نفس الوقت يجب مراعاة القرب من الطرق العامة ومناطق استقدام النفايات وكذلك سوق تصريف المنتج وتحويل المواد المرفوضة في المحطة. وفي داخل المحطة تحدد مواقع أجزاء المحطة بحيث يكون:

– الميزان وخزان الاستقبال قريبان من بعضها و من المدخل الذي يجب أن يؤدي إلى طريق صالح لسير الشاحنات عليه. بينما يسمح لقسم تحضير النفايات وقسم التخمير الرئيسي أن يكونا بعيدين نوعاً ما عن المدخل (انظر الشكل 8-28).

– قسم التخزين وقسم استقبال النفايات يحوي مساحات إضافية من أجل إنشاء طرق تسير عليها الشاحنات وتراعي وجود أكثر من آلية في نفس الوقت.

– هناك مساحة بين الأبنية تسمح بمرور سيارات الإطفاء في حال حدوث الحرائق أو شاحنات نقل التجهيزات المختلفة في المحطة.



الشكل 8-28-مخطط الموقع لإحدى محطات الأسمدة

التصاميم التفصيلية للمباني والأقسام

– تبنى الأقسام التي تصدر عنها الانبعاثات الأكبر (قسم الاستقبال، المرشح الحيوي، والمخزن) في الجهة البعيدة عن المباني السكنية في حالة قربها من المحطة.

– ارتفاع الأبنية في قسم استقبال النفايات والتخمير الأولي يجب أن يراعي إمكانية دخول الشاحنات واستخدام القلابات لتفريغ الحمولة، وكذلك عمل

الرافعات والجرافات وكل التقنيات المستخدمة داخل الأقسام، وعلى كل الأحوال لا يجب أن يقل ارتفاع بوابة الدخول عن 4 م.

- مباني الخدمة يتم إنشاؤها من البيتون المسلح أما أقسام المحطة الأخرى كصالات التخمر الرئيسي والثانوي وحتى المخزن فيمكن أن يستخدم الألمنيوم لبناء سقوفها.
- يتم تصميم وحدات التهوية والتدفئة ووضع المخططات الكهربائية اعتماداً على حسابات دقيقة.

الطرق والساحات

- إن الساحات البينية التي لا تحتوي على النفايات أو الكومبست و وبالتالي غير معرضة لمياه الرشاحة يجب ألا تكون كتيمة للماء.
- الساحات التي تقع بجانب الأبنية والساحات المعرضة للرشاحة ولسير الشاحنات بشكل كبير يجب أن تكون كتيمة من أجل منع تسرب الرشاحة وتغطي عادة بالإسفلت أو بالبيتون، ويتم تصريفها وفق نظام تصريف مبسط.

تصريف المياه في المحطة

- قد تنتج المياه العادمة في المحطة من: قسم الخدمة (تواليت، حمام)، ومياه الأمطار الساقطة فوق المحطة إضافة إلى مياه الرشاحة من العمليات المختلفة.
- يتم عادة جمع المياه غير الناتجة عن العمليات وغير الملوثة ومن ثم تصريفها في أقرب فوهة للصرف المطري.
 - مياه الصرف من قسم الخدمة يمكن جرها وإيصالها إلى خطوط الصرف الصحي.
 - مياه الرشاحة من أقسام العمليات المختلفة في المحطة تجمع في خزان خاص وقد يتم تحويلها إلى محطة تنقية خاصة لأنها تحتوي مركبات سامة ومعادن ثقيلة، أو يمكن الاستفادة منها عبر استخدامها مجدداً لترطيب المواد.

منشآت التخفيف من انبعاث الروائح والغاز

في المحطات الصغيرة المفتوحة يتم التخفيف من انبعاث الروائح عبر تغطية الكومات بالأعشاب التي تعمل عمل الفلتر فتخفف من كمية الروائح المنطلقة. ويتم تقليب الكومات في أوقات تراعي ظروف الرياح والطقس. أما في المحطات الكبيرة المؤتمتة، والتي تستخدم فيها التهوية القسرية، يتم تجميع تيارات الهواء المستخدم لتهوية المواد وتلك المستخدم لتهوية الصالات، في دارة مغلقة يعاد فيها قسم من الهواء لتهوية بعض أقسام المحطة. وفي النهاية يوجه الهواء العادم المحمل بالروائح والغاز والبكتريا إلى

