الفصل الرابع

التطبيقات العملية في إنتاج الأسمدة العضوية

obeikan.com

obeikan.com

الفصل الرابع

التطبيقات العملية في إنتاج الأسمدة العضوية

Practical Applications for the Production of Organic Fertilizers

مقدمة *Introduction*:

للدخول في صناعة الأسمدة العضوية، فإنه لا بد من إجراء بعض التطبيقات العملية. وهذه التطبيقات العملية تنقسم إلى قسمين أساسيين:

الأول: يتمثل في الأسس التصميمية لمصانع الأسمدة العضوية، والتي تشمل بعض الأعمال المدنية والإنشائية، والتي تبدأ باختيار المكان أو الموقع الذي سيتم فيه إنتاج هذه الأسمدة، والمساحة التصميمية له، وأهم التجهيزات التي يجب أن تتوافر فيه تبعًا لنظام المعالجة المستخدم، وهي متطلبات ضرورية.

والثاني: العمليات الأساسية في صناعة الأسمدة العضوية Principals process for the production of organic Fertilizer، وتعرّف على أنها العمليات الميكانيكية Mechanical process التي تعمل على توفير الظروف المثلى لنجاح أداء العمليات البيولوجية Biological process بالسرعة والكفاءة المطلوبة؛ للحصول على منتج ثابت بيولوجيًّا Biological stable، غني بالمواد الدبالية Humus-rich substances، وصالح وجاهز للاستخدام الزراعي، وخالٍ من أي مخاطر على الصحة العامة وعلى البيئة.

أولاً: الأسس التصميمية لمصانع الأسمدة العضوية *Foundation Design for the Factories of Organic Fertilizers*

وتتكون الأعمال الإنشائية أو الأعمال المدنية من إعداد مكان للإدارة والمعمل والخدمات، ثم توفير مكان يعمل كمظلة للمعدات، بالإضافة إلى مكان آخر كورشة فنية للصيانة والإصلاح، ثم مكان لعمليات المعالجة والتشغيل، سواء كان ذلك لأرض مدكوكة أو بلاطات مصبوبة، تبعًا لنظام المعالجة الذي سيتم العمل به لإنتاج الأسمدة العضوية شكل (4-1).

شكل (4-1): الشكل التصميمي لمصنع إنتاج الأسمدة العضوية من المخلفات البلدية الصلبة بطريقة الكمر الهوائي، وهو التصميم اللازم لأي مصنع أسمدة عضوية من أي مخلفات عضوية أخرى، مع استبدال منطقة خطوط الفرز بمنطقة لاستقبال وتجهيز المخلفات

ويتم تحديد مساحة هذه الأقسام من قبل المختصين تبعًا للطاقة التصميمية للمصنع، ومعرفة طبيعة المخلفات من حيث النوع والوزن النوعي والكثافة والرطوبة، والمعدل اليومي لما يستقبل وما يخزن منها، وحجم كومات التخزين، وما يدخل منها في المعالجة، والمدة اللازمة للمعالجة، وحجم مصفوفات

المعالجة، ومعدل التقليب، ونسبة انكماش المصفوفات أثناء المعالجة، وعدد ساعات العمل، وعدد أيام التشغيل، ومعدل التشغيل اليومي.

ثانيًا: العمليات الأساسية في إنتاج الأسمدة العضوية *Principals process for organic fertilizers production*

إن عمليات التشغيل الأساسية أو عمليات الكمر الهوائية Composting التي يتم إجراؤها لإنتاج الأسمدة العضوية، تستند في كل عملية منها على الأسس العلمية التي سبق مناقشتها، والتي يجدر الاهتمام بتفاصيلها؛ حتى نحصل على ما نريد من إنتاج جيد لهذه الأسمدة العضوية، في وقت قصير، وبتكاليف اقتصادية تنافسية. هذه العمليات الأساسية في صناعة الأسمدة العضوية تتم من خلال أربع مراحل عمل، يشملها ثلاثة اتجاهات للمراقبة والمتابعة:

المرحلة الأولى: مرحلة العمليات الأولية *Pre-processing*

مرحلة العمليات الأولية Pre-processing: يتم فيها تجهيز المواد الأولية من حيث نوع الخامات وجودتها، وحجم جزيئاتها، ونسب الخلط فيما بينها، وضبط نسبة الرطوبة؛ لتكون جاهزة لعمل ونشاط الكائنات الحية الدقيقة عند وضعها في المصفوفات أو الكومات التي يتم بناؤها. وهذه المرحلة بكل جزيئاتها تعتبر **الاتجاه الأول للمتابعة والمراقبة**، ونجاح المتابعة والمراقبة في هذه المرحلة يترتب عليه سرعة عملية التصنيع وجودة المنتج المُصَنع.

المرحلة الثانية: مرحلة التحلل النشط أو المعالجة *Active composting*

مرحلة التحلل النشط Active composting process, وهي أهم عمليات التصنيع للكمبوست، ويسود فيها نشاط البكتريا، ويتم خلالها القضاء على الكائنات الممرضة وبذور الحشائش.

وتعتبر متابعة ظروف عمليات نشاط الكائنات الحية في مرحلة التحلل النشط من ضبط نسبة الرطوبة بإجراء عملية الترطيب، وتوفير حالة التهوية والنفاذية، بالتقليب بماكينات ومعدات التقليب، وضم المصفوفات إلى بعضها عندما يقل حجمها، بالإضافة إلى مراقبة درجة الحرارة، ومتابعة زمن وتوقيت أداء العمليات هو **الاتجاه الثاني للمتابعة والمراقبة.**

المرحلة الثالثة: مرحلة النسوية والإنضاج *Maturity or Curing*

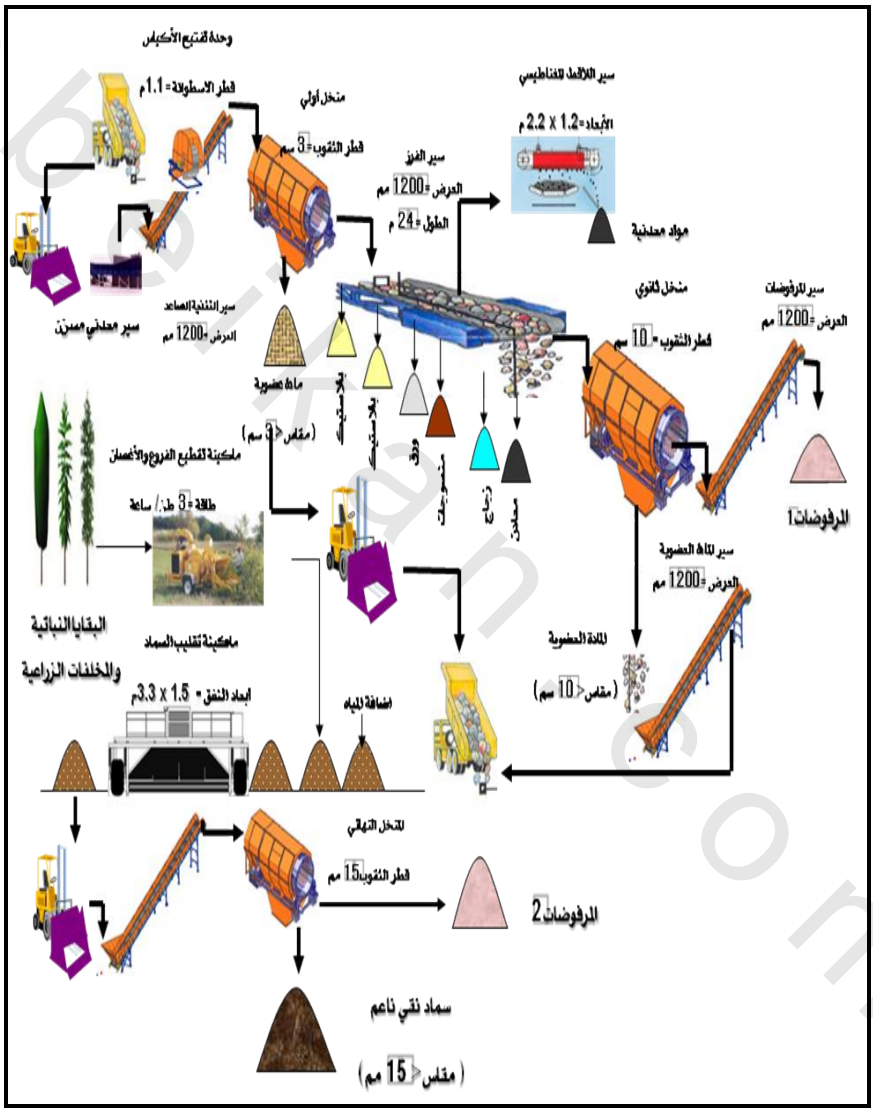
مرحلة الإنضاج والتشافي Maturation and Curing هي مرحلة مهمة في الحصول على منتج تام النضج، كامل التكوين، ثابت المكونات والمحتويات من المواد العضوية النهائية، من خلال تشوين المنتج أو تكويمه لمدة حدها الأدنى 3 أسابيع، والأقصى يحدده وقت الحاجة إلى التسويق أو الاستخدام، والذي قد يمتد لعدة شهور. ويسود في هذه المرحلة نشاط الكائنات الحية الدقيقة من الفطريات والأكتينوميسيتات.

المرحلة الرابعة: مرحلة العمليات المتقدمة *Post- processing*

المرحلة المتقدمة للعمليات Post-processing، وفيها يتم تجهيز المنتج ليكون جاهزًا للتسويق بمواصفات تتقابل مع احتياجات ورغبات العملاء، وتشمل إجراء التحليلات، فعملية النخل أو الغربلة، ثم عمليات التعبئة، فالتسويق.

وخلال هذه المراحل الأربعة لإنتاج الأسمدة العضوية لا يجب أن يغيب عن الأذهان متابعة تكاليف الإنتاج، وتحقيق وسائل الأمان والسلامة المهنية، والحماية البيئة والمجتمعية, وهي عناصر **الاتجاه الثالث للمتابعة والمراقبة.**

كل هذه العمليات الميكانيكية الأساسية التي يتحقق من خلالها إنتاج الكمبوست أو الأسمدة العضوية لكلٍّ من المخلفات البلدية الصلبة والمخلفات الزراعية أيًّا كان مصدرها، يلخصها شكل (4-2).



شكل (4-2): يوضح تسلسل العمليات الأساسية في تدوير المخلفات البلدية الصلبة والمخلفات الزراعية في صناعة الأسمدة العضوية

وسوف يكون من المفيد مناقشة العمليات الميكانيكية الأساسية في صناعة الأسمدة العضوية في مراحل الإنتاج المختلفة، كتطبيقات عملية للأسس العلمية التي تم فهم طبيعتها؛ لإنجاز الأعمال بنجاح، والوصول بِكَم الأسمدة العضوية وجودتها إلى المستوى المطلوب من المُصَنع، والمقبول مواصفاته من جهات المراقبة والتفتيش، والمرغوب استخدامه من قِبَل المستهلكين والعملاء.

