

**هندسة معالجة المخلفات الزراعية**  
**Agricultural waste**  
**treatment engineering**

[2018]

# هندسة معالجة المخلفات الزراعية

(455 هزر)

إعداد

د. محمد أبوالمحمّد رشوان

د. / فهد ناصر الكعيك

صفحة	الموضوع
أ	مقدمة المؤلف
1	<b>الفصل الأول: أنواع ومصادر المخلفات الصلبة</b>
1	1-1-1- مقدمة.....
1	2-1- أنواع ومصادر المخلفات الصلبة.....
1	1-2-1- المخلفات (النفايات) المنزلية.....
2	1-1-2-1- تصنيف النفايات المنزلية على حسب مكوناتها.....
3	2-1-2-1- تصنيف النفايات المنزلية على حسب حالتها الفيزيائية.....
3	3-1-2-1- آثار النفايات المنزلية السلبية على البيئة و الصحة و الاقتصاد.....
5	2-2-1- المخلفات (النفايات) الصناعية.....
6	1-2-2-1- أسباب انتشار النفايات الصناعية.....
6	2-2-2-1- أنواع النفايات الصناعية طبقا لخطورتها.....
6	1-2-2-2-1- النفايات غير الخطرة أو الحميدة.....
7	2-2-2-2-1- نفايات خطرة أو سامة.....
7	1-2-2-2-2-1- النفايات الصناعية السائلة.....
8	2-2-2-2-2-1- النفايات الصناعية الصلبة.....
8	3-2-2-2-2-1- النفايات الصناعية الغازية.....
9	4-2-2-2-2-1- النفايات المشعة.....
9	3-2-2-2-1- محتويات النفايات الصناعية وآثارها.....
10	1-3-2-2-1- مركبات الهيدروجين والهيدروكربونية.....
10	2-3-2-2-1- مركبات الهيدروجين والهيدروكربونية العطرية.....
10	3-3-2-2-1- المعادن الثقيلة.....
10	4-3-2-2-1- مركبات الديوكسين.....
11	4-2-2-1- آثار النفايات الصناعية على الإنسان والبيئة.....
12	3-2-1- المخلفات التجارية.....
12	4-2-1- المخلفات البلدية.....
12	5-2-1- المخلفات الزراعية.....
13	1-5-2-1- المخلفات النباتية.....
14	2-5-2-1- المخلفات الصلبة الناتجة عن قطاع الإنتاج الحيواني.....
15	6-2-1- مخلفات الحدائق.....
16	7-2-1- الحمأة الصناعية.....
16	أسئلة وتمارين.....
18	<b>الفصل الثاني: الإدارة البيئية</b>
	1-2- نظم التخلص من المخلفات (طرق التعامل مع المخلفات).....
	1-1-2- طريقة المنع.....
	2-1-2- طريقة التقليل.....
	3-1-2- طريقة إعادة الإستخدام.....
	4-1-2- طريقة التدوير.....
	5-1-2- طريقة الاسترجاع الحرارى.....
	6-1-2- طريقة الدفن (المدافن).....
	7-1-2- طريقة الحرق.....
	8-1-2- طريقة المعاملات الحيوية.....
	2-2- طرق الاستفادة من المخلفات الزراعية (العضوية).....
	1-2-2- إنتاج الأعلاف الحيوانية.....

.....	1-1-2-2 استخدام المغذيات السائلة
.....	2-1-2-2 قوالب المولاس الصلبة
.....	3-1-2-2 فرم الأعلاف الخشنة (المعاملة الميكانيكية)
.....	4-1-2-2 معاملة المخلفات بمحلول اليوريا
.....	5-1-2-2 معاملة المخلفات بغاز الأمونيا
.....	6-1-2-2 إنتاج السيلاج
.....	2-2-2 إنتاج السماد العضوي
.....	3-2-2 إنتاج الغاز الحيوي
.....	1-3-2-2 سماد البيوجاز
.....	أسئلة وتمارين

### الفصل الثالث: التحلل البيولوجي

.....	1-3 التحلل البيولوجي الهوائي
.....	2-3 التحلل البيولوجي اللاهوائي
.....	1-2-3 الميكروبات النافعة
.....	2-2-3 أهداف عملية التحلل الهوائي للمادة العضوية
.....	3-2-3 مواصفات المنتج النهائي (السماد العضوي)
.....	4-2-3 جودة المنتج النهائي (السماد العضوي)
.....	5-2-3 فوائد إضافة السماد العضوي للتربة
.....	3-3 قابلية المادة العضوية للتحلل
.....	4-3 قياس الجزء المتاح للتحلل البيولوجي
.....	1-4-3 طريقة مكونات المادة العضوية
.....	2-4-3 طريقة اتران الكتلة
.....	1-2-4-3 طريقة الفقد الكلي في كتلة السماد العضوي
.....	2-2-4-3 طريقة المحافظة على الرماد
.....	أسئلة وتمارين

### الفصل الرابع: مؤشرات التحلل البيولوجي للمخلفات الزراعية

.....	1-4 المؤشرات الكيميائية
.....	1-1-4 نسبة الكربون إلى النيتروجين
.....	2-1-4 نسبة الكربون إلى الفسفور
.....	3-1-4 نسبة النيتروجين بصورة أمونيا إلى النيتروجين بصورة نترات
.....	4-1-4 نسبة الكادميوم إلى الزنك
.....	2-4 مؤشر صلاحية السماد العضوي للاستخدام الزراعي
.....	3-4 مؤشر نضوج السماد العضوي
.....	4-4 مؤشرات الاستقرار للسماد العضوي
.....	5-4 تقييم النضوج
.....	6-4 المؤشرات التشغيلية
.....	1-6-4 المادة الصلبة المتطايرة
.....	2-6-4 درجة الحرارة
.....	3-6-4 التهوية
.....	4-6-4 المحتوى الرطوبي
.....	5-6-4 حموضة الوسط
.....	6-6-4 العناصر الغذائية

4-6-7 نسبة الكربون إلى النيتروجين

4-6-8 الوقت

4-6-9 اللقاح

4-6-10 المسامية والفراغات الهوائية

4-7 تصميم المخلوط الأولي لإنتاج السماد العضوي

4-8 محتوى المادة العضوية من الكربون

4-9 تحديد فقد في المادة الصلبة المتطايرة Vs والمحتوى الرطوبي

أسئلة وتمارين

### الفصل الخامس: تقدير متطلبات التهوية

5-1 متطلبات التهوية لتلبية احتياجات الهضم (التحلل)

5-1-1 متطلبات الأكسجين للتخلص من الكربون

5-1-2 متطلبات التهوية للتحكم بالمحتوى الرطوبي

5-1-3 متطلبات التهوية للتحكم بدرجة الحرارة

5-2 معدل التهوية

أسئلة وتمارين

### الفصل السادس: حركية التثبيط الحراري للميكروبات

6-1 مقدمة

6-2 التشريعات الدولية

6-3 علاقة الوقت - درجة الحرارة

6-4 نماذج حركية التثبيط الحراري

نموذج التحطيم من الدرجة الأولى

6-4-2 علاقة معامل التثبيط الحراري ( $K_d$ ) بدرجة الحرارة

أسئلة وتمارين

### الفصل السابع: نظام إنتاج السماد العضوي العام

7-1 أنظمة إنتاج السماد العضوي: طريقة أندور

7-2 الفرق بين المحسنات والمادة المألثة

7-3 مراحل الإنتاج

7-4 تصنيف أنظمة إنتاج السماد العضوي

7-4-1 أنظمة الإنتاج بغير الحاويات

7-4-2 أنظمة إنتاج السماد العضوي بصفوف هوائية مع التقليل (التحريك)

7-4-3 أنظمة إنتاج السماد العضوي بصفوف هوائية ساكنة

7-4-4 أنظمة إنتاج السماد العضوي باستخدام المفاعلات أو الحاويات

7-4-5 نظم الإنتاج العالمية

7-5 تصميم وحدة إنتاج السماد العضوي

أسئلة وتمارين

### الملحقات

#### الملحق 1: التمارين العملية

العملي الأول: المحتوى الرطوبي

العملي الثاني: المادة الصلبة المتطايرة و الرماد

العملي الثالث: قياس درجة الحموضة (pH)

العملي الرابع: تقدير مسامية التربة  
العملي الخامس: اختبار ديوار (التسخين الذاتي)  
العملي السادس: اختبار سولفيتا- Solvita test  
العملي السابع: تقدير الكثافة الظاهرية والحقيقية  
العملي الثامن: تقدير القيمة الحرارية للوقود  
العملي التاسع: مسائل على الفصل الثالث  
العملي العاشر: مسائل على الفصل الرابع  
العملي الحادي عشر: مسائل على الفصل الخامس  
العملي الثاني عشر: مسائل على الفصل السادس  
العملي الثالث عشر: مسائل على الفصل السابع