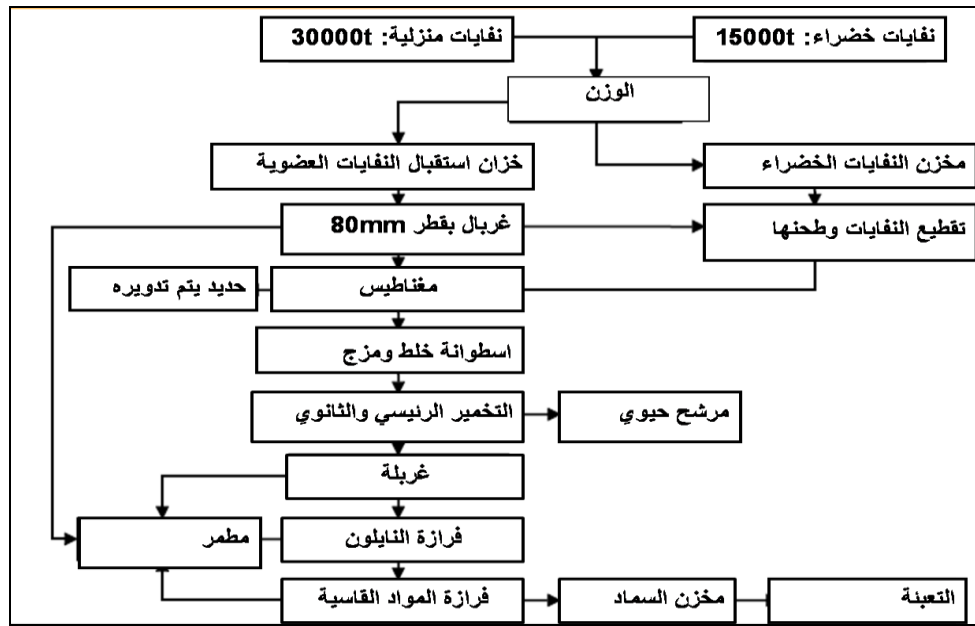
8-2-4-6- إجراء التراخيص

بعد وضع المخططات التفصيلية لكل المنشآت تجرى التراخيص في مؤسسات الدولة المعنية وفق القوانين والتعليمات ومنها: مديرية البيئة، مؤسسة المياه، مؤسسة الكهرباء، البلديات، وغيرها من المؤسسات التي قد تكون معنية كالسياحة مثلاً.

8-2-4-7- مثال مبسط يبين خطوات حساب المساحات اللازمة لإحدى محطات الأسمدة

المعطيات التصميمية

- نفايات منزلية عضوية 30000 طن/سنة
 - نفايات خضراء 15000 طن/سنة
 - أيام العمل السنوية للمحطة: 250 يوم عمل في السنة، حوالي 8 ساعات باليوم
 - يفرغ خزان استقبال النفايات يومياً
 - الوزن الحجمي للنفايات المنزلية والخضراء 0,35 طن/ م³
 - الهدف النهائي للأسمدة: الحصول على كومبست من الدرجة الرابعة والخامسة
- IV-V
- تخزين الكومبست يتم لمدة ثلاثة أشهر
 - في شهر تشرين الثاني تبلغ النفايات تدفقها الأعظمي حيث تبلغ كميتها 50% من متوسط الكمية السنوي في منطقة جمع النفايات التي يتم تصميم المحطة لها.
 - تشكل كمية النفايات المنزلية الأعظمية في تشرين الثاني ما قيمته 11.23% من معدل كمية النفايات المنزلية السنوية.
 - يبين الشكل 8-30 مخطط سير العمليات في هذه المحطة



الشكل 8-30- مخطط سير العمليات في المحطة المعطاة كمثال

يتم حساب توازن الكتل اعتماداً على الشكل (8-30) ومن ثم ترتيب النتائج في الجدولين (8-11) و(8-12).

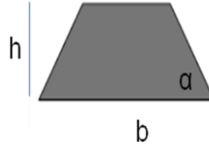
الجدول 8-11- معطيات وفرضيات لحساب مساحة المحطة المعطاة كمثال

معطيات وفرضيات						
	التدفق السنوي طن/سنة	محتوى الماء	المادة الجافة	نقصان الوزن	الجزء العضوي من المادة الجافة	محتوى المعادن في المادة الجافة
نفايات منزلية	30000	%60	%40	%60	%24	%16
نفايات خضراء	15000	%40	%60	%65		

- إن هذه الكمية الزائدة تحتاج إلى تخزين ريثما يتم معالجتها لذلك نحتاج إلى مستودع أو ساحة في المحطة لاستيعاب هذه الزيادة من النفايات في شهر تشرين الثاني.