المرحلة الأولى: مرحلة العمليات الأولية *Pre-processing*:

أهم الأعمال في هذه المرحلة تشمل:

1. اختيار المواد الخام الأولية المطلوب تصنيع الكمبوست منها.
2. الفرم أو الطحن؛ لتجهيز المواد الخام بحجم يناسب نشاط الكائنات الحية الدقيقة.
3. بناء المصفوفات أو الكومات من خليط من المواد الخام الأولية بنسب خلط تحقق الوصول إلى مدى مناسب فيما بين الكربون إلى النيتروجين C/N ratio، مع تحقيق بعض الاتزان العنصري في الخليط.
4. ضبط نسبة الرطوبة بالخليط قبل بداية التشغيل؛ لتكون جاهزة لعمل ونشاط الكائنات الحية الدقيقة.
5. بناء المصفوفات والكومات.

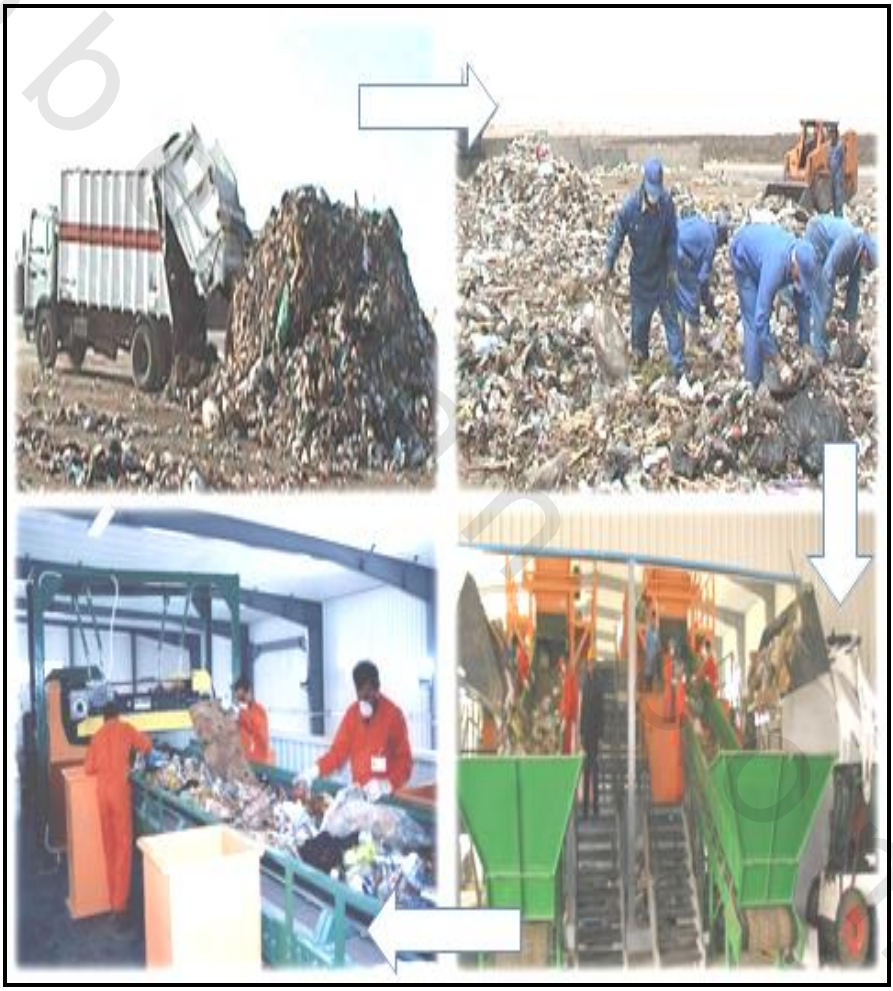
أولا: اختيار المواد الخام الأولية المطلوب تصنيع الكمبوست، منها:

يتم توفير وتجهيز المادة العضوية الخام من مصادرها المختلفة، سواء كانت مخلفات بلدية صلبة (القمامة المنزلية)، أو حمأة الصرف الصحي، أو المخلفات الزراعية (نباتية وحيوانية)، أو مخلفات التصنيع الزراعي، أو مخلفات الأسواق العمومية.

1. **المخلفات البلدية الصلبة:**

عمليات تجهيز المخلفات البلدية الصلبة تمر بالمراحل التالية (شكل 4-3):

- يتم نقل المخلفات البلدية الصلبة بواسطة سيارات الجمع والنقل إلى منطقة الاستقبال بالمصنع بعد تسجيل وزنها على ميزان البسكول.



شكل (4-3): يوضح نقل المخلفات البلدية الصلبة إلى منطقة الاستقبال، وعمل الفرز الأولي (لأعلى)، ثم تغذية خطوط الفرز بواسطة اللوادر محورية الحركة؛ ليتم التعامل معها بداية من وحدة تفتيح الأكياس، وتجميع المفروزات بمحطات التجميع، حتى وحدة اللاقط المغناطيسي بنهاية الخط

- بعدها يتم فرد هذه القمامة المنزلية بمنطقة الاستقبال بواسطة اللوادر محورية الحركة Skid steer loader؛ لإجراء عملية الفرز الأولى Pre-sorting، وإزالة المكونات كبيرة الحجم، والتي تسبب مشاكل كبيرة إذا ما تم وصولها إلى سير الفرز، ومنها إطارات السيارات، البطاريات، بردورات الأرصفة أو أجزاء منها، الأجزاء الكبيرة من الأقمشة والسجاجيد والبطاطين، الكرتون، أقفاص الجريد، الأجولة المربوطة وبداخلها مخلفات بلدية متنوعة، الأغصان والفروع الخضراء الناتجة من تقليم الأشجار، وغيرها ... إلخ.
- بعد الفرز الأولي، يتم تغذية سير أو سيور الفرز Sorting conveyors بالمخلفات البلدية الصلبة بواسطة اللوادر محورية الحركة، لتستقر المخلفات على السير الصاعد، لتَمُر عبر وحدة تفتيح الأكياس Bag breaker؛ لتفتيح أي أكياس مغلقة، وفرد ما بها من مخلفات.
- تمر المخلفات على سير الفرز الأفقي, والذي يتواجد عليه 8 محطات Stations للفرز، يقف على كلٍّ منها اثنان من العمال، يقومان برفع نوع معين من المفروزات (زجاجات البلاستيك - مواد بلاستيكية متنوعة - زجاج - خيش... إلخ)، ووضعه في قادوس أو مكان التجميع، وقبل نهاية هذا الخط يوجد وحدة اللاقط المغناطيسي Magnetic belt؛ للتخلص من أي أجزاء معدنية من عبوات المياه الغازية، الصاج والصفيح، أمواس الحلاقة، سن السرنجات ... إلخ.
- تتجمع المفروزات، كلٌّ في الحجرة الخاصة بها أسفل محطة التجميع؛ ليتم كبسها في صورة بالات بواسطة مكابس متخصصة (شكل 4-4).

شكل (4-4): يتم كبس المفروزات بمكابس متخصصة حسب نوع المفروزات

- بعدها تمر المخلفات على وحدة المنخل الثابت Fixed screen؛ ليفصل بين المادة العضوية وبين المرفوضات Reject materials من الأكياس البلاستيك وأي شوائب خفيفة؛ لتخرج المادة العضوية وتستقبل مباشرة على مقطورات، لتوصيلها إلى مكان الكمر والمعالجة (شكل 4-5)، بينما تذهب المرفوضات إلى مكان خاص بها؛ ليتم رفعها بعد ذلك ودفنها في المدفن الصحي.

شكل (4-5):المنخل الثابت في نهاية خط الفرز؛ لفصل المادة العضوية عن المرفوضات (لأعلى)، واستقبال المادة العضوية على المقطورات مباشرة (إلى اليسار)، ونقلها إلى منطقة المعالجة، وفيها يتم الترطيب والتقليب حتى الحصول على المنتج (إلى اليمين)

2. **المخلفات الزراعية (نباتية - حيوانية):**

يتم تحديد مصادر إمداد المصنع بالمخلفات الزراعية، سواء كانت مخلفات من البقايا النباتية، أو مخلفات التصنيع الزراعي، أو مخلفات الأسواق العمومية، بالإضافة إلى المخلفات الحيوانية المختلفة، ويدخل مع المصادر الحيوانية أيضًا مخلفات المجازر، والطيور النافقة. كما يجب تحديد الاحتياجات السنوية من كلٍّ من هذه المخلفات، وتحديد فترة تواجدها. فالمخلفات النباتية ومخلفات التصنيع الزراعي أو مخلفات الصناعات الغذائية هي مخلفات موسمية، ويجب تخزين احتياجات المصنع من أيٍّ منها في موسم تواجدها، كما يجب إعدامها بالفرم أو التقطيع، عندما يكون ذلك ضروريًّا. وفي الوقت الذي تتواجد فيه المخلفات النباتية ومخلفات التصنيع الزراعي موسميًّا، نجد أن مخلفات الأسواق العمومية، والمخلفات الحيوانية تتواجد طول العام، وتستخدم مباشرة في الخلط والإضافة؛ حيث إنها في الغالب لا تحتاج إلى فرم أو تقطيع (شكل 4-6 أ، ب).

شكل (4-6 أ): بعض مخلفات الخضر والأسماك التي تستخدم في صناعة الأسمدة العضوية

شكل (4-6 ب): بعض المخلفات الحيوانية من روث وطيور نافقة يمكن استخدامها في صناعة الأسمدة العضوية

مراقبة جودة الخامات:

يتم مراقبة الخامات الواردة للمصنع, بحيث يتم التعامل فقط مع المادة العضوية.

أ. المخلفات البلدية الصلبة (القمامة المنزلية):

يجب مراقبة عمليات الفرز الأولي والنهائي, بحيث تتم بكفاءة عالية، والعمل على أن تكون نسبة الزجاج وأكياس البلاستيك أقل ما يمكن، وأن تكون المادة العضوية خالية من أي ملوثات أو شوائب غريبة.

ب. المخلفات الحيوانية:

تتم مراقبة جودة الروث الحيواني، بمراعاة اعتبارات الجودة في هذه الخامات. وأهم ضوابط الجودة في هذه المخلفات هو خلوها من الشوائب

المؤثرة على نسبة المادة العضوية بها، وفي المنتج النهائي الناتج عنها؛ لذا يجب ملاحظة:

- أن يكون الروث الحيواني خاليًا من الأتربة والرمال.
- أن يكون خاليًا من الشوائب الناتجة من القمامة المنزلية من بلاستيك وخيش وقماش وخلافه.
- ألَّا تزيد نسبة الرطوبة به عن 50٪.
- ألَّا تقل نسبة المادة العضوية به عن 50-60٪.
- ألَّا تزيد نسبة القش عن 20٪، بالرغم من أن القش من المخلفات الزراعية، وهو غير ضار من حيث التصنيع، ولا الجودة، ولكن وجوده أكثر من ذلك لا يحقق اقتصاديات المعالجة في حالة ما إذا كان الشراء لهذه المخلفات يتم بالمتر المكعب.

ج. المخلفات النباتية وبقايا المحاصيل، ومخلفات التصنيع الزراعي، ومخلفات الأسواق العمومية:

يجب مراقبة عملية استلام الخامات الزراعية من المخلفات النباتية وبقايا المحاصيل، ومخلفات التصنيع الزراعي، والأسواق العمومية؛ بحيث تكون خالية تمامًا من الأتربة والأحجار وغيرها؛ حيث إن وجود أيٍّ من هذه الشوائب يقلل من جودة الأسمدة العضوية التي يتم تصنيعها من هذه الخامات.