## الملحق 2: جداول خصائص المخلفات الزراعية المختلفة

- جدول 1: تعريف مصطلحات وصف المخلفات الزراعية (الخواص الطبيعية) .....
- جدول 2: تعريف مصطلحات وصف المخلفات الزراعية (الخواص الكيميائية) .....
- جدول 3: تحويل العناصر الغذائية الى العناصر المكافئة .....
- جدول 4: كثافة بعض مواد الفرشة .....
- جدول 5: مخلفات الأبقار والعجول – الروث الطازج .....
- جدول 6: خصائص مخلفات الدواجن – الروث الطازج – الدواجن البيضاء (وحدة / يوم/ طائر) .....
- جدول 7: خصائص مخلفات الدواجن – الروث الطازج – الدواجن البيضاء (وحدة / يوم/ 1000 رطل من وزن الطائر) .....
- جدول 8: خصائص مخلفات الدواجن – الروث الطازج – الدواجن اللاحمة (وحدة / طائر ناضج) .....
- جدول 9: خصائص مخلفات الدواجن – الروث الطازج – الدواجن اللاحمة (وحدة/ يوم / 1000 رطل من وزن الطائر) .....
- جدول 10: خصائص مخلفات الأغنام – الروث الطازج .....
- جدول 11: خصائص مخلفات روث الخيل – الروث الطازج .....
- جدول 12: خصائص روث الأرانب – الروث الطازج .....
- جدول 13: خصائص روث الأبقار المنتجة للحليب – الروث الطازج (الوحدة /يوم-حيوان) .....
- جدول 14: مخلفات تصنيع منتجات الألبان .....
- جدول 15: خواص مخلفات منتجات الألبان – عمليات مياة الصرف الصحي .....
- جدول 16: توصيف تجهيز مخلفات اللحوم – مياة الصرف الصحي .....
- جدول 17: توصيف تجهيز مخلفات اللحوم – حمأة الصرف الصحي .....
- جدول 18: توصيف تجهيز مخلفات الخضر – مياة الصرف الصحي .....
- جدول 19: خواص مخلفات الخضر والفاكهة – مخلفات صلبة .....
- جدول 20: المدى النموذجي للتركيز المغذي لعصاره السيلاج .....
- جدول 21: انتاج العصاره على أساس نسبة المادة الجافة للسيلاج .....
- جدول 22: خصائص الروث المنقول للاستعمال .....
- جدول 23: تابع خصائص الروث المنقول للاستعمال .....

# الفصل الأول

## Types & Sources of solid wastes

## أنواع ومصادر المخلفات الصلبة

### مقدمة:

تعرف المخلفات أو النفايات بأنها المواد الصلبة أو السائلة أو الغازية الغير مرغوب فيها والتي تنتج عن النشاطات الانسانية المختلفة. ويدخل ضمن المخلفات كل من مخلفات المنازل والمصانع والسيارات والحاويات المكنة والأجهزة القديمة وغيرها. وتتولد المخلفات وبكميات كبيرة من مصادرها المختلفة مع جميع الأنشطة اليومية التي يقوم بها الانسان. ويؤدي اهمال مشكلة المخلفات مع مرور الزمن الى تفاقمها، ويرجع ذلك الى التأثير الضار الذي تسببه هذه المخلفات على كل من التربة والمياة الجوفية والغلاف الجوى.

### 1-1- أنواع ومصادر المخلفات الصلبة Types & Sources of solid wastes

تعتبر جميع المواد العضوية ذات الأصل النباتي أو الحيواني مواد أولية يمكن الاستفادة منها في إنتاج السماد العضوي، ويتضمن ذلك المخلفات البلدية (حمأة، بقايا عضوية،... الخ)، وزراعية (أبقار، أغنام، دواجن، بقايا نباتية... الخ) وأخرى كما هو موضح في جدول (1-1):

## 1-1-1- المخلفات (النفايات) المنزلية Residential waste

هي عبارة عن مخلفات نشاط الإنسان في حياته اليومية وتكون دون فائدة أو لم يعد لها حاجة أو استخدام و تتزايد نسبتها في البلدان النامية خاصة في ظل التضخم السكاني وقد تؤدي هذه النفايات في غياب الوعي الصحي إلى أضرار جسيمة على البيئة المحيطة وبالتالي على صحة الانسان. ويرجع سبب تراكمها إلي عدة عوامل أهمها:

- نمو عدد السكان حيث هناك تناسب طردي فكلما زاد عدد الافراد زادت كمية المخلفات الناتجة عن كل فرد منهم.

- تطور المستوى المعيشي حيث تغيير نمط الاستهلاك مثل العادات غير السليمة كطبخ كميات كبيرة من الأطعمة أو شرائها وقد لا يستهلكها الفرد وتأخذ طريقها إلى النفايات وشراء الأكواب والملاعق والصحون البلاستيكية والورقية غير المرتجعة والتي لا يمكن استعمالها مرة ثانية.

- التطور الاقتصادي وزيادة عدد المصانع مما أدى الى توفير معلبات الأكل الجاهز والأكواب والملاعق والصحون البلاستيكية والورقية التي تستعمل مرة واحدة مما أدى الى تراكم النفايات المنزلية.

### جدول (1-1): أنواع ومصادر المخلفات الصلبة

المصدر	الأنواع المحتملة
منزلية	بقايا أطعمة – أوراق – كرتون – بلاستيك – أقمشة – جلد- زجاج – بقايا أشجار – حديد – رماد ... الخ
صناعية	مخلفات مصانع أغذية – مواد تعبئة وتغليف – مناجر – مخلفات مباني – هدم .... الخ
تجارية	مخلفات فنادق – مطاعم – مدارس – معاهد – جامعات.
بلدية	نظافة شوارع – تقليم أشجار – قص نجيل – مخلفات المناطق السياحية
زراعية	مخلفات ناتجة من أصل حيواني (فرشة طيور – ماشية – أبقار – حيوانات نافقة – مخلفات فقاسات).
	مخلفات خضراء من أصل نباتي (محاصيل زراعية كالحبوب – مخلفات بيوت محمية)
	مخلفات خطرة (بقايا حيوان – حاويات المواد الكيميائية – البلاستيك)

### 1-1-1-1- تصنيف النفايات المنزلية على حسب مكوناتها الى:

- **نفايات عضوية:** وهي نفايات قابلة للتخمر مثل بقايا الطعام و مخلفات الحدائق.
- **نفايات غير عضوية:** وهي نفايات لا تحتوى على مركبات عضوية مثل المواد البلاستيكية، والمعادن، و الأقمشة.

### 1-1-1-2- تصنيف النفايات المنزلية على حسب حالتها الفيزيائية الى:

- **نفايات صلبة:** وهي كل مادة غير صالحة للاستعمال أو غير مرغوب فيها ناتجة عن الاستعمالات المختلفة ، ويمكن معالجتها لإعادة استخدامها، لنفس الغرض أو لأغراض أخرى، وهي ناتجة من استعمالات المواد التالية:
  - الورق : ورق الصحف والمجلات وورق المكاتب والمدارس، الكرتون وغيرها.
  - الزجاج : القوارير، كسر الزجاج والأدوات المطبخية من علب تخزين زجاجية وغيرها .
  - الالمنيوم : علب المشروبات الغازية.
  - البلاستيك : قناني الماء، الأكياس البلاستيكية.
  - معادن أخرى: المعلبات، هياكل السيارات والبطاريات.
  - مواد أخرى: إطارات السيارات المستعملة، مخلفات مواد البناء، الأثاث، والملابس المستعملة.

- **نفايات سائلة:** وهى عبارة عن خليط من السوائل أو المياه الحاملة للأوساخ كالمياه الناتجة عن المنظفات وتشمل مياه المطابخ، مياه الغسيل، مياه الحمامات ومياه المراحيض.

### 1-1-1-3- آثار النفايات المنزلية السلبية على البيئة و الصحة و الاقتصاد:

#### ❖ آثار النفايات المنزلية السلبية على البيئة:

تعتبر أماكن دفن النفايات لها دور كبير في اضرار البيئة وتلويثها لذلك تحدد هذه الأماكن بناء على قوانين الدولة والاشتراطات البيئية المتبعة من حيث بعد المساكن والمصانع بمسافات محددة كذلك فإن تسرب مياه النفايات والتي تسمى بـ “الليكسيفيا” وتعني (عصير النفايات) بفعل الجاذبية الأرضية تسبب اثارا سلبية على المناطق المحيطة بها وعلى المياه

الجوفية فى هذه المنطقة ويوضح جدول (2-1) بعض آثار إحتراق النفايات المنزلية على البيئة.

جدول (2-1): آثار إحتراق بعض العناصر الكيميائية على البيئة

العناصر الكيميائية	الغازات الناتجة عن الإحتراق	الآثار السلبية على البيئة
الكربون	أول أكسيد الكربون (CO)	إحتباس حرارى
	ثانى أكسيد الكربون (CO <sub>2</sub> )	
النيتروجين	أول أكسيد النيتروجين (NO)	إحتباس حرارى – أمطار حمضية –
	ثانى أكسيد النيتروجين (NO <sub>2</sub> )	تدمير طبقة الأوزون
الكبريت	ثانى أكسيد الكبريت (SO <sub>2</sub> )	إحتباس حرارى
الكلور	حمض الهيدروكلوريك (HCl)	إحتباس حرارى
	الديوكسين	تراكم على مستوى السلاسل الغذائية
الفلور	حمض الفلوروكلوريك	إحتباس حرارى

#### ❖ آثار النفايات المنزلية السلبية على الصحة:

تخرج المنازل الكثير من انواع النفايات والتي لها كثير من الآثار السلبية الصحية اهمها:

- الغازات المنبعثة من النفايات المحروقة تؤثر في الجهاز التنفسي للإنسان و الحيوان فتسبب إصابة الانسان بعدة امراض مثل الربو وقلّة وصول الاكسجين الى الدماغ.
- توجد بها بعض المواد السامة جداً تسبب اضطرابات في الجهاز المناعي والعصبي والهرموني مثل الديوكسين وقد تسبب الإصابة بالسرطان.
- تتسرب النفايات من خلال التربة بفعل الجاذبية الأرضية الى جوف الارض وتختلط بالمياة الجوفية وتلوث الماء ويؤدي ذلك الى تسممات غذائية وانتشار الامراض.