حساب مساحة مخزن النفايات الخضراء

- يجري التصميم على أساس الكمية الواجب تخزينها والتي تساوي 6250 طن
- بفرض الوزن الحجمي للنفايات الخضراء 0,35 طن/م³
- بالحساب ينتج لدينا حجم النفايات الخضراء الواجب تخزينها وتساوي:
- $V = 6250 \div 0,35 = 17857,2$ م³
- توضع النفايات في كومات على شكل شبه منحرف (اختياري)
- بفرض: $\alpha = 45^\circ$ ، $b = 25$ م، $h = 3,5$ م



- تكون مساحة مقطع الكومة:
- $A = 3,5 \times (25 + 25 + 3,5 \times 2) \div 2 = 75,25$ م²
- ويكون طول الكومة: $L = 17857,2 \div 75,25 = 237,3$ م
- باختيار 4 كومات يكون طول الكومة الواحدة تقريباً 60 م تكون
- مساحة مخزن النفايات الخضراء $= 4 \times 60 \times 25 = 6000$ م²

حساب مساحة خزان استقبال النفايات المنزلية العضوية

- نفترض أن مستودع الاستقبال من نوع سطحي.
- يتم تفريغ المستودع يومياً لذلك يتم التصميم على أساس كمية النفايات اليومية الأعظمية القادمة للمحطة.
- تشكل كمية النفايات المنزلية الأعظمية في تشرين الثاني ما قيمته 11,23% من معدل كمية النفايات المنزلية السنوية فيكون: كمية النفايات المنزلية العضوية في شهر تشرين الثاني تساوي: $30000 \times 0,1123 = 3369$ طن
- عدد أيام العمل السنوية: 250 يوم في السنة
- فيكون بالحساب عدد أيام العمل في الشهر: $250 \div 12 = 20,8$ يوم/الشهر
- وتكون كمية النفايات اليومية الأعظمية القادمة في تشرين الثاني: $3369 \div 20,8 = 162$ طن

- باعتبار الوزن الحجمي للنفايات مساوياً 0,35 طن/م³
- يكون: حجم النفايات المنزلية اليومي الأعظمي الداخل إلى المستودع:

$$V_{max} = 0,35 \div 162 = 463 \text{ طن/يوم}$$
- توضع النفايات في الخزان على شكل كومة متوازية المستطيلات ارتفاعها 2,5 م فتكون مساحة قاعدتها: $V_{max} \div 2,5 = 185,2 \text{ م}^2$
- نختار المساحة: $A = 12 \times 15,5 = 186 \text{ م}^2$
- حساب المساحة اللازمة التقريبية للأسمدة (التخمير) في كومات صفية مهواة قسرياً**
- في الحساب نأخذ الكميات التصميمية قبل إزالة الشوائب منها من أجل الأمان.
- كمية النفايات الداخلة إلى المحطة: $15000 + 30000 = 45000 \text{ طن/سنة}$
- كمية الكومبست الناتج: $45000 \times 0,4 = 18000 \text{ طن}$
- زمن الأسمدة (مدة تخمير المواد) يساوي 12 أسبوعاً (فرضاً) أي مدة دورة تخمير واحدة 12 أسبوع
- بذلك فإن عدد دورات التخمير سنوياً: $52 \div 12 = 4,33$ دورة
- يتم إدخال ووضع المواد بشكل يومي في الكومات وبالتالي يكون: كمية المواد اليومية الداخلة في عملية الأسمدة: $45000 \div 250 = 180 \text{ طن/يوم}$
- كمية المواد اليومية الخارجة من عملية الأسمدة: $250 / 18000 = 72 \text{ طن/يوم}$
- كمية النفايات الداخلة في دورة الأسمدة الواحدة $= 12 \times 5 \times 180 = 10800 \text{ طن}$
- (كمية النفايات الداخلة في اليوم $\times$ عدد أيام عمل المحطة في الأسبوع $\times$ عدد أسابيع التخمير)
- كمية الكومبست الخارجة في دورة التخمير الواحدة: $12 \times 5 \times 72 = 4320 \text{ طن}$
- حساب مساحة الكومات المصفوفة**
- طريقة أولى:**
- كمية النفايات الموجودة في الكومات المهواة قسرياً خلال الدورة الواحدة وسطياً: $(10800 + 4320) \div 2 = 7560 \text{ طن}$
- بافتراض الوزن الحجمي الداخلة في الأسمدة 0,5 طن/م³ يكون حجم المواد:

$$V = 7560 \div 0,5 = 15120 \text{ م}^3$$
- بفرض أن النفايات توضع في كومات على شكل شبه منحرف فيه،

$$\alpha = 45^\circ, b = 20 \text{ م}, h = 2,5 \text{ م}, \text{ تكون مساحة مقطع الكومة:}$$

$$A = 2,5 \times (20 + 20 + 2 \times 2,5) = 43,75$$

$$L = V/A = 15120 \div 43,75 = 345,6 \text{ م}$$

$$\text{باختيار 5 كومات طول الكومة 70 م تكون المساحة اللازمة للكمات=}$$

$$7000 \text{ م}^2 = 20 \times 70 \times 5$$

طريقة ثانية:

تعتمد هذه الطريقة مبدأ كمية النفايات المعالجة وكمية الكومبست الناتج وافترض أن تدفق المواد مستمراً:

$$\text{الكمية الوسطية التي قد تتواجد في ساحة التخمر:}$$

$$(18000 + 45000) \div 2 = 31500 \text{ طن}$$

$$\text{كمية النفايات المعالجة في الدورة الواحدة: } 31500 \div 4,33 = 7275 \text{ طن=}$$

$$14550 \text{ م}^3 \text{ (بافتراض الوزن الحجمي 0,5 طن/م}^3\text{)}$$

$$\text{مساحة مقطع الكومة (محسوب سابقاً) } A = 43,75 \text{ م}^2$$

$$\text{طول الكومة } L = V/A = 14550 \div 43,75 = 333 \text{ م}$$

$$\text{باختيار 5 كومات بطول الكومة 67 م تكون}$$

$$\text{المساحة اللازمة للكمات } = 20 \times 67 \times 5 = 6700 \text{ م}^2$$

حساب مساحة مخزن الكومبست

$$\text{بافتراض أن الكومبست يخزن لمدة ثلاثة أشهر تكون: كمية الكومبست}$$

$$\text{المخزنة في ثلاثة أشهر: } (18000 \div 12) \times 3 = 4500 \text{ طن}$$

$$\text{بافتراض كثافة الكومبست الناتج 0,5 طن/م}^3 \text{ يكون حجم الكومبست في}$$

$$\text{المخزن: } V = 4500 \div 0,5 = 9000 \text{ م}^3$$

$$\text{بفرض أن الكومبست يخزن في كومات على شكل شبه منحرف يكون فيه:}$$

$$\alpha = 45^\circ, b = 20 \text{ م}, h = 3,5 \text{ م}, \text{ فإن مساحة المقطع}$$

$$A = 3,5 \times (20 + 20 + 2 \times 3,5) = 57,75 \text{ م}^2$$

$$\text{ويكون طول الكومات: } L = V/A = 9000 \div 57,75 = 155,85 \text{ م}$$

$$\text{نختار 3 كومات بطول 52 م للكومة الواحدة فتكون مساحة المخزن:}$$

$$A = 3 \times 20 \times 52 = 3120 \text{ م}^2$$

حساب مساحة المرشح الحيوي

$$\text{من أجل تهوية المواد الداخلة في عملية الأسمدة العضوية فإننا نحتاج إلى:}$$

$$10 - 20 \text{ م}^3/\text{م}^3 \text{ سا (متر مكعب هواء لكل متر مكعب من المادة المتفككة في)}$$

- الساعة) أو 1-10 م³/م³ سا (متر مكعب هواء لكل متر مكعب من المادة الداخلة في عملية الأسمدة في الساعة)
- بفرض كثافة المواد الداخلة إلى قسم الأسمدة 0,5 طن/م³ يكون حجم المواد المهواة خلال دورة الأسمدة: $V =$ كمية النفايات الموجودة في الكومات المهواة قسرياً خلال الدورة الواحدة وسطياً/الكثافة
 - $V = 7560 \div 0,5 = 15120$ م³
 - نختار التهوية بـ 5 م³/م³ سا من الهواء
 - فتكون كمية الهواء المضخوخ: $15120 \times 5 = 75600$ م³/سا
 - بفرض أن طاقة المرشح الحيوي تبلغ: 30-200 م³/م² سا (متر مكعب هواء عادم لكل متر مربع من مساحة المرشح في الساعة) وباختيار قدرة تحمل المرشح 100 م³/م² سا
 - تكون مساحة المرشح: $75600 \div 100 = 756$

حساب مجموع المساحات اللازمة للمحطة

- مساحة مخزن النفايات الخضراء (6000 م²)
- مساحة خزان استقبال النفايات المنزلية (186 م²)
- مساحة قسم الأسمدة (صالة تخمير النفايات) (6700 م²)
- مساحة قسم تخزين الكومبست (3120 م²)
- مساحة المرشح الحيوي (756 م²)
- المساحة الكلية (16762 م²)

يضاف إلى هذا المجموع مساحة الممرات بين الكومات الصفية ومساحات حركة الآليات ضمن المحطة ومساحة قسم التحضير الأولي والثانوي للمواد إضافة إلى مساحة أبنية الخدمة.