ثانيًا: الفرم أو الطحن لتجهيز المواد الخام بحجم يناسب نشاط الكائنات الحية الدقيقة:

سبق بيان أهمية أن تكون جزيئات المواد الخام التي تعمل عليها الكائنات الحية الدقيقة في مدى من 0.25 -5 سم؛ ومن ثم لا بد من الاستعانة بإحدى ماكينات التقطيع والفرم لإنجاز هذه العملية. ويمكن استخدام ماكينات

الباندت، أو الهمر ميل، أو الهاي باستر حسب كمية المخلفات المتاحة، وطبيعة هذه المخلفات؛ فقش الأرز يختلف عن حطب القطن والذرة، يختلف عن جريد النخيل، يختلف عن نواتج تقليم الأشجار من حيث القوة التي تبديها عند الفرم أو التقطيع. فالمخلفات النباتية – سواء كانت قشًّا أو أحطابًا أو عروشًا – تحتاج في مجملها إلى فرم وتقطيع أو طحن بأي من ماكينات الفرم والطحن التي يجب توفيرها بالمصنع، أو بواسطة ماكينة التقليب "إسكارب"؛ لتعطي جزيئات تتناسب في حجمها مع حجم الجزيئات المطلوبة لبداية التحلل وصناعة الكمبوست (شكل 4-7).

شكل (4-7): ماكينات الفرم مختلفة القدرات، ومعها ماكينة التقليب ذات السكاكين المتحركة، والتي يمكن استخدامها في فرم المخلفات الزراعية مهما كانت طبيعتها

ثالثًا: بناء المصفوفات أو الكومات من خليط من المواد الخام الأولية بنسب خلط تحقق الوصول إلى مدى مناسب فيما بين الكربون إلى النيتروجين C/N ratio**، مع تحقيق بعض الاتزان العنصري في الخليط:**

يتم خلط المخلفات مختلفة المحتوى من الكربون والنيتروجين مع بعضها بنسب تحقق الوصول إلى نسبة لا تزيد عن 35 :1 فيما بين الكربون والنيتروجين. ومن المواد الغنية في نسبة النيتروجين، أو التي بها نسبة الكربون إلى النيتروجين منخفضة، والتي تستخدم في الخلط لتقليل نسبة الكربون إلى النيتروجين، هي المخلفات الحيوانية والنباتات الخضراء (جدول 4-1).

جدول (4-1): يوضح نوعية بعض المخلفات منخفضة الكربون، والتي تساعد في ضبط نسبة الكربون إلى النيتروجين في خليط المخلفات

مواد منخفضة في قيم الكربون للنيتروجين من المخلفات الحيوانية ومواد نباتية خضراء		مواد مرتفعة في قيم الكربون للنيتروجين من المواد النباتية الجافة	
سيقان فول الصويا	عرش بنجر السكر	تبن القمح	سيقان القطن
أوراق وسيقان دوار الشمس	عرش الطماطم	سيقان العدس	قش الأرز
الخضراوات	عرش البطاطس	سيقان السمسم	أعواد الذرة الشامية
عرش الفول السوداني	سيقان وأوراق النباتات الطبية والعطرية	سيقان الكتان	أوراق قصب السكر (سفير القصب)

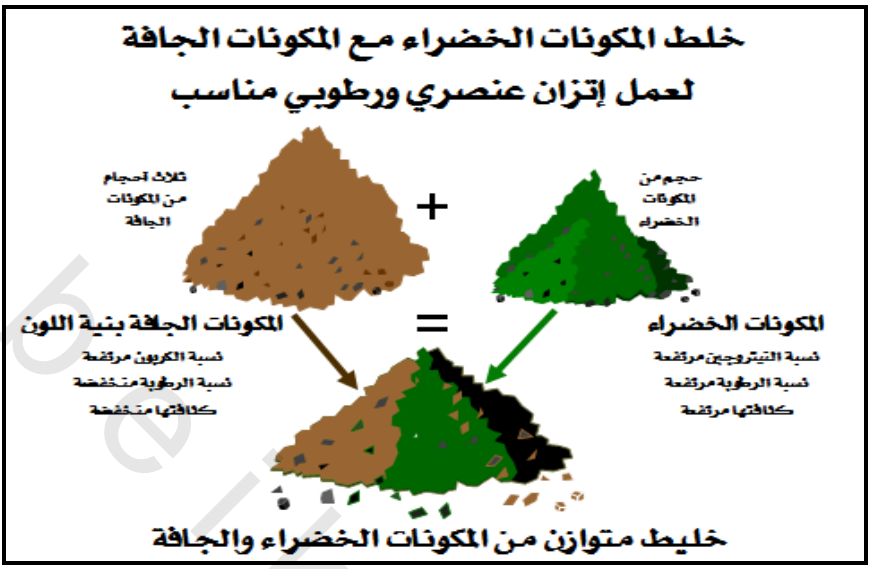
كما يستخدم الروث الحيواني، زرق الدواجن، مطحون

البن، مخلفات التصنيع الزراعي لنباتات الخضر والفاكهة لضبط نسبة الكربون للنيتروجين. ويجب التذكير هنا بما تتميز به المخلفات الخضراء (Green) من مزايا تجعلها ضرورية للخلط مع المخلفات الجافة البنية (Brown) بجدول (4-2).

جدول (4-2): مميزات المخلفات الخضراء التي تجعلها ضرورية للخلط مع المخلفات الجافة البنية في ضبط نسبة الكربون إلى النيتروجين في خليط المخلفات

المحتوى أو الصفة	المخلفات الخضراء Green	المخلفات البنية Brown
الكربون	منخفض	عالٍ
النيتروجين	عالٍ	منخفض
نسبة الكربون إلى النيتروجين	منخفض	عالٍ
الرطوبة	عالٍ - متوسط	منخفض - متوسط
النفاذية	منخفض - متوسط	عالٍ - متوسط
الكثافة	عالٍ - متوسط	منخفض - متوسط
سرعة التحلل	سريع	بطيء

والشكل التخطيطي التالي (شكل 4-8) يوضح أهمية خلط مكونات خضراء، على سبيل المثال، إلى مكونات جافة؛ لتحقيق توازن عنصري ورطوبي مناسب لنشاط الكائنات الحية الدقيقة.



شكل (4-8): ضرورة خلط مكونات غنية في النيتروجين مع أخرى فقيرة في النيتروجين؛ لتحقيق توازن في نسبة الكربون إلى النيتروجين

ويتم حساب نسب الخلط بين المخلفات المتاحة للوصول إلى نسبة الكربون إلى النيتروجين عند الحدود المثلى لبداية التشغيل، طبقًا للمثال التالي:

لتحقيق نسبة الكربون إلى النيتروجين المطلوبة في خليط من المخلفات الزراعية من مصادر مختلفة، يلزم أولًا معرفة نسبة الكربون إلى النيتروجين في كلٍّ منها من خلال التحليلات المعملية. ثم يتم بعد ذلك اتباع خطوات المعادلة التالية في تحديد نسب الخلط:

$$Q1 + Q2 = Q3 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

حيث إن:

كمية المخلف الأول = Q1

كمية المخلف الثاني = Q2

كمية الخليط المطلوب = Q3

وعند اتخاذ نسبة الكربون إلى النيتروجين كأحد المتغيرات في المعادلة (1) فإنها تصبح:

(Q1 x C/N1) + (Q2 x C/N2) = (Q3 x C/N3) …..… (2)

حيث إن:

C/N1 = نسبة الكربون إلى النيتروجين في المخلف الأول

C/N2 = نسبة الكربون إلى النيتروجين في المخلف الثاني

C/N3 = نسبة الكربون إلى النيتروجين في الخليط المطلوب

وبفرض أن الكمية المطلوب تجهيزها هي Q3 = 100 طن

Q1 = (100 – Q2) ……..…… (3)

ففي حالة عمل خليط من حطب الذرة الشامية مثلًا, الذي يحتوي على نسبة الكربون إلى النيتروجين قدرها 58 :1، ويرمز لها بالرمز Q_1، مع عروش البطاطس الخضراء التي تحتوي على نسبة الكربون إلى النيتروجين قدرها 13: 1، ويرمز لها بالرمز Q_2، للحصول على 100 طن خليط منهما، يحتوي على نسبة تقريبية من الكربون إلى النيتروجين قدرها حوالي 35 :1، ويرمز لهذه الكمية بالرمز Q_3 – فإنه يمكن استخدام المعادلة (2)، وذلك بالتعويض عن قيمة Q1 بما يقابلها في المعادلة رقم (3), فإن نسبة الكربون: النيتروجين للخليط الناتج تصبح:

(Q1 x C/N1) + (Q2 x C/N2) = 100 x C/N3

(100 - Q2) x 58 + (Q2 x 13) = 100 x 35

5800 - 58Q2 + 13Q2 = 3500

-45Q2 =-2300

بضرب الطرفين في (-) تصبح 45Q2 = 2300 ، ومعها تصبح قيمة

Q2 = 2300 / 45 = 51.11 ton

وبذلك يمكن استخدام حوالي 51 طن من عروش البطاطس الخضراء مع 49 طن حطب الذرة الشامية، للحصول على 100 طن خليط منهما نسبة الكربون إلى النيتروجين به حوالي 35: 1، وللتبسيط في هذه الحالة يمكن القول إن نسبة الخلط عبارة عن 1: 1 من كلا المخلفين المتاحين للخلط.

رابعًا: ضبط نسبة الرطوبة بالخليط قبل بداية التشغيل لتكون جاهزة لعمل ونشاط الكائنات الحية الدقيقة:

وهذه نقطة مهمة يجب الحرص عليها، بحيث لا تقل نسبة الرطوبة عن 40٪ عند تجهيز خليط المخلفات؛ لتكون جاهزة لعمل ونشاط الكائنات الحية الدقيقة، ويتم ذلك بأحد أو كل الخطوات التالية:

- العمل على ترطيب الخامات ترطيبًا خفيفًا (تعرف بتنسيم المخلفات بالماء) قبل بناء المصفوفات، ومع كل طبقة عند البناء، خاصة وأن المخلفات الزراعية الجافة لا تتشرب المياه المضافة بسهولة، وعدم اتباع هذا التدرج في الترطيب يتسبب في فقد كثير من المياه دون الوصول إلى الرطوبة المطلوبة.
- تكرار الترطيب على فترات متقاربة, حتى الوصول إلى الرطوبة المطلوبة (من 50 إلى 60٪).
- خلط مكونات خضراء غنية في محتواها من الرطوبة مع مخلفات جافة بنفس طريقة الحساب والخلط عند حساب نسبة الكربون إلى

النيتروجين, السابق الإشارة إليها، وفيها:

Q1 + Q2 = Q3 ..... (1)

حيث إن:

كمية المخلف الأول = Q1

كمية المخلف الثاني = Q2

كمية الخليط المطلوب = Q3

(Q1 X1) + (Q2 x X2) = (Q3 x X3) .....(2)

نسبةالرطوبة في المخلف الأول = X1

نسبة الرطوبة في المخلف الثاني = X2

نسبة الرطوبة في الخليط المطلوب = X3

وبفرض أن الكمية المطلوب تجهيزها هي Q3 = 100 طن

Q1 = (100 – Q2) .....(3)

ففي حالة عمل خليط من حطب الذرة الشامية Q_1 (20٪ رطوبة) مع مخلفات تصنيع اللوبيا الخضراء Q_2 (60٪ رطوبة) للحصول على 100 طن خليط Q_3 يحتوي على حوالي 55٪ رطوبة، يمكن استخدام المعادلة (2)، وذلك بالتعويض عن قيمة Q1 بما يقابلها في المعادلة رقم (3)، فتصبح المعادلة:

(Q1 x X1) + (Q2 x X2) = 100 x X3

(100-Q2) x 20 + Q2 x 60 = 100 x 55

2000 - 20Q2 + 60Q2 = 5500

40Q2 = 3500

Q2 = 3500 / 40 = 87.5 ton

وعليه فإنه يمكن استخدام 87.5 طن من مخلفات تصنيع اللوبيا الخضراء مع 12.5 طن حطب الذرة الشامية للحصول على 100 طن خليط منهما نسبة الرطوبة به 55٪, فإذا كانت كمية مخلفات تصنيع اللوبيا الخضراء غير كافية لعمل خليط بهذا المعدل مع حطب الذرة، فإن الحل يتم بعمل خليط بالنسب المتاحة منهما (حسب نسبة الكربون إلى النيتروجين)، ثم تحسب رطوبة الخليط، وتستكمل من خلال إضافة الماء تنسيمًا في المراحل الأولى، إلى أن يتم ضبط نسبة الرطوبة بعد المزيد من التجانس في المصفوفات.