#### ❖ آثار النفايات المنزلية السلبية على الاقتصاد:

- على الرغم من احتواء النفايات المنزلية على عدة مواد أولية يمكن إعادة استعمالها و تصنيعها، إلا أن تدبير هذه النفايات و معالجتها يتطلب اعتمادات مالية كبيرة.
- تكلفة إنشاء و تجهيز المدافن الصحية لإستيعاب هذه النفايات تعتبر مكلفة، مما يقتضي حسن تدبير النفايات بهدف التخفيض من كلفتها.

- يؤدي حرق النفايات المنزلية الى عدة أضرار بالبيئة و الصحة و الاقتصاد، حيث تنبعث منها غازات سامة وخطيرة، فضلا عن تسرب المياه الخارجة من النفايات(عصير النفايات) الى التربة ومن ثم الى الماء الأرضي، مما يلحق أضرارا جسيمة بالتربة.

### أهم المشاكل الناجمة عن النفايات المنزلية:

- الإصابة بالجروح؛ بسبب وجود الأدوات الحادة والزجاج المكسور.
- تلوث المياه والتربة بالجراثيم المسببة للأمراض وعدم صلاحيتها للزراعة.
- تلوث الهواء بالروائح الكريهة، والغازات السامة الناتجة عن احتراقهما ويؤدي ذلك إلى احتباس حراري، واتساع ثقب طبقة الأوزون.
- تشويه البيئة الحضارية، وتكون وسقوط الأمطار الحمضية.
- انتشار الغازات السامة مثل غاز ثاني أكسيد الكربون، وأكسيد النيتروجين، وأول أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين وغيرها.
- تسبب أمراض خطيرة للجسم، مثل التسمم الغذائي، وأمراض الجهاز التنفسي، والأمراض القلبية وأزمات الربو.
- تؤدي الى تكاثر الحشرات الضارة والقوارض، والتي تقوم بنقل العديد من الأمراض للإنسان والحيوان.

### القواعد المتبعة للتخلص من مشاكل النفايات المنزلية:

- وضع النفايات بالشكل الصحيح في داخل وعاء خاص، من مادة صلبة قوية قابلة للتنظيف، كالبلستيك أو الحديد،
- مراعاة أن يكون الوعاء خالياً من الجوانب الحادة؛ لمنع تراكم الأوساخ،
- أن لا يكون ذا ثقب؛ حتى تمنع تسرب المواد السائلة منه،
- أن يكون محكم الاغلاق؛ لمنع وصول الحشرات إلى القمامة،
- أن يكون حجم الوعاء مناسباً، ويؤدي الغرض الذي استعمل من أجله،

- فصل المخلفات في عدة أوعية خارج المنزل، وهناك شركات خاصة تقوم بإعادة تدوير المخلفات بطرق صحية لتوفير بيئة نظيفة، كالمعادن، والبلاستيكات والزجاج، وغيرها،
- التخلص من السوائل قبل رمي القمامة، لأنّ الرائحة في بعض المخلفات تنتج عن السوائل،
- علاج بعض المواد واستخدامها كسماد طبيعي للأرض، مثل مخلفات الطعام، وذلك عن طريق صناعة الكومبوست (الذي يعمل على ضغط المواد العضوية، وتحللها فينتج عنها مزيج يستخدم خلال بضعة أسابيع كسماد للأرض والمزروعات)،
- إعادة استخدام الأوعية والمعلبات والثياب بطريقة أو بأخرى كتجميل حديقة المنزل مثلاً.

### 2-1-1-1- المخلفات (النفايات) الصناعية: Industrial waste

هي المخلفات الناتجة عن كافة الأنشطة الصناعية الإستخراجية والصناعية التحويلية مثل المصانع والمطاحن والمناجم. وتشمل الصناعات الإستخراجية أساساً استخراج النفط والغاز الطبيعي وخامات المعادن مثل الحديد والنحاس والزنك. كما تشمل الخامات غير المعدنية مثل الفوسفات والبوتاسيوم وغيره. أما الصناعات التحويلية فتشمل الصناعات الغذائية وصناعة تكرير البترول بالإضافة إلى صناعة البتروكيماويات والأسمدة الكيماوية والحديد والصلب والأسمنت وغيرها. وغالباً ما ينتج عن هذه الصناعات كميات كبيرة من نواتج حرق البترول من الأدهيدات والكيثونات وثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين وغالباً ما تتلوث التربة والمياه بهذه النواتج.

### 1-2-1-1- أسباب انتشار النفايات الصناعية: Reasons for spread the industrial

waste

- سرعة التقدم الصناعي والتي لم يواكبها بنفس الدرجة طرق التخلص منها.
- عدم تطوير وتطبيق الطرق السليمة للتخلص من النفايات الصناعية.

- نقص المسؤولية لدى أصحاب الصناعات مما يؤدي بهم إلى التخلص من النفايات بطرق غير سليمة.

- قلة وعى وادراك الإنسان وقيامه بالتخلص من المخلفات في الشوارع والطرق.

### 1-2-2-1-1 أنواع النفايات الصناعية طبقاً لخطورتها: Type of industrial wastes

وتنقسم النفايات من حيث خطورتها إلى نفايات غير خطيرة و مفيدة ونفايات خطيرة.

### 1-2-2-1-1 النفايات غير الخطرة أو الحميدة: Non-hazardous wastes or

benign

هي مجموعة المواد التي لا يصاحب وجودها مشكلات بيئية خطيرة، ويسهل في الوقت نفسه التخلص منها بطريقة آمنة بيئياً، وهي تشمل نفايات المصانع غير الخطرة مثل الأجهزة الكهربائية وأجهزة الحاسب الآلى التالفة كما هو موضح فى شكل (1-1).



شكل (1-1): نفايات صلبة خطيرة. المصدر:

### 1-2-2-1-1 نفايات خطيرة أو سامة: Toxic waste

النفايات السامة هي النفايات التي تشتمل مكوناتها على مركبات معدنية ثقيلة أو إشعاعية - أو اسبستوس - أو مركبات فسفورية عضوية أو مركبات السيانيد العضوية - أو الفينول - أو غيرها. وتتولد معظم النفايات الخطرة من المصانع ، إضافة إلى محطات توليد الكهرباء بالطاقة النووية التي تعتبر من أكثر مصادر المخلفات النووية .

وتنقسم النفايات الصناعية الخطرة حسب حالتها إلى نفايات صناعية سائلة ونفايات صناعية صلبة ونفايات صناعية غازية. **جدول (3-1)** يوضح النفايات الصناعية ومصادرها المختلفة.

### **1-1-2-2-2-1-1- النفايات الصناعية السائلة: Liquid industrial waste**

تعتبر النفايات الصناعية السائلة المرتبطة بالماء من أهم وأخطر النفايات التي تخرج من المصانع وهي نواتج سائلة تتكون من خلال استخدام المياه في عمليات التصنيع المختلفة أو بقايا مواد مصنعة مثل الزيوت ومياه الصرف الصناعية وتلقى في المصبات المائية سواء على الأنهار أو البحار أو المحيطات. وتحتوي هذه النفايات الصناعية السائلة على نسبة عالية من المواد الكيميائية والعناصر السامة. وتتباين مكوناتها من العناصر الضارة طبقا لنوعية وطبيعة الصناعة التي نتجت عنها. ولا يوصى باستخدام هذه المياه إلا في حدود ما تسمح به المعايير والمحددات التقنية والعلمية لإعادة استخدام المياه. والى عصرنا هذا لم تظهر تقنية قادرة على إنتاج مياه نقية بنسبة 100% من النفايات الصناعية بطريقة اقتصادية. وفي ظل معاناة الدول النامية ونقص المياه فإن تلوث البيئة المائية سيؤدي الى حدوث مشكلة كبيرة سوف تؤثر على مستقبل الأمن المائي والغذائي وعلى إقتصاد هذه الدول على المدى البعيد.



**شكل (2-1):** نفايات بترولية سائلة. المصدر:

### **1-1-2-2-2-2-1- النفايات الصناعية الصلبة: Industrial solid waste**

هي المواد التي تنتج أثناء مراحل التصنيع وفق حلقة تهدف إلى تحويل المواد الأولية إلى مواد جاهزة وكلما زادت مراحل التحويل اتسعت الحلقة وزادت كمية النفايات. وتختلف

كمية تركيز هذه النفايات حسب نوعية الصناعة المعنية وحجم المصنع وقدرته الانتاجية. كذلك تعتبر المواد القابلة للنقل والتي يرغب مالكيها بالتخلص منها أهم النفايات الصلبة.