خامسًا: بناء المصفوفات والكومات:

يتم بناء المصفوفات أو الكومات تبعًا لطبيعة المخلفات وكميتها والمساحة المتاحة بالمصنع:

أ. بناء المصفوفات:

يتم بناء المصفوفات من المخلفات المتاحة بعد حساب نسب الخلط التي سيتم استخدامها من واقع الحسابات التي تم القيام بها؛ لتحقيق نسبة الكربون إلى النيتروجين والرطوبة المطلوبة، وكذلك معرفة حجم المياه اللازم إضافته؛ تنسيمًا لمخلفات الخليط, إذا لم تكن نسبة الخلط ستحقق نسبة الرطوبة المطلوبة.

ويتم بناء المصفوفات في أشكال أقرب للشكل ذي المقطع المثلث Triangle، أو البيضاوي Oval، أو شبه المنحرف Trapezoid، وبعرض يتناسب مع عرض ماكينة التقليب (3-5 متر)، وارتفاع من 1.5 -2 متر، وبطول بلاطة التشغيل بحيث لا تزيد عن 100 متر.

ب. بناء الكومات:

يتم بناء الكومات بطريقتين حسب الإمكانات المتاحة والمتوفرة بالمصنع.

الطريقة الأولى:

1. تحديد الكميات التي تحقق نسب الخلط المتوازن للكربون إلى النيتروجين، وتحديد نسبة الرطوبة التي سيكون عليه الخليط، من بين المخلفات المتاحة للتصنيع.
2. يتم خلط المكونات مع بعضها، وتقليبها للوصول إلى أقرب وضع للتجانس فيما بينها، مع الرش أو التنسيم بالماء (المحسوب) إذا كان الخليط لا يحقق نسبة الرطوبة المطلوبة.
3. يتم وضع الخليط في مصفوفات أو كومات بالأبعاد المتوافقة مع طريقة التقليب التي سيتم اتباعها في التصنيع.

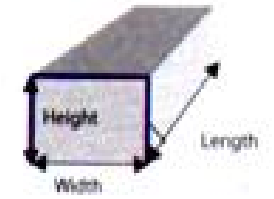
الطريقة الثانية:

1. أن يتم تحديد الكميات التي تحقق نسب الخلط المتوازن للكربون إلى النيتروجين، وتحديد نسبة الرطوبة التي سيكون عليه الخليط، من بين المخلفات المتاحة للتصنيع.
2. يتم وضع المخلفات في طبقات، كل طبقة لنوع معين من المخلفات، على أن يكون المخلف الأكثر جفافًا في الطبقة الأولى.
3. يتم الرش أو التنسيم بالماء لكل طبقة من الطبقات إذا كان الخليط لا يحقق نسبة الرطوبة المطلوبة عند اكتمال الخلط.
4. في حالة عدم وزن كمية كل مخلف مستخدم في بناء المصفوفات

أو الكومات، وكان الاعتماد على استخدام نسب تقريبية بين المكونات، فإنه بعد اكتمال البناء، يتم حساب حجم المصفوفات أو الكومات حسب الشكل الهندسي المتوافق معها (شكل 4-9).

5. يتم حساب حجم المصفوفات بالمتر المكعب، بمعلومية عرض المصفوفة Width ، وارتفاعها Height، وطولها Length or Long بالمتر. وبمعرفة حجم المصفوفة Volume، وكثافة خليط المخلفات Bulk density، يتم حساب وزن المصفوفة أو كتلتها Weight or Mass بالكيلو جرام.

ففي حالة الشكل المستطيل Rectangle يتم حساب الحجم بضرب أبعاد المصفوفة ببعضها (العرض × الارتفاع × الطول)، وفي حالة الشكل ذي المقطع المثلث Triangle يكون حجم المصفوفة = ½ العرض × الطول × الارتفاع أو = العرض × الطول × الارتفاع × 0.5 ، وفي حالة الشكل شبه المنحرف Trapezoid يكون حجم المصفوفة = (نصف مجموع عرض القاعدتين) × الارتفاع × الطول أو = (مجموع عرض القاعدتين) × الارتفاع × الطول × 0.5 ، بينما في حالة الشكل البيضاوي Oval يكون حجم المصفوفة = ¾ العرض × الطول × الارتفاع , أو = العرض × الارتفاع × الطول × 0.75. بعد حساب حجم المصفوفة أيًّا كان شكلها، فإن الوزن في كل الحالات = حجم المصفوفة × كثافة خليط المخلفات بالمصفوفات.



Rectangle

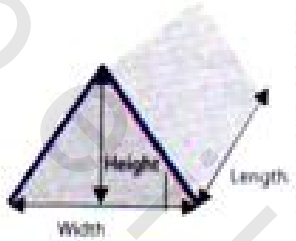
شكل المستطيل

Volume = Height x Width x Length

الحجم = الطول * العرض * الارتفاع

Mass = Volume x Bulk Density

الوزن = الحجم * الكثافة



Triangle

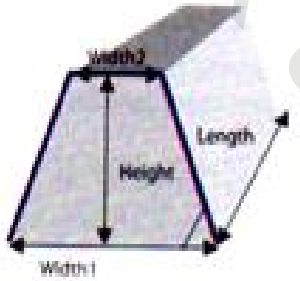
شكل المثلث

Volume = Height x Width x Length x 0.5

الحجم = الطول * العرض * الارتفاع *0.5

Mass = Volume x Bulk Density

الوزن = الحجم * الكثافة



Trapezoid

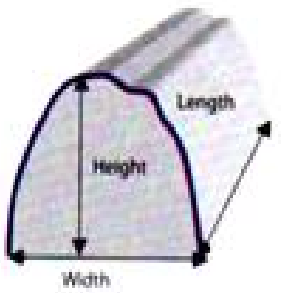
شكل شبه المنحرف

Volume= Height x (Width1+Width2) x Length x 0.5

الحجم = الطول * (العرض 1 + العرض 2) * الارتفاع *0.5

Mass = Volume x Bulk Density

الوزن = الحجم * الكثافة



Oval

شكل البيضاوي

Approximations:

Volume = Height x Width x Length x 0.75

الحجم = الطول * العرض * الارتفاع *0.75

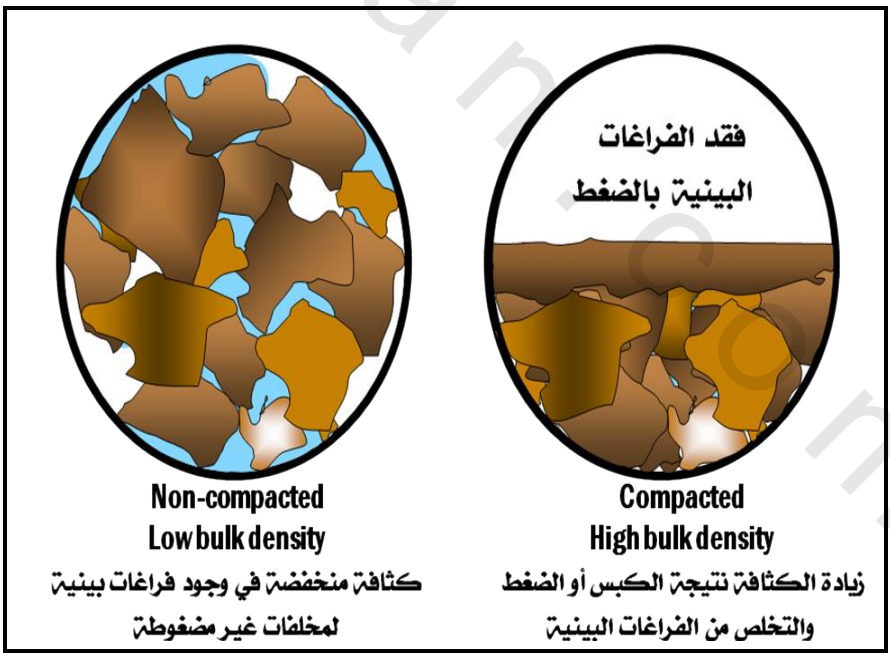
Mass = Volume x Bulk Density

الوزن = الحجم * الكثافة

شكل (4-9): نماذج وأشكال بناء المصفوفات والكومات، وكيفية حساب أوزان محتوياتها

ملحوظات:

- تتأثر أبعاد المصفوفات أو الكومات بطبيعة حالة المخلفات، فالمخلفات الزراعية عادة ما تكون خفيفة الوزن وهشة، والفراغات البينية بين جزيئاتها كبيرة، وكثافتها منخفضة (حيث إن الكثافة هي مقدار الوزن الذي يشغل حجمًا معينً)، وبالتالي تشغل حيزًا كبيرًا، وتعطي حجمًا وأبعادًا على غير حقيقتها؛ لذا لا بد من الضغط عليها بباكت اللودر أو الجرار أو الحفار، وبعدها تؤخذ أبعاد المصفوفات أو الكومات؛ من عرض، وارتفاع، وأطوال. والشكل التالي (4-10) يوضح حالة المخلفات قبل وبعد ضغطها، وتأثير ذلك على الحجم وبالتالي على الكثافة.



شكل (4-10): تأثير الضغط على حجم وكثافة المخلفات

- يجب أن يكون معلومًا مقدار ما يحدث من فقد وخفض في حجم ووزن المصفوفات منذ بداية خلط المخلفات، حتى الوصول إلى مرحلة الإنضاج والنخل (جدول 4-3)، ومنها يتم حساب المنتج المتوقع الحصول عليه.

جدول (4-3): مقدار ما يحدث من فقد في حجم ووزن المصفوفات خلال مراحل إنتاج الكمبوست

مرحلة الإنتاج Production stage	نسبة الفقد في الحجم ٪ Volume reduction	نسبة الفقد في الكتلة ٪ Mass reduction
مرحلة الخلط Mixing	10-15%	أقل من 5%
مرحلة الكمر النشط Active composting	20-30%	20-35%
مرحلة النخل Screening	10-30%	10-25%
مرحلة الإنضاج Curing	أقل من 5%	أقل من 5%
المجموع Total	35-55%	40-60%

obeikan.com

المرحلة الثانية: مرحلة التحلل النشط أو المعالجة *Active composting process*

أهم العمليات في مرحلة التحلل أو الكمر النشط تتمثل في:

1. توفير الرطوبة المناسبة لعمل ونشاط الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الخليط.
2. تقليب المصفوفات؛ لتوفير الأكسجين بالمستوى المناسب لنشاط الكائنات الحية الدقيقة، وخفض درجة الحرارة إلى الدرجة التي تساعد على المزيد من النشاط.
3. ضم المصفوفات أو الكومات عند انخفاض حجمها؛ ليظل الحجم مناسبًا لحفظ درجة حرارة ورطوبة الخليط.
4. المداومة على مراقبة درجة الحرارة وتسجيلها أثناء فترة التشغيل؛ حيث إنها من أهم مؤشرات مراقبة كفاءة عملية الكمر، ومعرفة إلى أي مدى وصلت عملية الكمر النشط, ومتى ستنتهي.