**شكل (3-1):** نفايات صناعية صلبة. المصدر:

### 3-2-2-2-1-1-1-1 Industrial waste gas: النفايات الصناعية الغازية:

هي الغازات أو الأبخرة الناتجة عن حلقات التصنيع والتي تنفث في الهواء الجوى من خلال المداخل الخاصة بالمصانع ومن بين تلك الغازات أول أكسيد الكربون CO، و ثاني أكسيد الكبريت SO<sub>2</sub> والأكاسيد النيتروجينية، والجسيمات الصلبة العالقة في الهواء كالأتربة وبعض ذرات المعادن المختلفة. ولا تشكل هذه الغازات مشاكل واضحة للبيئة نظرا لسهولة خلطها بالهواء الجوى. وللأسف فإن معظم التقنيات المستخدمة في تلك المصانع قديمة ويصعب تحديثها وغالبا لا تتوافر الموارد المالية لتركيب مرشحات لتقليل التلوث.



**شكل (4-1):** نفايات غازية سامة. المصدر:

### 4-2-2-2-1-1-1-1 Radioactive waste المشعة:

هي المواد التي تحتوي على بعض النظائر المشعة الناتجة والتي يمكن أن تكون موجودة في البيئة الطبيعية ويمكن أن تكون من صنع الإنسان كما هو الحال عند استخدام

الطاقة النووية. ولهذه المواد طائفة واسعة من التطبيقات المفيدة، تتراوح بين توليد القوى واستخدامها في مجالات الطب والصناعة والزراعة. وتنتج عن هذه الأنشطة نفايات مشعة قد تكون سائلة أوصلبة. وتعتبر النفايات مشعة لأنها تتكون من غازات مختلفة الذرات وبحالة غير مستقرة وتُطلق تلقائياً اشعاعات مؤينة أثناء عملية تحولها لتصبح مستقرة. وتنشأ النفايات المشعة من توليد الكهرباء في محطات القوى النووية، وكذلك من عمليات دورة الوقود النووي، مثل تصنيع الوقود وغير ذلك من الأنشطة في دورة الوقود النووي، مثل تعدين ومعالجة خامات اليورانيوم والثوريوم.

**جدول (3-1):** يوضح النفايات الصناعية ومصادرها. المصدر:

النفايات	المصدر الصناعي
مواد صلبة وسائلة	مصانع تكرير البترول
أصباغ	مصانع النسيج والكيماويات
مواد عضوية	مصانع الغزل والنسيج ومصانع المعلبات ومدابغ الجلود
كيماويات سامة مثل المعادن الثقيلة كالزئبق والرصاص	مصانع الصلب والطلاء بالمعادن
مواد مسببة للزرقة	مصانع الصابون والأصباغ
إشعاعات	مصانع الطاقة النووية
غازات سامة مثل الميثان	مصانع الاسمنت وتكرير البترول

### 1-1-2-3- محتويات النفايات الصناعية وآثارها:

تحتوي النفايات الصناعية على العديد من المركبات الكيميائية التي تعتبر خطراً على جميع الكائنات الحية من أهم المركبات في هذه المجموعة ما يلي:

### 1-1-2-3-1- مركبات الهيدروجين والهيدروكربونية:

تتكون هذه المركبات في الماء أساسا باستعمال الكلور في تنقية الماء، ومن أمثلة هذه المركبات الكلوروفورم والبروموفورم وتكمن خطورة هذه المركبات في أنها قد تسبب الإصابة بسرطان القولون والمستقيم والمثانة.

#### **1-1-2-3-2- مركبات الهيدروجين الهيدروكربونية العطرية:**

وهي مركبات تستخدم في بعض الصناعات مثل صناعة الورق، أو تعتبر هذه المركبات من أخطر ملوثات التربة والماء، حيث تمثل ضرا على الإنسان والحيوانات والكائنات المائية. وهناك أيضا مركبات الكلوروفينول التي تستعمل في حفظ الأخشاب، كما يستخدم بعضها في صناعة الصابون ومزيلات الروائح الكريهة، تعتبر هذه المركبات من أخطر ملوثات الماء.

#### **1-1-2-3-3- المعادن الثقيلة:**

تعتبر المعادن الثقيلة مثل الزئبق والرصاص والزرنيخ والكاديوم والسيلينيوم، الباريوم، الكلور، الفضة، المركبات العضوية، البنزين الإيثيلي من أخطر المواد، من أهم مصادر هذه المواد مخلفات ونفايات المصانع وصهر المعادن واحتراق الفحم وعوادم السيارات والمبيدات التي تحتوي على عنصر الزرنيخ.

#### **1-1-2-3-4- مركبات الديوكسين:**

قد يؤدي تعرض البشر على المدى المتوسط لمستويات عالية من الديوكسينات إلى إصابتهم بآفات جلدية، مثل اسمرار الجلد واختلال وظيفة الكبد أما التعرض لتلك الديوكسينات على المدى الطويل فيؤدي إلى حدوث اختلال في الجهاز المناعي والجهاز الصماوي وعرقلة تطور الجهاز العصبي والوظائف الإنجابية.

**كما تحتوي أيضا النفايات الصناعية على مواد سامة منها:**

- الأكاسيد الحمضية الكبريتية مثل أكاسيد الكربون.
- أملاح الصوديوم، الكالسيوم، المغنيسيوم.
- إشعاعات نووية.
- بقايا بترولية.

- غازات سامة مثل غاز الميثان القابل للانفجار بصورة تشكل خطورة على المباني المقامة في مواقع الدفن.

- المواد المشعة التي تؤثر على خلايا الكائنات الحية خاصة إل DNA وقد تؤدي إلى تشوهات فورية جينية لا تظهر إلا في الأجيال القادمة.

#### 1-1-2-4- آثار النفايات الصناعية على الإنسان والبيئة:

ويظهر تأثير هذه المواد على البيئة بشكل واضح ويتمثل في:

##### - نقل الأمراض:

عندما يتخلص الإنسان من النفايات الصناعية بشكل عشوائي، يؤدي ذلك الى تشويه المظهر الحضري وانتشار الروائح الكريهة وتساعد هذه النفايات على تكاثر الحشرات والقوارض التي تنقل الأمراض.

##### - تلوث الهواء:

تستخدم الصناعات كميات كبيرة جدا من الوقود مثل الفحم وبعض الزيوت مثل : زيت البترول والغاز الطبيعي، وعند إحراق هذا الوقود ينتج عنه كميات هائلة من الغازات على هيئة دخان محمل بالرماد وبكثير من الشوائب، وتنتشر هذه الغازات في جو المدن وفي جو المناطق المحيطة بالمصانع مسببة ظواهر خطيرة من بينها الأمطار الحمضية والاحتباس الحراري أما بالنسبة للإنسان فقد تصيبه بأمراض خطيرة منها أمراض الجهاز التنفسي مثل الالتهاب الشعبي المزمن والربو الشعبي وانتفاخ الرئة، بجانب أنها تؤدي إلى ارتفاع نسبة إصابات الصدر والأنف وأمراض القلب والشرابين والحساسية، وإلى تدنى مستوى مقاومة الإنسان للأمراض الميكروبية.

##### - تلوث المياه:

تعمل الصناعة على تلويث المجارى المائية بما يلقي فيها من مخلفات، سواء من السفن أو المصانع أو المياه الساخنة (التلوث الحراري)، وتؤدي بذلك إلى القضاء على الحياة في المسطحات المائية، في بعض الحالات قد تسبب تسمم الأسماك وبالتالي حدوث تسمم للإنسان أيضا ومن أهم أعراض هذا التسمم صداع ودوار، شعور بالتعب والارهاق، تلف الكلى، اضطرابات شديدة في الجهاز الهضمي وقد تحدث الوفاة.

## - تلوث التربة:

يتم التخلص من النفايات الصناعية الغير قابلة للتدوير إما بالحرق أو الدفن ويترتب عن ذلك تلوث التربة ومن أهم مظاهره مايلي: عدم صلاحية التربة للزراعة، تلوث المياه الجوفية وبالتالي تهدد الغطاء النباتي محدثا خلا في السلسلة الغذائية وزوال الغطاء النباتي يعني ظاهرة التصحر والانجراف وكذا تدهور الإنتاج والمستوى الاقتصادي.

### 1-1-3- المخلّفات التجارية Commercial waste

وتشمل مخلفات الفنادق من أطعمة ومأكولات متبقية ومخلفات المطاعم ومخلفات المدارس و المعاهد والجامعات من بواقي الأطعمة والأوراق المستخدمة فى أعمال الامتحانات وغيرها.

### 1-1-4- المخلّفات البلدية Municipal waste

يقصد بها المخلّفات الناتجة عن هدم وانشاء المباني المختلفة وكذلك مخلفات تطهير الصرف الصحى والترع والمصارف. وهذه المخلّفات يؤدى تراكمها وزيادتها الى انتشار القوارض والحشرات والأمراض بالإضافة الى تشويه البيئة الحضرية.