أولا: توفير الرطوبة المناسبة لعمل ونشاط الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الخليط:

يتم الترطيب باستخدام مقطورات الترطيب، أو ماكينات رفع وضخ المياه، أو مع ماكينة التقليب (شكل 4-11). ويعتبر الترطيب مع ماكينات التقليب - حال توافرها - من أفضل الطرق للوصول بنسبة الرطوبة إلى المعدلات المثلى، وبشكل متجانس مع كل مكونات المصفوفة.

شكل (4-11): أنظمة الترطيب لمصفوفات الأسمدة العضوية أو الكمبوست في مراحل مختلفة من المعالجة، تنك الترطيب (لأعلى)، والترطيب مع ماكينة التقليب (أسفل اليمين)، والترطيب بخراطيم ماكينة الري (أسفل اليسار)

ويجب أن يكون معلومًا أن ضبط الرطوبة في بداية عملية التشغيل لا يعني أن هذه الرطوبة ستظل كافية لاحتياجات الكائنات الحية الدقيقة في المراحل التالية، أو طيلة فترة الكمر ولتحلل؛ فأثناء التشغيل يحدث انخفاض في نسبة الرطوبة عن النسبة التي تم ضبط الخليط عليها؛ نتيجة الاستهلاك بواسطة الكائنات الحية، والفقد بالبخر نتيجة ارتفاع درجة الحرارة بالكومات أو المصفوفات، وعليه يجب إضافة كمية من الماء لتعويض هذا النقص، والمحافظة على نسبة الرطوبة حول المدى الأمثل لنشاط هذه الكائنات الحية الدقيقة. فكم من المياه يجب إضافته لضبط نسبة الرطوبة عند المستوى الأمثل وقدره 55٪؟

إن حساب هذه الكمية من الماء المطلوب إضافته يتطلب ما يلي:

- معرفة نسبة الرطوبة في المصفوفة, فإذا كانت قد وصلت مثلًا إلى 40٪، فإنه يلزم إضافة 15٪ من الماء لتصبح الرطوبة 55٪، فكيف يمكن تحديد نسبة الـ 15٪ هذه بالأمتار المكعبة من الماء لإضافتها للمصفوفة؟
- إذا كان النقص في الرطوبة قدره 15٪، فإن هذا يعني أن الماء المطلوب إضافته قدره 15 لترًا من الماء لكل 100 كيلو جرام من مكونات المصفوفة، أي 150 لتر لكل طن.
- بمعرفة حجم الماء اللازم إضافته لكل طن من المخلفات بهذه المصفوفة أو الكومة، ومعرفة وزن الكومة أو المصفوفة التقريبي بالطن، يمكن حساب حجم الماء المطلوب إضافته، وذلك بضرب وزن المصفوفة أو الكومة في حجم الماء الذي يحتاجه كل طن.

- بإضافة هذا الحجم المحسوب من الماء إلى هذه الكومة أو المصفوفة نصل بالرطوبة إلى 55٪.

ثانيًا: تقليب المصفوفات لتوفير الأكسجين بالمستوى المناسب لنشاط الكائنات الحية الدقيقة، وخفض درجة الحرارة إلى الدرجة التي تساعد على المزيد من النشاط:

التهوية لكومات ومصفوفات الكمبوست يعني إدخال بعض الهواء الجوي (الذي يحتوي على 21٪ منه أكسجين) إلى داخل الكومات والمصفوفات، وإحلاله محل الهواء الداخلي الذي استنزف الكثير من الأكسجين به، وهو ما يقلل من نشاط الكائنات الحية الدقيقة الهوائية التي تعتمد على الأكسجين لحياتها ونشاطها.

ويتم التقليب بواسطة ماكينات التقليب، مثل: ماكينة إسكاراب (شكل 4-12), التي تقوم بإدخال الهوائي الجوي البارد نسبيًّا إلى داخل المصفوفات, وما به من أكسجين، وخروج الهواء الساخن, وما به من ثاني أكسيد الكربون, وبخار الماء؛ مما يؤدي إلى خفض درجة الحرارة داخل المصفوفة. بالإضافة إلى ذلك، فإن ماكينة التقليب تقوم بعمل مزيد من التكسير لجزيئات المواد العضوية؛ مما يؤدي إلى سرعة التفاعلات وتقليل زمن الكمر والتحلل.

وبمجرد التقليب وتحسين حالة التهوية تتحسن - بالتبعية - حالة النفاذية بشكل مباشر. ويتم التقليب كل 3-4 أيام - أي مرتين في الأسبوع - ويرتبط ذلك بمتابعة درجة الحرارة داخل المصفوفات أو الكومات, بحيث لا تزيد درجة الحرارة عن 78°م. والتقليب بهذا المعدل يعني القضاء على أي توالد وتكاثر للذباب؛ وذلك لعدم إعطائه

أي فرصة لفقس بيض الـذباب. فـإذا مـا تـأخر التقليـب لأكثـر مـن 4 أيـام، فـإن ذلـك يعـني إعطـاء فرصـة لبـيض الـذباب لأن يفقـس، وتخـرج أجيـال جديدة من الذباب؛ مما يزيد من تواجده بالمصنع.

شكل (4-12): التقليب بواسطة ماكينة التقليب إسكاراب لخامات ومنتجات مختلفة، ويؤدي التقليب إلى خفض درجة حرارة المصفوفات، وإدخال الهواء والأكسجين إليها؛ لمساعدة الكائنات الحية الدقيقة على تجديد نشاطها

وفي حالة عدم توافر ماكينات التقليب الكبيرة المتخصصة، فإنه يمكن استخدام ماكينات تقليب صغيرة تعمل وتجر بواسطة جرار زراعي (وتعرف بالمجرورة). كما يمكن استخدام معدات بديلة, مثل: اللوادر في حالة المصفوفات أو الكومات الصغيرة أو متوسطة الحجم، أو الحفارات للمصفوفات والكومات الكبيرة، أو بواسطة مقطورات توزيع, وبدار الأسمدة العضوية (شكل 4-13)، ويلاحظ في طريقة استخدام بدارات السماد العضوي أنها تستخدم أكثر من معدة في وقت واحد؛ حيث يستخدم جرار ومقطورة البدار، بالإضافة إلى اللودر الذي يقوم بالتغذية؛ مما يؤثر على اقتصاديات الإنتاج، لكن نتائجها أفضل من اللودر بمفرده.

شكل (4-13): التقليب بواسطة ماكينات التقليب المجرورة بجرار (أعلى اليمين)، بواسطة اللوادر للكومات متوسطة الحجم (أعلى اليسار) ، وبواسطة الحفارات للكومات كبيرة الحجم (أسفل اليمين)، و بدارات السماد العضوي (أسفل اليسار)

ثالثًا: ضم المصفوفات أو الكومات عند انخفاض حجمها ليظل الحجم مناسبًا لحفظ درجة حرارة ورطوبة الخليط:

تنخفض أحجام المصفوفات نتيجة عمليات الكمر والتحلل؛ مما يجعل حجمها أقل من حجم نفق ماكينة التقليب، فيصبح تقليبها في هذه الحالة غير اقتصادي. هذا من جهة، ومن جهة أخرى فإن انخفاض حجم المصفوفات عن الحجم الذي بُنيت عليه يجعلها معرضة للتبريد السريع؛ مما يعيق عمل البكتريا المحبة للحرارة، ويقلل نشاطها، ويزيد من وقت وزمن الكمر والتحلل.

وتتم عملية ضم المصفوفات باستخدام اللوادر محورية الحركة ذات الكفاءة العالية في المناورة بين المصفوفات، وفي حالة عدم تواجدها يتم استخدام اللوادر العادية أو الجرارات الزراعية المزودة بباكت (شكل 4-14).

شكل (4-14): يوضح استخدام اللوادر في ضم المصفوفات

رابعًا: المداومة على مراقبة درجة الحرارة وتسجيلها أثناء فترة التشغيل؛ حيث إنها من أهم مؤشرات مراقبة كفاءة عملية الكمر، ومعرفة إلى أي مدى وصلت عملية الكمر النشط ومتى ستنتهي:

كما ذكرنا من قبل، فإن عملية التقليب مرتبطةٌ بارتفاع درجة الحرارة إلى أعلى من 60 -65°م في مرحلة الكمر النشط، وبالتالي تصبح عملية مراقبة درجة حرارة المصفوفات من العمليات المهمة في مراقبة مراحل الإنتاج (شكل 4-15). فارتفاع درجة الحرارة يعني ارتفاع درجة نشاط الكائنات، وطالما أنها في هذه الحالة من النشاط فإنها تكون قد استنفدت قدرًا كبيرًا من الأكسجين، وقدرًا أكبر من المياه؛ لذا يجب أخذ عينات من المصفوفة لتقدير نسبة الرطوبة بها، ويتم على الفور إضافة المياه بعد حساب كميتها، وإدخال الأكسجين عن طريق التقليب.

شكل (4-15): متابعة درجة حرارة المصفوفات في مراحل الإنتاج المختلفة

ويتم تقدير الرطوبة عن طريق فرن التجفيف لمدة 24 ساعة، أو باستخدام ميزان الرطوبة لمدة من 15–20 دقيقة دوريًّا (مرتين في الأسبوع قبل عمليات التقليب)، والتي يمكن من خلالها تحديد كمية المياه المطلوب إضافتها للمصفوفات قبل عملية التقليب في حالة الحاجة للإضافة. ويجب أن تكون العينات المأخوذة للتقدير ممثلة تمثيلًا تامًّا لمكونات ومحتويات، وحالة هذه المصفوفات أو الكومات. وحتى يتحقق هذا التمثيل للعينة يجب أن يتم أخذ العينة من أعماق مختلفة ومن أماكن مختلفة، ثم يتم خلطها جيدًا قبل إجراء التحليل في المعمل الملحق بالمصنع (شكل 4- 16).

شكل (4–16): جانب من التحليلات المعملية في أحد معامل مصانع إنتاج الأسمدة العضوية

ومع هذه التقديرات الدورية، فإنه لا بد من متابعة حالة الرطوبة في المصفوفات أو الكومات يوميًّا، من خلال معرفة نسبة الرطوبة التقريبية، ويتم

ذلك بأخذ عينات عبارة عن أجزاء من عدة أماكن من المصفوفة أو الكومة، وضغط كل منها على حدة بين أصابع اليد وراحتها، وملاحظة أحد ثلاثة احتمالات تكون عليها الرطوبة في هذه العينات؛ الأول: ألا يترك ضغط العينة على راحة اليد أي أثر (وهو ما يعني أن الرطوبة منخفضة، وهي في هذه الحالة أقل من 50٪). الثاني: أن يخرج من بين أصابع اليد بعض قطرات من المياه (وهو ما يعني أن نسبة الرطوبة مرتفعة، وهي في هذه الحالة تكون أكبر من 60٪). الثالث: أن يحدث ترطيب لراحة اليد دون خروج أي قطرات من المياه (وهذا معناه أن الرطوبة في هذه الحالة مناسبة، وتكون حول معدل 55٪).

المرحلة الثالثة: مرحلة التسوية والإنضاج *Maturation and curing*:

أهم العمليات في مرحلة الإنضاج أو التشافي للحصول على منتج تام النضج، ثابت التكوين والمكونات من المواد العضوية النهائية، تتمثل في:

1. ضم وتكويم وتخزين المصفوفات بعد انتهاء مرحلة الكمر النشط.
2. متابعة قياس درجة الحرارة أثناء مرحلة التخزين.

أولا: ضم وتكويم وتخزين المصفوفات بعد انتهاء مرحلة الكمر النشط:

- يتم ضم وتكويم المصفوفات أو الكومات التي انتهت عمليات التخمر والكمر النشط بها في كومات كبيرة بارتفاع 4- 5 متر، بدون ترطيب أو تقليب، حتى يحين موعد النخل أو الغربلة (شكل 4-17).
- يترك الكمبوست على هذه الحالة للنضج الهادئ Maturing and Curing لفترة لا تقل عن 3 أسابيع.

- في موسم الأمطار يتم تغطية الكومات بالبلاستيك؛ لتجنب الابتلال وتعجن الأجزاء الخارجية للكومات، أو انجراف مكونات الكومة مع المياه.

شكل (4-17): كومة السماد العضوي أثناء فترة الإنضاج والتشافي

يتم التأكد من مظاهر نضج السماد العضوي المتمثلة في:

- اللون البني الداكن في الغالب هو اللون المميز للأسمدة العضوية (مع ملاحظة تأثير سيادة أو كثرة كمية بعض المواد الخام على لون السماد العضوي، فقد يكون لونه رماديًّا كما في الكمبوست السائد به طينة المرشحات، أو أسود كما في الكمبوست السائد به تفلة بنجر السكر).

- عدم وجود روائح غير مقبولة وظهور رائحة زكية (التربة المرشوشة بالماء).
- لا تنجذب إليه الذباب أو الحشرات.
- الانخفاض التدريجي في درجة الحرارة مع المحافظة على الرطوبة.
- عدم ارتفاع درجة الحرارة بعد الرش بالماء والتقليب.
- انخفاض نسبة الكربون إلى النيتروجين (ك: ن)؛ لتكون أقل من 1:20.
- ظهور النترات ونقص الأمونيا، واختفاء رائحة النشادر.

ثانيًا: متابعة قياس درجة الحرارة:

في مرحلة الإنضاج الهادئ أو التشافي تتجه درجة الحرارة إلى الثبات، ويجب التأكد من أن درجة الحرارة بهذه الكومات بعد الضم والتكويم لا تزيد عن درجة حراة الجو الخارجي بمقدار 10 درجات مئوية.

المرحلة الرابعة: مرحلة العمليات المتقدمة *Post processing*:

1. نخل المنتج النهائي من الأسمدة العضوية أو الكمبوست بمناخل تعطي حجم جزيئات مناسب للطلب على استخدام الكمبوست في السوق.
2. إجراء التحليلات الطبيعية والكيميائية وكتابة التقرير الفني عن السماد العضوي.

أولا: نخل المنتج النهائي من الأسمدة العضوية أو الكمبوست بمناخل تعطي حجم جزيئات مناسب للطلب على استخدام الكمبوست في السوق:

- ينقل السماد بعد تمام نضجه إلى منطقة النخل أو منطقة تخزين المنتج النهائي.

obeikan.com

- يتم إجراء عملية النخل للمنتج قبل تسويقه مباشرة, سواء كان التسويق سائبًا أو معبأً؛ للمحافظة على المنتج المنخول بدون أن يلوثه أي شوائب قد تتطاير من نواتج النخل بالمصنع أو من المصفوفات التي ما زالت تحت التشغيل وتتراكم عليه. كما أن ترك المنتج بدون نخل هو استمرار لمرحلة الإنضاج والتشافي التي تصل فيها المواد العضوية ومكوناتها إلى مزيد من الثبات، كما أنها تعمل على تكسير وتحلل بعض الأجزاء التي لم يستكمل تحللها؛ مما يزيد من تصافي عملية النخل، ويقلل من كمية الأجزاء الكبيرة Over size أو الأجزاء التي يتم رفضها والتخلص منها Rejects.
- يتم نخل أو غربلة السماد أو الكمبوست بواسطة المناخل، سواء كانت المناخل متحركة أو ثابتة (شكل 4- 18)؛ حيث يتم فصل السماد الناعم عن الأجزاء الخشنة، بحيث تكون حجم الحبيبات أو جزيئات السماد في حدود 10 مم.
- التكوين؛ حيث يعمل كمنشط أو بادئ لها، وبذلك يستكمل تحويلها إلى سماد ناعم من خلال عمليات التقليب والتهوية للمنتج الجديد.
- وأخيرًا يتم تجهيز السماد للتسويق بالمواصفات التي تتقابل مع احتياجات ورغبات العملاء، وتسويقه سائبًا أو معبأً في عبوات أو شكاير زنة 50 كيلو جرامًا.

شكل (4-18): عملية النخل بالمناخل المتحركة (لأعلى) والثابتة (لأسفل)،
وتسويق المنتج سائبًا ومعبأً

- الأجزاء ذات حجم الحبيبات أو الجزيئات الأكبر من 10 مم يمكن إعادة استخدامها وإضافتها جزئيًّا للمصفوفات حديثة التكوين.

ثانيًا: إجراء التحليلات الطبيعية والكيميائية وكتابة التقرير الفني عن السماد العضوي، المتضمن إجراء التحليلات التالية:

- تقدير رطوبة السماد.
- تقدير الكثافة.
- تقدير درجة التوصيل الكهربي EC.
- تقدير درجة التفاعل أو الـ pH.
- تقدير النسبة المئوية للنيتروجين الكلي.
- تقدير نسبة النيتروجين الأمونيومي، والنيتروجين النتراتي.
- تقدير النسبة المئوية للكربون العضوي.
- حساب نسبة الكربون إلى النيتروجين ClN Ratio.
- تقدير النسبة المئوية للفوسفور والبوتاسيوم.
- يتم تقدير نسب حجم الحبيبات المكونة للكمبوست، والتي قد تكون مطلبًا لبعض العملاء.
- التأكد من خلو السماد من تواجد النيماتودا وبذور الحشائش والذي يتميز الكمبوست الناضج بعدم احتوائه عليهما.

يتم تحرير شهادة بالتحليلات التي تم إجراؤها، واعتمادها من فني المعمل، ومراقب الجودة بالمصنع؛ لتكون مصاحبة للمنتج الذي يتم تسويقه.

العمليات الأساسية في إنتاج الأسمدة العضوية من الطيور والحيوانات النافقة

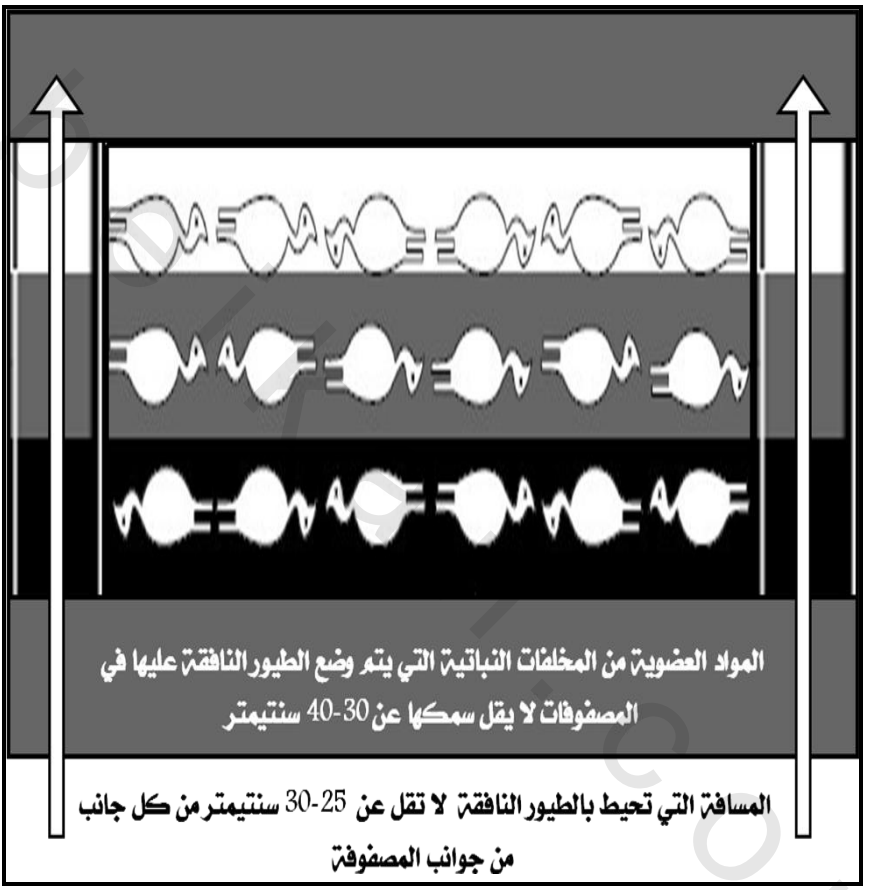
Principles Process for the Production of Organic Fertilizer from Dead Birds and Animals

صناعة الكمبوست من الطيور والحيوانات النافقة من التطبيقات العملية المهمة في صناعة الكمبوست والأسمدة العضوية. وإنتاج الكمبوست والأسمدة العضوية من هذه الطيور والحيوانات يعتبر تدويرًا لمصدر من أكثر المصادر خطورة على البيئة، والأشد ضررًا على الصحة العامة، وبديلًا لطرق التخلص بالحرق والدفن الصحي.

أولا: كمبوست الطيور والدواجن النافقة *Dead Birds and Poultry Compost*:

عند صناعة الكمبوست من الطيور النافقة، فإن هذه الطيور توضع بمجرد وصولها للمصنع في طبقة أو عدة طبقات، في كومات أو مصفوفات المخلفات التي مضى على تكوينها من أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع؛ حيث تكون هذه المصفوفات أو الكومات في مرحلة الكمر النشط ذي الحرارة المرتفعة, والتي تعمل على قتل ما تحتويه هذه الطيور من كائنات ممرضة، كما يعمل هذا الإجراء على تقليل مشاكل ظهور الروائح غير المرغوب بها التي تنبعث من هذه الطيور. كما يجب وضع هذه الطيور النافقة على طبقة سمكها لا يقل عن 30- 40 سنتيمترًا من قاعدة المصفوفة أو الكومة، مع مراعاة عدم وضعها فوق بعضها أو متلاصقة؛ بل يجب أن يكون وضعها فرادى، ويحيط بكل منها – في الطبقة الواحدة أو في الطبقات المتعددة – المواد العضوية

المكونة للمصفوفة، كما يجب أن تكون بعيدة عن السطح من كل جانب من جوانب المصفوفة بمسافة لا تقل عن 25- 30 سنتيمترًا (شكل 4-19).