### 1-1-5- المخلّفات الزراعية Agricultural waste

تشتمل المخلّفات الزراعية على المخلّفات النباتية والمخلّفات الحيوانية وتعتبر من أهم مصادر التلوث البيئى حيث يقوم العديد من المزارعون بحرق جزء كبير منها لاعتقادهم بأنها غير مفيدة مما يؤدى الى كوارث بيئية وصحية خطيرة على صحة الانسان. بعض المزارعين يستخدمون هذه المخلّفات كوقود للأفران منذ زمن بعيد مما جعلها موطنا لاعادة انتشار الأمراض التى تحملها الى الحقول. وقد تتسبب عملية حرق تلك المخلّفات فى خسائر كبيرة للدول النامية قد تصل الى 50% من المحصول أو أكثر. فى الدول العربية ينتج عن تلك المخلّفات التى يتم التخلص منها بالحرق ما يزيد عن 273 مليون طن من 16 صنف من المخلّفات الزراعية. ويمثل هذا الأسلوب فى التعامل مع المخلّفات الزراعية مصدرا هائلا للتلوث البيئى، فضلا عن اهدار لثروات لم يحسن استغلالها.

ولقد شهدت السنوات الأخيرة طفرة كبيرة في مجال الدراسات الخاصة بالاستفادة من هذه المخلفات وتحويلها الى أسمدة عضوية أو أعلاف للحيوانات. وبالتالي فإن تدوير هذه المخلفات يحقق عائداً اقتصادية كبيرة كما يساهم بدور مهم في تقليل التلوث وحماية البيئة.

### 1-5-1-1- المخلفات النباتية: Field crop residues

تعتبر هذه المخلفات مصدراً مهماً للطاقة الحيوية، وتمثل المخلفات العضوية ما بين 39 – 50% من المنج للاستخدام الآدمي أو الحيواني. يضاف إليها 25 – 30% مخلفات عضوية أخرى مما يتناوله الإنسان كغذاء أو ما يقدم علف للحيوان. ولقد شغلت إعادة تدوير تلك المخلفات اهتمام العديد من المراكز البحثية لكونها مصدراً غنياً بالطاقة التي يحتاجها الإنسان بشدة. كل ذلك في ظل نقص الموارد الرئيسية ومع زيادة الطلب نتيجة للازدياد المستمر للسكان وفي ظل محدودية الرقعة الزراعية التي لا تكفي لسد احتياجات الإنسان الغذائية. وهناك سبب آخر لا يقل أهمية وهو أن إهمال استخدام هذه المواد يؤدي إلى حدوث تلوث محقق للبيئة والتي سوف يدفع الإنسان ثمنها لها إن أجلاً أو عاجلاً.

وهناك أيضاً العديد من المشاكل المرتبطة بالمخلفات الزراعية خاصة الحقلية مثل:

- طبيعة التركيب الكيميائي لتلك المخلفات وصعوبة تحليلها نتيجة لارتفاع محتواها من المواد السيليولوزية.
  - انتشار المخلفات على مساحات شاسعة مما يتطلب الأخذ في الاعتبار عملية التجميع والنقل.
  - عدم توافر الدوافع الاقتصادية للتجميع والنقل.
  - انخفاض الكثافة النوعية للمخلفات مما يشكل مشكلة في عملية التخزين.
  - التخلص من دودة اللوز والثاقبات في الذرة ودودة سيقان الأرز التي تعتبر مصدراً للعدوى في الموسم الزراعي التالي.
- وكما ذكرنا فإن معظم تلك المخلفات يتم حرقها للتخلص منها وذلك لأن تخزين المخلفات الزراعية له مشاكل عديدة من أهمها:
- تشغل مساحة كبيرة من الأرض أثناء تخزينها.
  - بيئة صالحة لتكاثر الفئران والحشرات الضارة والثاقبات.

- بيئة صالحة لاشتعال الحرائق صيفا.
- تكلفة نقلها من الحقل لاماكن التخلص منها مرتفعة.
- تسبب تلوث بيئى ضار بالانسان والحيوان عند حرقها فى الحقول علاوة على بوار الأرض.

### 1-1-5-2- المخلّفات الصلبة الناتجة عن قطاع الإنتاج الحيواني: Animal waste

يقصد بالمخلفات الحيوانية المزرعية مخلفات كل من الأبقار والجاموس والأغنام والماعز والجمال ومزارع الدواجن والدواجن المنزلية متضمنة كل من الدجاج الرومى والبط والأوز والحمام والأرانب. ومخلفات تلك الحيوانات المزرعية من روث وزرق يستغل جزء كبير منها كسماد بلدى ويستخدم جزء آخر كمصدر للطاقة التقليدية بالحرق المباشر.

ويعتبر هذا النوع من أكبر مصادر المادة العضوية الأولية الرطبة الناتجة من القطاع الزراعي. ويوضح جدول (4-1) كمية الإنتاج لكل رأس مع متوسط المحتوى الرطوبي.

جدول (4-1): كمية البقايا العضوية الصلبة اليومية المتوقعة (المصدر Meek et al.,1975)

المحتوى الرطوبي (%)	معدل الإنتاج اليومي (كجم رطب)	المصدر
77	0.15	إنسان
82	24.5	عجول تسمين
87	46.6	أبقار حلابة
73	0.15	دواجن بيض
75	0.13	دواجن لاحم
68	0.40	رومي
68	0.34	بط
73	1.7	أغنام
60	20.1	خيول

إن البقايا الصلبة الناتجة من الحيوانات عادة رطبة وتنتج بكميات كبيرة، ومن الجدول السابق نستطيع أن نحسب أن بقرة حلوب واحدة تنتج 2200 كجم جاف/ سنة، وعجول التسمين حوالي 1600 كجم جاف/ سنة، وهذه الكمية تساوي إنتاج حمأة صرف صحي من

حوالي 75 و 50 شخص على التوالي (بافتراض أن الشخص الواحد ينتج حوالي 30 كجم جاف في السنة من حمأة الصرف).

وبناءً على ذلك فإن المخلفات الناتجة من مشروع واحد لتسمين العجول بطاقة 10.000 رأس تساوي كتلة حمأة الصرف الصحي لمجتمع به نصف مليون نسمة. ونتيجة لذلك لا يستغرب حجم الاهتمام المطلوب لإدارة مشاريع قطاع الإنتاج الحيواني والاهتمام بالبقايا الصلبة الناتجة خلف تلك الصناعة.

### 6-1-1- مخلفات الحدائق: Garden wastes

يأتي هذا النوع من البقايا في المرتبة الثانية من حيث الحجم في الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا بعد المخلفات الناتجة من النشاط الأدمي، حيث تقدر بحوالي 11% من إجمالي المخلفات في المنطقة، كما تصل إلى 20% في بعض المناطق. وتشكل قصاصات النجيلة حوالي 70% و 25% أوراق متساقطة، والباقي 5% أغصان ومواد أخرى. وتختلف هذه النسب طبعاً حسب الموسم. ولا تتوفر بيانات دقيقة لنا في المملكة عن هذا النوع من المخلفات ولكن يفترض أن تختلف هذه النسب جذرياً في المناطق الحارة، حيث يكون الجمع والمعاملات النباتية على مدار العام.

وحتى عام 1980م (1400هـ) كانت الولايات المتحدة الأمريكية تتخلص من هذا النوع من المخلفات مع المخلفات البلدية الأخرى في المدافن. ثم بدأ الضغط على البلديات لتحويل هذه المواد العضوية خارج المدافن. فقامت كثير من الولايات بوضع قوانين تحظر إضافة مخلفات الحدائق للمدافن، فكان لابد من وجود بدائل للمدافن. كانت هناك اجتهادات كثيرة في تلك الفترة من الباحثين، تركزت في النهاية على اعتبار إن إنتاج السماد العضوي هو الطريقة المثلى لإدارة هذه البقايا. ولا يمكن توقع حجم هذا النوع من المخلفات لأن ذلك يعتمد أساساً على حجم الحدائق والمساحات الخضراء ومعدل صيانتها بالإضافة إلى نسبة التجميع المستخدمة في المجتمع نفسه، لذلك فهي تختلف جذرياً من بلد إلى آخر، وقد ذكر ماير سنة 1988م أن وحدة إنتاج سماد عضوي في نيوزلاندا تنتج حوالي 1200 طن متري/ سنوياً من 45.000 مشارك، وهذا يعادل 27 كجم سنوياً لكل فرد، وهذا يعادل تقريباً كتلة حمأة الصرف الناتجة من نفس العدد من السكان. وعلى سبيل المقارنة وحدة إنتاج سماد

عضوي في أمريكا تنتج حوالي 10.000 طن متري/سنة من 34.000 مشارك. وهذا يعادل 270 كجم/ سنة لكل فرد، ويعادل ذلك عشرة أضعاف الرقم في نيوزيلاندا.

وبما أن معدل التحلل البيولوجي لهذا النوع من المخلفات (الأوراق والأخشاب) بطيء، فإنه عادة يتم تداولها وإنتاج السماد العضوي منها بأقل التكنولوجيا، فيستخدم نظام الأكوام بدون تهوية قسرية. إلا أننا اليوم نشاهد ثورة في استخدام تكنولوجيا عالية حتى في هذا النوع من المخلفات. وساق هذا التوجه نفس مبررات استخدام الأنظمة المغلقة المستخدمة لمعالجة حمأة الصرف الصحي في السبعينيات والثمانينات من القرن الماضي، وذلك لأن المخلفات من هذا النوع قد تحتوي على مواد قابلة للتعفن مثل النجيل وبقايا الخضار... الخ.