شكل (4-19): طريقة تجهيز مصفوفات أو كومات الكمبوست في وجود الطيور والدواجن النافقة

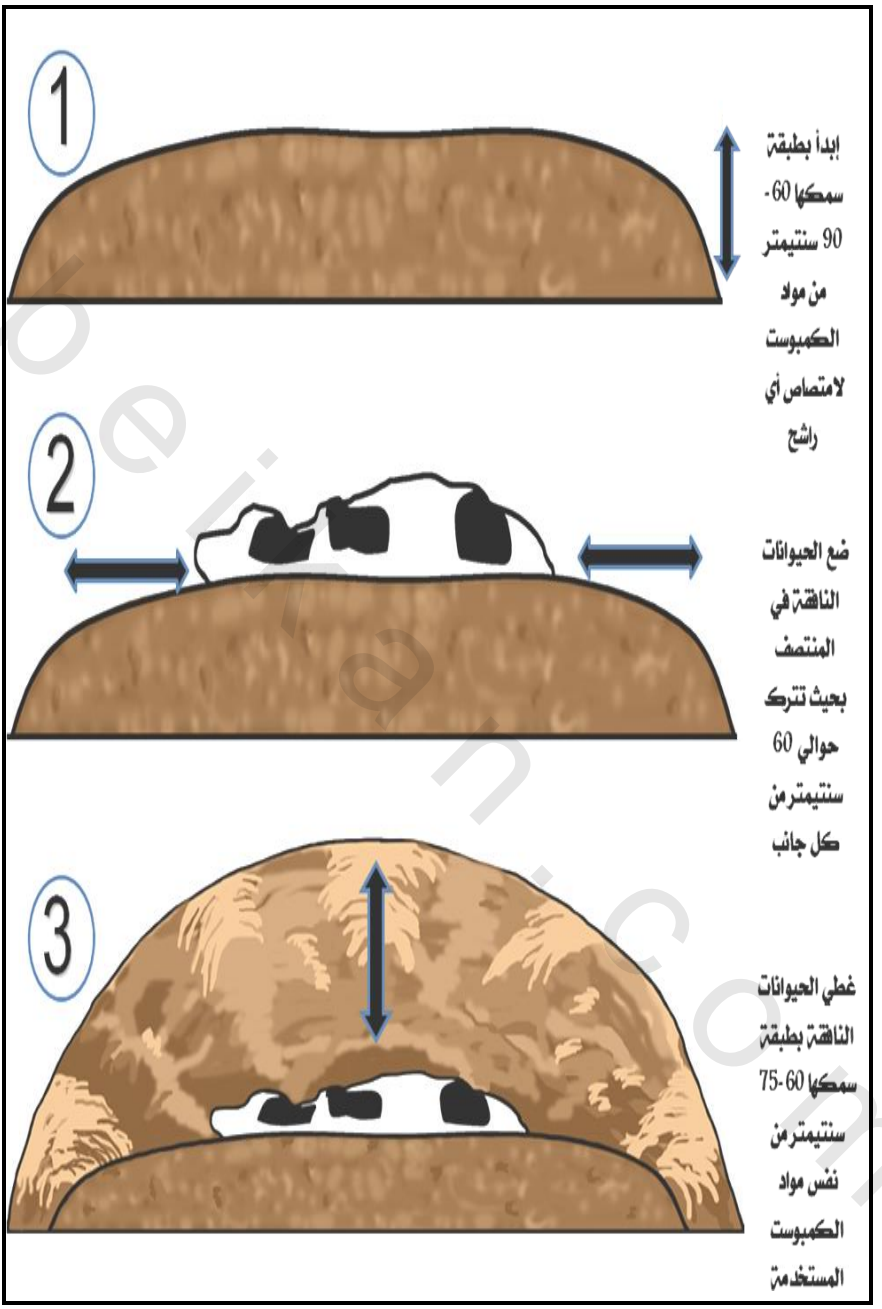
أما في حالة استخدام هذه الطيور النافقة في مصفوفات جديدة، فإنه يُنصح بغمس هذه الطيور في ماء يغلي لمدة 15 دقيقة، ثم بعد ذلك يتم وضعها على طبقة من المخلفات والمواد العضوية، سمكها كما سبق (من 30-40

سنتيمترًا)، وفي طبقة أو طبقات داخل مكونات المصفوفة أو الكومة، على أن تكون بعيدة عن السطح الخارجي أيضًا بنفس المسافة, والتي لا تقل عن 25-30 سنتيمترًا من كل اتجاه؛ بحيث لا تجذب الكلاب إليها، وألَّا تخرج روائح نفاذة خارجها.

ثانيًا: كمبوست الحيوانات والماشية النافقة Animals and Livestock Mortalities Compost:

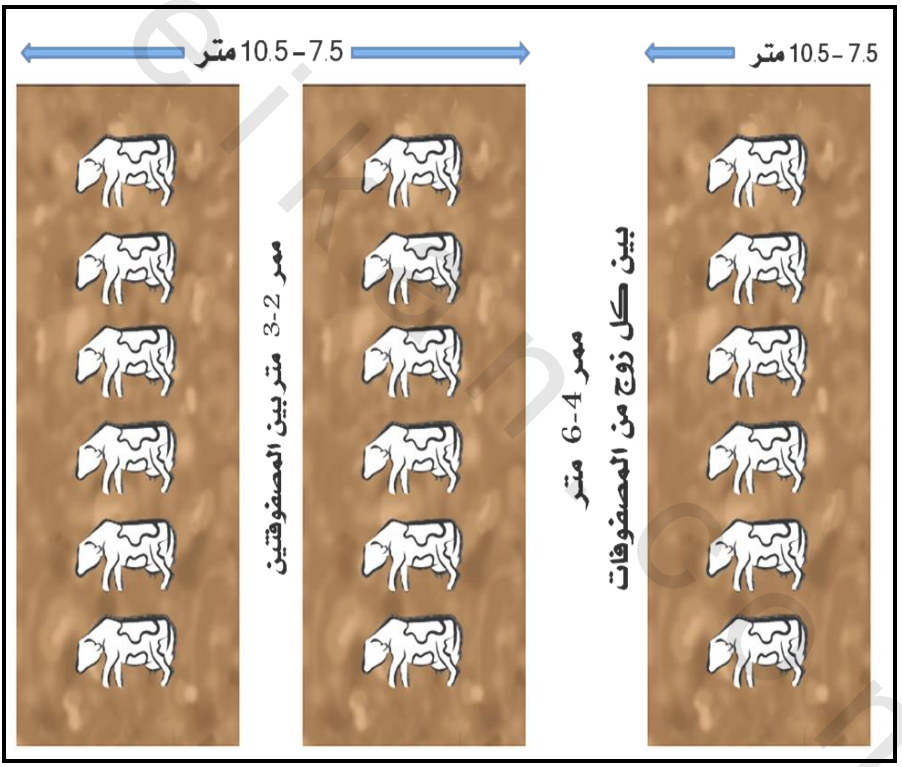
عند التعامل مع الحيوانات والماشية النافقة وتحويلها إلى كمبوست أو أسمدة عضوية، فإنه يجب استخدام مواد أولية نباتية مع هذه الحيوانات، ويجب أن تكون هذه المواد من المخلفات عالية المحتوى في الكربون (أي أن نسبة الكربون إلى النيتروجين بها عالية)، مثل نشارة الخشب؛ نظرًا لاحتواء هذه الحيوانات على نسبة عالية من النيتروجين.

1. يتم البدء بعمل مصفوفة، أول طبقاتها يكون بارتفاع أو سمك قدره من 60- 75 سنتيمترًا من المواد الخام، وبعرض يساوي عرض الحيوان + 120 سنتيمتر. وسمك طبقة البداية في المصفوفة يجب أن يكون قادرًا على امتصاص ما يسيل من الحيوان أو الحيوانات المعالجة من سوائل, بحيث لا تصل إلى الأرض أو تنفذ إلى داخل التربة.
2. يتم وضع الحيوان بعيدًا عن بداية أول المصفوفة بـ 60 سنتيمترًا، وفي منتصف عرض المصفوفة تاركًا حوالي 60 سنتيمترًا على جانبيه.
3. يتم استكمال بناء المصفوفة بتغطية الحيوان بالمخلفات العضوية، بحيث لا يقل سمك طبقة المخلفات فوق الحيوان عن 60- 75 سنتيمترًا (شكل 4-20).



شكل (4-20): خطوات بناء مصفوفة أو كومة معالجة الحيوانات النافقة في صناعة الأسمدة العضوية أو الكمبوست

4. في حالة ما إذا كان هناك عدد كبير من الحيوانات النافقة، فإنه يمكن بناء عدد من المصفوفات، وبكل مصفوفة عدد من الحيوانات، والمسافة بين كل حيوان وآخر لا تقل عن 50 سنتيمترًا.
5. يراعى أن تكون المسافة بين المصفوفات في حدود من 2-3 أمتار للمرور والمتابعة، والمسافة بين أزواج المصفوفات في حدود من 4-6 أمتار؛ بما يكفي لحركة المعدات وتنفيذ الأعمال (شكل 4-21).



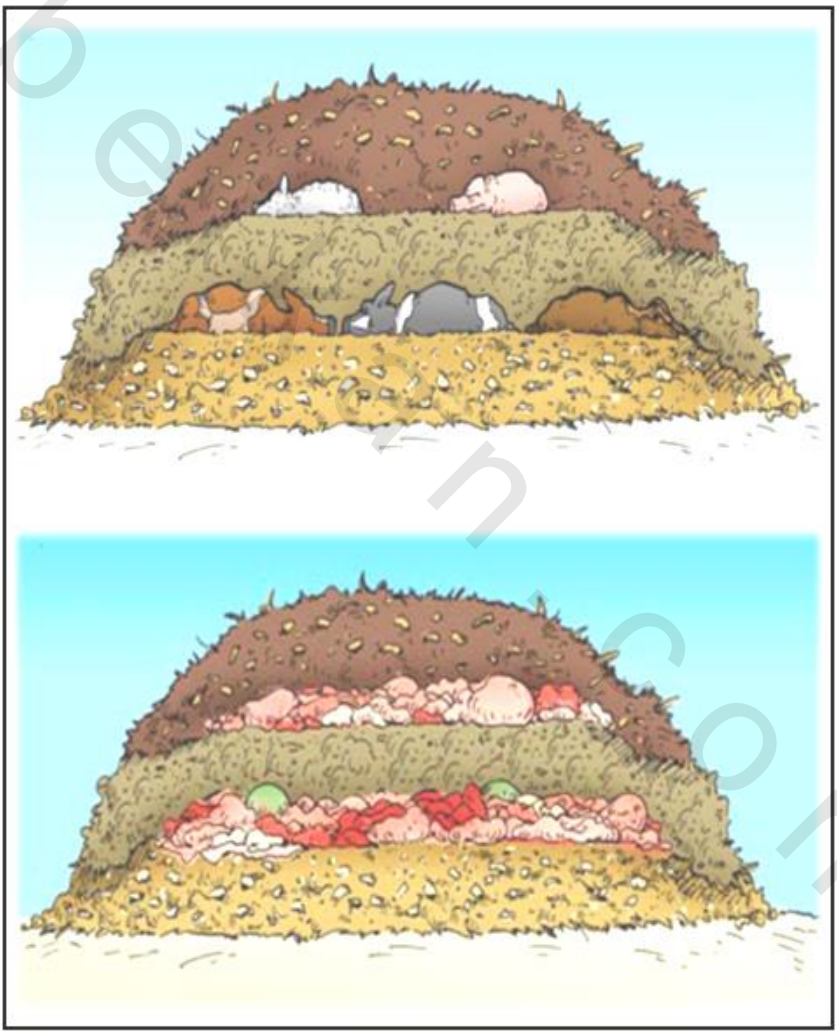
شكل (4-21): وضع مصفوفات معالجة الحيوانات النافقة وما بينها من فراغات في مصانع الأسمدة العضوية

وتعتبر عملية تدوير الحيوانات الكبيرة النافقة من العمليات البيئية المهمة؛ حيث إن عدم القيام بهذه المعالجة ينتج عنه الكثير من الأخطار، منها انتشار

الـروائح الكريهـة والنفـاذة، وتجمـع للكـلاب الضـالة عليهـا، و الـتي تبعثـر محتوياتها، وتوزع الأمراض التي تحتويها في حيز المكان الموجودة به، في حين أن المعالجة لهذه الحيوانات نحصل منها على الأسمدة العضوية الغنية بالنيتروجين، ولا يتبقى منها إلَّا العظام مخليةً بطريقة طبيعية (شكل 4-22).