### 7-1-1- الحمأة الصناعية: Industrial muddy

الحمأة الصناعية هي البواقي الصلبة الناتجة عن الصناعات الغذائية، الدوائية،... الخ. لا تتوفر معلومات دقيقة لبيئتنا المحلية لهذا النوع من البواقي، و المثال التالي يعطى حصر لأنواع مختلفة من هذه البواقي العضوية الصناعية في الولايات المتحدة الأمريكية حسبما هو وارد في الجدول (5-1).

جدول (5-1): أنواع الحمأة الصناعية (المصدر Suler, 1997)

الصناعة	كتلة الحمأة المنتجة (طن)	نوع الحمأة المنتجة
غذاء	650.000	حمأة عضوية معظمها قابل للتحلل البيولوجي السريع
أنسجة	300.000	معظمها: قطن، صوف، ألياف مصنعة وأصباغ
أوراق	2.000.000	مواد عضوية كربونية قابلة جزئياً للتحلل
صيدلانية	200.000	مواد مختلفة: ولكن تتضمن مايسليوم الفطريات المنتجة للمضادات الحيوية
بتروولية	850.000	حمأة بتروولية

### أسئلة وتمارين

- 1- عرف المخلفات أو النفايات ثم تكلم بإيجاز عن أنواع ومصادر المخلفات الصلبة؟
- 2- أذكر أسباب زيادة تراكم المخلفات المنزلية خاصة في البلدان النامية؟
- 3- تكلم بإيجاز عن تصنيف المخلفات المنزلية الصلبة من حيث مكوناتها وحالتها الفيزيائية؟

- 4- وضح آثار النفايات المنزلية السلبية على البيئة والصحة والاقتصاد؟
- 5- وضح أهم المشاكل الناجمة عن النفايات المنزلية؟
- 6- أذكر القواعد المتبعة من الدول للتخلص من مشاكل النفايات المنزلية؟
- 7- عرف المخلفات الصناعية ثم تكلم عن أسباب انتشارها؟
- 8- وضح آثار النفايات الصناعية طبقاً لخطورتها؟
- 9- عرف كلاً مما يلي: النفايات الصناعية السائلة – الصلبة – الغازية – المشعة؟
- 10- أذكر فقط محتويات النفايات الصناعية من المركبات الكيميائية وآثار كل منها على الإنسان والكائنات الحية الأخرى؟
- 11- تكلم عن آثار النفايات الصناعية على الإنسان والبيئة المحيطة؟
- 12- اذكر ماتعرفه عن المخلفات الزراعية؟
- 13- عرف الحمأة الصناعية وأذكر أنواعها؟

# الفصل الثانى

## Environmental management

## الإدارة البيئية

### 2-1- مقدمة:

أدى ظهور العديد من المشاكل البيئية فى العديد من دول العالم فى وقت واحد مع تعدد وتشابك أسبابها ومكوناتها والتي تزامنت مع الزيادة السكانية المستمرة خاصة فى الدول النامية، بالإضافة الى تسارع جهود التنمية الشاملة فى النواحي الاقتصادية والصناعية والزراعية والعمرانية دون الأخذ بعين الاعتبار الوضع البيئى الذى تراجع بشكل كبير بازدياد رفاهية الانسان، وترتب على ذلك تزايد الوعى بأهمية الحفاظ على الموارد الطبيعية وتوجيه مزيد من الاهتمام بمشاكل التلوث الحالية التى أخذت تهدد المجتمعات والحكومات. لذا جاء مفهوم الإدارة البيئية كإستجابة عالمية لمواجهة التراجع العام للظروف البيئية وبهدف توفير ظروف حياة ملائمة بالنسبة للإنسان والطبيعة فى الوقت نفسه.

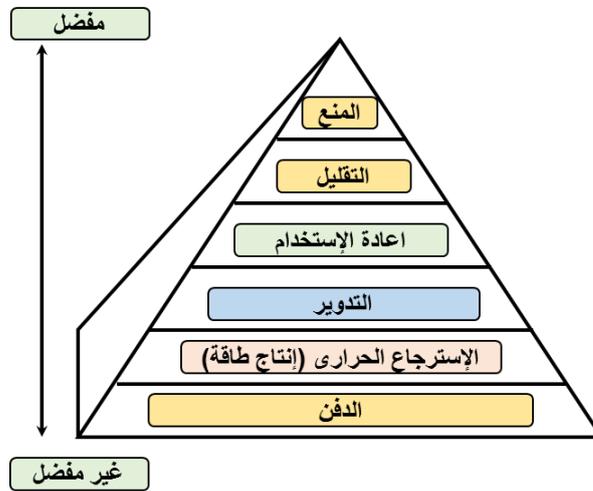
وتعددت المصطلحات التى أطلقت على مفهوم إدارة البيئة فأحيانا تسمى ادارة الموارد الطبيعية وأحيانا تسمى إدارة النظام البيئى أو إدارة التنمية المستدامة وغيرها من المسميات لكنها جميعا تشترك فى المفهوم نفسه وهو تحسين ظروف حياة الإنسان والأحياء الأخرى وادارة الموارد الطبيعية للأجيال القادمة ومعالجة مشاكل التلوث.

ومن هنا يمكن تعريف إدارة المخلفات على أنها عملية مراقبة وجمع ونقل ومعالجة وتدوير والتخلص من النفايات، التى تنتج عن النشاطات الأدمية بهدف تقليل تأثيرها السلبي على الصحة والبيئة وجمال المنطقة الطبيعي. وتستخدم هذه العملية أيضا للحصول

على الموارد وذلك باعادة التدوير ، ويمكن ان تشمل معالجة النفايات المواد الصلبة والسائلة والغازية والمواد المشعة. وتختلف طريقة معالجة المخلفات من دولة الى أخرى، وبين المناطق الحضرية والمناطق الريفية وبين المناطق السكنية والمناطق الصناعية.

## 2-2- الإدارة البيئية المثلى:

الإدارة البيئية الأفضل يجب أن تطبق ما يسمى بسياسة التدرُّج. ويمثل ذلك على الشكل الهرمي شكل (1-2)، حيث يتدرج القرار من قمة الهرم (القرار المفضل) وهو المنع إلى قاعدة الهرم (القرار غير المفضل) وهو الدفن.



شكل (1-2): الإدارة البيئية

## 2-3- نظم التخلص من المخلفات (طرق التعامل مع المخلفات):

### 1-3-2- طريقة المنع Prevention method

المقصود بالمنع هو منع ظهور المخلفات بمعنى أن المنتج يستهلك بالكامل ولا ينشأ عنه مخلفات وتعتبر هي أفضل الطرق على الإطلاق ولكنها فى نفس الوقت تكاد تكون مستحيلة.

### 2-3-2- طريقة التقليل Reduction method

المقصود بها هو تقليل المواد الخام المستخدمة ، وبالتالي تقليل المخلفات الناتجة عنها. ويتم ذلك إما باستخدام مواد خام أقل او باستخدام مواد خام تنتج مخلفات أقل. فمثلا يمكن

الحد من المواد المستخدمة فى عمليات التعبئة والتغليف مثل البلاستيك والورق والمعادن. ويستدعى ذلك وعيا بيئيا من كل من المستثمر والمنتج. فمثلا التزمت بعض مصانع انتاج الصابون السائل فى بعض الدول المتقدمة بتركيزه حتى يتم تعبئته فى عبوات أصغر، كذلك بدأت بعض الشركات فى انتاج معجون أسنان بدون العبوة الكرتون الخارجية.

### 2-3-3- طريقة إعادة الإستخدام: Reuse method

بعض المخلفات يمكن إعادة استخدامها مرة اخرى او أكثر من مرة ومثال على ذلك إعادة استخدام الزجاجات البلاستيكية للمياة المعدنية بعد غسلها جيدا وتعقيمها، أو إعادة ملء الزجاجات والبرطمانات بعد غسلها وتعقيمها. ويؤدى ذلك الأسلوب الى تقليل حجم المخلفات. ولكن يتطلب ذلك الأسلوب وعيا بيئيا لدى العامة فى كيفية التخلص من المخلفات والقيام بعملية فرز بسيطة لكل من المخلفات البلاستيكية والورقية والزجاجية والمعدنية قبل التخلص منها. فى الدول المتقدمة يتم توفير صناديق قمامة ملونة فى كل منطقة بحيث يتم القاء المخلفات الورقية فى الصناديق الخضراء والمخلفات البلاستيكية والزجاجية والمعدنية فى الصناديق الزرقاء ومخلفات الأطعمة وما يطلق عليه المخلفات الحيوية فى الصناديق السوداء. وتعتبر طريقة إعادة الاستخدام أفضل من التدوير حيث لا توجد الحاجة الى إدخال المادة فى عمليات صناعية أخرى وبالتالي لا نحتاج الى إهدار أموال أو طاقة جديدة.

### 2-3-4- طريقة التدوير: Recycling method

المقصود بالتدوير هو إعادة استخدام المخلفات لإنتاج منتجات أخرى اقل جودة من المنتج الأصلي. ومن أمثلة عمليات التدوير إعادة تدوير الزجاج والورق والبلاستيك والألومنيوم وغيرها.

### 2-3-5- طريقة الاسترجاع الحرارى: Recovery method

يتم استخدام تقنيات الاسترجاع الحرارى فى الكثير من الدول وخاصة الدول المتقدمة بغرض التخلص الآمن من المخلفات الصلبة والمخلفات الخطرة ومخلفات المستشفيات وكذلك الحمأة الناتجة من الصرف الصحى والصناعى. وتتم عملية الحرق تحت ظروف تشغيل متحكم فيها من حيث درجة الحرارة وزمن الحرق مع التحكم فى كمية الإنبعاثات

ومدى مطابقتها لقوانين البيئة. وتتميز هذه الطريقة بالتخلص من 90% من المواد الصلبة وتحويلها الى طاقة حرارية يمكن استغلالها في العمليات الصناعية وتوليد البخار وإنتاج الطاقة الكهربائية.

### 2-3-6- طريقة الدفن (المدافن): Landfill method

تعتبر من أقدم الطرق للتخلص من النفايات (البقايا) وتتم بعمل حفرة كبيرة يتم عزل قاعدتها وجوانبها جيدا وتوضع فيها المخلفات في صورة طبقات متتالية يفصل بينها طبقات من المخلفات ويوضح شكل (2-2) طريقة عمل المدفن الصحي ومن أهم سلبيات هذه الطريقة هي تهديدات المياه الجوفية والسطحية بواسطة التلوث الناتج عن وصول العصارة الناتجة من التحلل اللاهوائي للمادة العضوية المدفونة إلى مصادر المياه، وكذلك غاز الميثان الناتج عن التحلل اللاهوائي وهو غاز قابل للاشتعال ومسؤول عن الاشتعال الذاتي في المدافن، كما يعتبر من الغازات المهددة للبيئة، وحالياً يتم تصميم المدافن الحديثة على أن يتم فصل المادة العضوية أولاً ثم يوضع نظام لتجميع العصارة الناتجة وكذلك مدافن لتجميع غاز الميثان، كما يتم تغطيتها عن مياه الأمطار لكي يمنع غسيل نواتج التحلل إلى المياه السطحية أو الجوفية.



شكل (2-2): طريقة عمل المدفن الصحي.

### 2-3-7- طريقة الحرق: Burning method

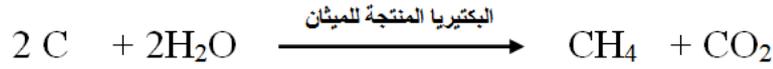
تستخدم هذه الطريقة بغرض تقليل الحجم أو التخلص من النفايات الطبية الخطرة، أو الحرق بقصد إنتاج الطاقة. ويتم حرق البقايا بالطرق الآمنة عند درجة حرارة عالية وكمية أوكسجين محدودة في حيز مغلق تحت ضغط عالي، فتنحول البقايا إلى طاقة وغازات

ورماد. تستخدم هذه الطريقة في كثير من البلدان لأسباب اقتصادية أو لعدم توفر المكان لإنشاء المدافن كاليابان مثلاً حيث تحتاج المدافن الى مساحات كبيرة، ويتم ذلك إما على المستوى الفردي أو في مجتمعات. كما يستخدم الحرق للتخلص من البقايا الصحية الخطرة كالأحشاء وبواقي العمليات الجراحية.

### 2-3-8- طريقة المعاملات الحيوية: Vital treatments method

وتتم إما بطريقة التحلل اللاهوائي كإنتاج الغاز الحيوي أو إنتاج مواد صحية نافعة، أو بطريقة التحلل الهوائي كإنتاج السماد العضوي. وتستخدم الكائنات الحية الدقيقة في تحلل المادة العضوية وتحويلها إلى مواد نافعة، سواء نواتج التحلل اللاهوائي، وكذلك نواتج التحلل الهوائي. إن أحد منتجات التحلل اللاهوائية هو ما يسمى بالغاز الحيوي. ينتج الغاز الحيوي من تحلل المادة العضوية بواسطة البكتريا الخاصة بذلك بمعزل عن الهواء ويسمى ذلك بالهضم اللاهوائي والغاز الناتج عن عملية الهضم اللاهوائي هو عبارة عن خليط من الغازات كغاز الميثان (Methane, CH<sub>4</sub>) وثنائي أكسيد الكربون (Carbon dioxide CO<sub>2</sub>) ويطلق عليه الغاز الحيوي أو مخلوط البيوجاز، ويمكن الحصول على الغاز الحيوي عبر عدة مراحل من التحلل اللاهوائي لأي مادة عضوية قابلة للتحلل وبما أن غاز الميثان يصعب ضغطه، حيث يستهلك طاقة كبيرة لإتمام ضغطه في خزانات صغيرة وكذلك الخطر المترتب على الغاز المضغوط فإن الاستخدام الأمثل له محلياً (في الموقع نفسه) ويمكن جمع الغاز الناتج في مستودعات متغيرة الحجم (كالبالونات) وتعتبر هذه الطريقة الأسهل والأرخص.

يستخدم الغاز الحيوي بصورة مثلى مباشرة للطبخ أو التدفئة أو الإضاءة (كالمبات الحرارية) أو لتشغيل الأجهزة التي تستخدم محركات الغاز بدلاً من الكهرباء أو الديزل. يتكون الغاز الحيوي من خليط من الغازات من أهمها غاز الميثان (70%) وثنائي أكسيد الكربون (29%) وكميات قليلة من الأوكسجين وكبريتيد الهيدروجين (H<sub>2</sub>S) والمسؤول عن الرائحة المميزة (رائحة البيض الفاسد) والتي بالرغم من أنها رائحة كريهة إلا أنها تسهل اكتشاف أي تسربات بالنظام، ويمكن تمثيل عملية الهضم اللاهوائي بالصورة البسيطة التالية:



وبما أن الغاز المنتج في معظمها غاز الميثان (غاز خفيف وزنه النوعي 0.55) أي نصف الوزن النوعي للهواء لذلك فهو يرتفع بالهواء، وتقدر القيمة الحرارية للميثان النقي بحوالي (293 واط/قدم مكعب أو 1000 بى تى يو/قدم مكعب) وبالتالي فالقيمة الحرارية للغاز الحيوي تتناسب طردياً مع محتوى المخلوط من غاز الميثان. وتعتبر كمية الغاز الحيوي المنتج من بقايا خضروات أكثر 7 أضعاف بالمقارنة بالغاز الحيوي المنتج من مخلفات الحيوانات ولكن يغلب ثاني أكسيد الكربون على مكونات الغاز الحيوي الناتج من البقايا النباتية، لذلك فالمخلفات النباتية ذات قيمة حرارية أقل مقارنة بالمخلفات الحيوانية، فلا تستخدم عندما يكون الهدف إنتاج الطاقة.

أما بالنسبة لنواتج التحلل الهوائي، فهي مادة عضوية مستقرة، أو ما يسمى بالسماد العضوي.

ويعرف السماد العضوي على أنه ناتج التحلل الهوائي للمادة العضوية حتى الاستقرار بواسطة الكائنات الحية الدقيقة تحت ظروف يتم التحكم بها.

#### 4-2- طرق الاستفادة من المخلفات الزراعية (العضوية)

توجد طرق كثيرة للاستفادة من المخلفات الزراعية أهمها :

##### 1-4-2- إنتاج الأعلاف الحيوانية

يعتبر توفير الموارد العلفية من الأمور المهمة لتنمية الإنتاج الحيواني. وتعتبر المخلفات الزراعية منخفضة القيمة الغذائية ومن الطرق المتبعة لحل هذه المشكلة خلط المخلفات الزراعية بالمركبات النيتروجينية غير البروتينية و غيرها من مواد مغذية. ولقد نتج عن هذا الأسلوب فوائد أخرى بالإضافة إلي توفير هذه الأعلاف والتي أطلق عليها الأعلاف غير التقليدية حيث يساهم ذلك في تقليل تلوث البيئة بهذه المخلفات، وبالتالي حماية الإنسان والحيوان والنبات من كثير من الأمراض التي تنقلها هذه المخلفات وهناك العديد من الطرق لتحسين القيمة الغذائية للمخلفات.

يوجد العديد من التكنولوجيات التي يمكن من خلالها تحويل المخلفات النباتية إلى أعلاف غير تقليدية بعد إضافة العناصر المغذية لها وهي:

#### 2-1-4-1- استخدام المغذيات السائلة

وهي تعتمد علي المولاس وهو عبارة عن (91%) يوريا، (2,5%) مصدر معدني للفسفور والكبريت وأملاح معدنية نادرة وفيتامين أ ، د مع مقدار من الماء (حوالي 5%) وتتم هذه العملية بتسخين الماء وإذابة الكمية اللازمة من اليوريا في كمية معلومة من الماء ويذاب مخلوط الأملاح المعدنية بالفيتامينات بنفس الطريقة علي حدة ثم تضاف جميعا إلي 4 طن من المولاس الخام في جهاز الخلط ، وبعد عشر دقائق تنقل إلي تانك تخزين المغذي السائل ، وترجع أهمية هذه التكنولوجيا إلي أن العلف الذي يضاف إليه هذا المحلول يمد الحيوان بما ينقصه من أملاح وفيتامينات وبروتين خام ويمكن القول أن كل نصف لتر من المولاس أو المفيد تعادل تقريبا نصف كيلو جرام من العلف المركز.