شكل (4-22): يوضح بداية العمل في بناء مصفوفة في وجود حيوان نافق حتى الحصول على السماد العضوي في صورة كمبوست

وعند وجود عدد كبير من الحيوانات النافقة، أو كم كبير من مخلفات المجازر، في وجود مساحة محدودة في مصانع صناعة الأسمدة العضوية، فإنه في هذه الحالة يمكن بناء المصفوفات أو الكومات في طبقات، بنفس المواصفات السابقة (شكل 4- 23).



شكل (4-23): شكل تخطيطي يوضح كيفية بناء المصفوفات أو الكومات في طبقات محتوية على الحيوانات النافقة، أو مخلفات المجازر

في النهاية يتم الحصول على سماد عضوي ناضج، وصل إلى درجة عالية من الثبات، أنضجته درجات الحرارة الناشئة عن عمليات الكمر الهوائي، والتي كانت - إلى جانب ذلك - كفيلة بالتخلص من بذور الحشائش ومن الكائنات الحية المرضة - لكل من الإنسان والنبات والحيوان - من بكتريا وفطريات وبروتوزوا وفيروسات، وليصبح هذا السماد العضوي الناتج من العمليات السابقة متميزًا، ومتصفًا بمواصفات جيدة وقياسية، منها:

1. أنه خالٍ من بذور الحشائش والمسببات المرضية والنيماتودا.
2. قوامه إسفنجي، لونه يميل إلى أن يكون بنيًّا غامقًا، رائحته مقبولة برائحة التربة المرشوشة بالماء، غير جاذبٍ للذباب والحشرات.
3. لا يزيد وزن المتر المكعب منه عن 650 كيلو جرام، بنسبة رطوبة لا تزيد عن 30٪.
4. درجة الحموضة pH به في مستخلص 5:1 أقل من 8، والتوصيل الكهربي (EC) له في حدود 3-4 ديسيسيمنز/ المتر المكعب ($dS\ m^{-3}$).
5. لا يقل محتواه من النيتروجين الكلي عن 1٪، والبوتاسيوم الكلي أيضًا عن 0.8٪، والفوسفور الكلي عن 0.4٪.
6. متزن وثابت حراريًّا، ولا تزيد درجة حرارته عن خمس درجات مئوية أعلى من درجة حرارة الجو المحيط به في موقع الإنتاج.

ما يجب ملاحظته وعمله أثناء مراحل إنتاج الأسمدة العضوية:

أثناء عملية تصنيع وإنتاج الأسمدة العضوية المكمورة هوائيًّا (الكمبوست) تحدث تغيرات، وتُرصد ملحوظات تتوجب التدخل

لتصحيح مسار العمليات. ويمكن إجمال هذه التغيرات والملحوظات التي تحدث أثناء عمليات التصنيع، والحلول الواجب اتخاذها لتصحيح مسار العمليات في الجدول التالي، جدول (4- 4).

جدول (4-4): أهم التغيرات والملحوظات التي تحدث أثناء عمليات التصنيع والحلول الواجب اتخاذها

العامل المؤثر Parameter effect	الملحوظة Observation	السبب المحتمل Possible cause	العمليات المطلوبة Management
الحرارة Temperature	برودة المصفوفة والفشل في ارتفاع درجة الحرارة. Failing to rise	مواد المصفوفة جافة جدًّا.	- اختبر نسبة الرطوبة ثم الترطيب.
		مواد المصفوفة رطبة جدًّا.	- الخلط مع مواد جافة جديدة. - فرد المصفوفة للوصول للرطوبة المطلوبة.
		عدم كفاية النيتروجين	- إضافة مواد خضراء أو مواد غنية فى النيتروجين.
		حرارة الجو منخفضة جدًّا.	- يتم زيادة حجم المصفوفات. - أو تغطية المصفوفة بكمبوست ناضج. - أو التوقف لحين تحسن درجة الحرارة.
		نقص الأكسجين.	- التقليب لإدخال هواء جديد وزيادة مستوى الأكسجين.
		بناء المصفوفة غير جيد.	- إعادة بناء المصفوفات وإضافة مواد جديدة.

تابع جدول (4–4): أهم التغيرات والملحوظات التي تحدث أثناء عمليات التصنيع والحلول الواجب اتخاذها

العامل المؤثر Parameter effect	الملحوظة Observation	السبب المحتمل Possible cause	العمليات المطلوبة Management
الحرارة Temperature	برودة المصفوفة والفشل في ارتفاع درجة الحرارة. Failing to rise	جزيئات المواد الخام كبيرة.	- تقليل حجم جزيئات المواد الخام التي تبنى منها المصفوفات.
		الطقس بارد وحجم المصفوفة صغير.	- تكبير حجم المصفوفات بضم عدد من المصفوفات لبعضها.
		انخفاض رقم الحموضة، ويحدث هذا في المناطق الباردة غالبًا.	- تجنب استخدام خامات حامضية. - إضافة الجير أو رماد الأخشاب.
	تجاوز درجة الحرارة الـ 65 درجة مئوية Temperature exceeding 65 °C	زيادة النشاط في المصفوفة.	- التهوية من خلال التقليب. - الترطيب في حالة جفاف مواد المصفوفة. - تقليل حجم المصفوفات. - إضافة مواد جديدة؛ لتعديل نسبة الكربون إلى النيتروجين.
الرائحة Odor	رائحة الأمونيا Ammonia odor	نسبة الكربون إلى النيتروجين منخفضة إلى أقل من 1: 20	- إضافة مواد نسبة الكربون بها مرتفعة.
		تيسر بطيء لمصادر الكربون.	- استخدام مصادر كربون أو مواد خام أخرى. - تقليل حجم جزيئات المواد الخام المستخدمة.

تابع جدول (4-4): أهم التغيرات والملحوظات التي تحدث أثناء عمليات التصنيع والحلول الواجب اتخاذها

العامل المؤثر Parameter effect	الملحوظة Observation	السبب المحتمل Possible cause	العمليات المطلوبة Management
الرائحة Odor	رائحة الأمونيا Ammonia odor	ارتفاع رقم الحموضة.	- تجنب استخدام مواد قاعدية مثل رماد الأخشاب. - استخدام مواد تأثيرها حامضي مثل الأوراق الخضراء.
		انخفاض الرطوبة.	- يتم ترطيب المصفوفات.
	رائحة كبريتيد الأيدروجين (رائحة البيض الفاسد) Hydrogen sulfide odor (Rotten egg)	المواد الخام رطبة جدًّا، والحرارة منخفضة جدًّا.	- تضاف مواد خام جافة إلى المصفوفات والتقليب.
		المصفوفات مضغوطة.	- يتم التقليب. - إضافة مواد جديدة تحسن من مكونات المصفوفات.
		عدم كفاية التهوية.	- يتم تقليب المصفوفات. - زيادة معدل ضخ الهواء في المصفوفات.
	رائحة كبريتيد الأيدروجين (رائحة البيض الفاسد) Hydrogen sulfide odor (Rotten egg) مع ارتفاع درجة الحرارة	توفر ظروف لا هوائية وحرارة مرتفعة.	- تقليب المصفوفات. - تقليل حجم المصفوفات بإعادة الخلط والتقسيم للمصفوفات.

تابع جدول (4–4): أهم التغيرات والملحوظات التي تحدث أثناء عمليات التصنيع والحلول الواجب اتخاذها

العامل المؤثر Parameter effect	الملحوظة Observation	السبب المحتمل Possible cause	العمليات المطلوبة Management
الرائحة Odor	ظهور الرائحة فقط بعد التقليب Odors after turning only مع ارتفاع درجة الحرارة	المواد الخام من نباتات أو مصادر ذات روائح .	- التقليب المنتظم للمصفوفات. - زيادة المسامية بالمصفوفات. - إضافة بعض المواد الماصة للروائح.
	ظهور الرائحة فقط بعد التقليب Odors after turning only مع انخفاض درجة الحرارة	عدم كفاية التهوية أو وجود ظروف لا هوائية داخل المصفوفة.	- تقليل الوقت بين مرات التقليب لتكون كل 4-5 أيام. - زيادة المسامية بالمصفوفات.
	روائح ذات الصلة بالموقع Site- related odors	وجود برك مياه بالموقع، محملة تحميلًا زائدًا بالرواسب والمغذيات.	- تطهير البرك من الرواسب؛ لمنع التكاثر الكثيف للطحالب والأعشاب، وتقليل انطلاق الغازات. - توسعة مساحة سطح البركة، واستخدام مياهها لتجديدها.
		نتيجة لضعف الصرف، تتراكم نواتج الرشح من المصفوفات مكونة حُفرًا غنية بالمغذيات .	- تحويل الجريان السطحي للراشح بعيدًا عن موقع المعالجة. - جعل الأرض مستوية دائمًا، وتجنب تكون هذه الحُفر من الرواشح المتجمعة.

تابع جدول (4-4): أهم التغيرات والملحوظات التي تحدث أثناء عمليات التصنيع والحلول الواجب اتخاذها

العامل المؤثر Parameter effect	الملحوظة Observation	السبب المحتمل Possible cause	العمليات المطلوبة Management
الرائحة Odor	روائح ذات الصلة بالموقع Site- related odors	المواد الخام من نباتات أو مصادر عضوية ذات روائح.	- لا تخزن هذه المصادر بالموقع لفترات طويلة, ويتم التعامل معها بأسرع وقت ممكن.
نقل الحشرات Vector	تواجد الذباب والبعوض Flies and mosquitoes	المواد الخام المخزنة رطبة.	- يتم التعامل معها بالتقليب والتهوية. - الاستخدام في بناء المصفوفات.
		وجود مواد غذائية أو روث حيواني على سطح المصفوفات أو كخامات مخزنة في كومات.	- تقليب المصفوفات كل 4-7 أيام. - تغطية الكومات بطبقة من الكمبوست سمكها من 10-20 سم.
		تكاثر البعوض على المياه الراكدة بالموقع.	- تسوية سطح المساحات الفضاء بالموقع؛ لمنع تواجد حفر تتجمع بها المياه الراكدة. - جعل برك المياه في حالة وجودها في ظروف هوائية.
		عدم تقليب المصفوفات لأكثر من أربعة أيام.	التقليب بانتظام كل أربعة أيام؛ للقضاء علي بيض الذباب، ومنعه من الفقس والتكاثر