#### 2-1-4-2- قوالب المولاس الصلبة

يتم تصنيع قوالب المولاس (شكل 2-3) كبديل للمغذيات السائلة لتسهيل توزيعه علي صغار المربين ويتكون هذا القالب من 40-60% مولاس، و 10-20% يوريا، وملح طعام بنسبة 5-10% وكذلك إضافة مواد كيميائية تساعد علي تجمد القالب إلي درجة الصلابة وهذه التكنولوجيا لها مزايا غذائية واقتصادية حيث يتم استخدام 20% يوريا، كما أن لعق الحيوان لهذه القوالب علي فترات طوال اليوم يضمن إمداد الحيوان بكميات صغيرة منتظمة من العناصر الغذائية وهي تنشط بكتيريا الكرش.



**شكل (2-3):** قوالب المولاس الصلبة. المصدر:

### 2-4-1-3- فرم الأعلاف الخشنة (المعاملة الميكانيكية)

حيث يتم تقطيع المخلفات الزراعية من عيدان الذرة الجافة، والذراوة، وزعازيع القصب، بآلات الدراس العادية أو الكهربائية أو التي تدار بالجرار وهذا يجعلها أكثر استساغة وقابلية للهضم، ومن الممكن أن تحل محل تبن القمح في علائق التسمين والألبان.

#### فوائد تقطيع المخلفات الزراعية الحقلية:

- 1- عدم استغلال مساحات كبيرة في تخزين المخلفات،
- 2- سهولة نقل المخلفات،
- 3- تقليل تكاليف نقل هذه المخلفات،
- 4- ارتفاع القيمة الغذائية للمخلفات الحقلية،
- 5- عدم إهدار المخلفات الحقلية.

### 2-4-1-4- معاملة المخلفات بمحلول اليوريا

1. يتم أولاً تقطيع المخلفات الحقلية بواسطة ماكينة الدراس العادية،
2. ترص هذه المخلفات في طبقات،
3. ترش بمحلول اليوريا الذي يتم تحضيره بإذابة 4 كجم يوريا في 50 لتر ماء وهذا المحلول يرش على 100 كجم تبن أو قش أو حطب،
4. يتم كبس المخلفات المعاملة بالأرجل،

5. تغطي هذه الكومة بالبلاستيك لمنع تسرب غاز الأمونيا الذي سيتكون من تحليل اليوريا،

6. تترك الكومة مغطاة تماما لمدة 2-3 أسبوع ثم يرفع الغطاء من مكان أخذ العلف المعامل ويتم التغذية عليه تدريجيا.

#### 2-4-1-5- معاملة المخلفات بغاز الأمونيا

عند حقن المخلفات بغاز الأمونيا يؤدي ذلك إلي رفع القيمة الغذائية لهذه المخلفات ويتم ذلك بالطريقة الآتية:

1. توضع بالات القش والتبن في كومة ذات حجم 5 طن أو 10طن،
2. تغطي الكومة بغطاء من البلاستيك مع إحكام التغطية من كل جانب،
3. يحقن غاز الأمونيا،
4. تترك الكومة مغطاة بالبلاستيك لمدة 10-14 يوم صيفا وثلاثة أسابيع شتاء،
5. يرفع الغطاء البلاستيك ويترك القش أو التبن للتهوية لمدة يومين ثم يتم تغذية الحيوان.

#### 2-4-1-6- انتاج السيلاج

السيلاج هو علف أخضر محفوظ بمعزل عن الهواء، والحفظ يتم بواسطة عمليات التخمر حيث ينتج عن التنفس والتخميرات اللاهوائية الكحول والأحماض العضوية التي تزيد من حموضة العلف إلي درجة توقف عوامل الفساد.

ويتم عمل السيلاج كما هو موضح في شكل (2-4) كالآتي:

- 1- يتم حصاد المحصول الذي سيتم تحويله إلي سيلاج بحيث يحتوي علي نسبة عالية من الرطوبة،
- 2- يتم تقطيع النباتات بأطوال لا تزيد عن 5 سم،
- 3- يتم وضع المحصول في صورة طبقات سمك كل طبقة 30 سم وارتفاع 2متر
- 4- تكبس الكومة جيدا،
- 5- يضاف المولاس لكل طبقة بمعدل 15 لتر مضاف إليه 15لتر ماء لكل طن،
- 6- تغطي الكومة بالبلاستيك مع وضع أثقال علي سطح الكومة،
- 7- يتم فتح الكومة بعد شهرين وتغذية الحيوان علي السيلاج تدريجيا.



**شكل (2-4):** طريقة عمل السيلاج. المصدر:

## 2-4-2- إنتاج السماد العضوي (Compost)

استخدام الأسمدة العضوية ضروري للحد من استيراد الأسمدة الكيماوية الفوسفاتية والبوتاسية الذي يكلف عملة صعبة و له آثار سلبية ناتجة عن كثرة استخدام الأسمدة الكيماوية و التي أثبتت الدراسات ضررها البالغ علي صحة الإنسان و تلوث مصادر المياه. يتميز السماد العضوي بأنه يشبه السماد البلدي المتحلل وترتفع فيه العناصر الغذائية ويخلو من بذور الحشائش و مسببات أمراض النبات.

ويتكون السماد البلدي الصناعي من البقايا النباتية كالألياف والأحطاب والعروش وسيقان وأوراق الموز والحشائش وغيرها وبتأثير الكائنات الحية الدقيقة المنتشرة في كل مكان وفقا لظروف خاصة مثل التهوية الكافية، والرطوبة المناسبة، ووجود النيتروجين والفسفور بالمقادير المناسبة وفقا لنوعية المخلفات ويتميز هذا السماد بأنه يشبه السماد البلدي المتحلل وارتفاع العناصر السمادية به وخلوه من بذور الحشائش.

### وتتلخص طريقة تحضير السماد العضوي في الآتي:

- 1- يتم تحديد مساحة الكومة علي أساس أن الطن يحتاج إلي مساحة تساوي  $2 \times 3 \text{ م}^2$ ،
- 2- تدك الأرض جيدا ثم تحفر قناة حولها بعرض 20سم وعمق 10سم،
- 3- توضع طبقة مخلفات بسمك 50-60سم ثم يوضع فوقها طبقة من المخلفات الحيوانية بسمك 10-15سم،
- 4- تكرر العملية السابقة مع الرش بالماء حتى تصل الكومة إلي ارتفاع 1.5-2متر،

5- ترطب الكومة بعد ذلك مرة كل أسبوع فى فصل الشتاء، 2-3مرات فى فصل الصيف،

6- تقلب الكومة كل 2-3 أسبوع،

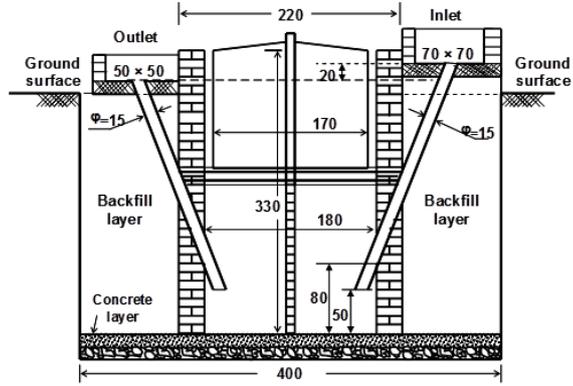
7- تترك الكومة لمدة 5 شهور ثم يتم استخدامها.

### 2-4-3- إنتاج الغاز الحيوي (Biogas)

يتم انتاج الغاز الحيوي من خلال عملية التخمير اللاهوائي للمخلفات الزراعية السائلة و الصلبة من مخلفات المزارع النباتية والحيوانية بطريقة اقتصادية وآمنة صحيا لإنتاج غاز الميثان، و الغاز الحيوي خليط من غاز الميثان وثنائي أكسيد الكربون مع مجموعة من الغازات الأخرى بنسب قليلة، و الغاز الناتج غير سام عديم اللون وله رائحة مميزه ويمكن استخدامه بشكل مباشر في أعمال الطهي.

### 2-4-3-1- سماد البيوجاز

أما سماد البيوجاز فإنه يتخلق بعد إنتاج الغاز وهو غني في محتواه من المادة العضوية والعناصر السمادية الكبرى والصغرى كما يحتوي علي الهرمونات النباتية والفيتامينات ومنظمات النمو، ويكون أيضا خاليا من الميكروبات واليرقات والبويضات وبذور الحشائش. ويتكون سماد البيوجاز من طبقتين أحدهما سائلة والأخرى صلبة، وتتكون وحدة البيوجاز وسماده من أربع أجزاء رئيسية هي مخمر- خزان الغاز- حوض التغذية بالمخلفات - حوض استقبال السماد العضوي وهذه الأجزاء جميعها مصنعة من الطوب والأسمنت والرمل ماعدا الخزان فقد يبنى من الطوب (المخمر الصينى) أويصنع من الصاج السميك (المخمر الهندي)، بالإضافة إلي خراطيم من البولي إيثيلين ومواسير حديد أو بلاستيك ويتراوح حجم الوحدة من 5-100 متر مكعب وفقا لحجم المخلفات المتاحة يوميا. ويبين شكل (2-5) مخمر أسطوانى عائلى من النوع الهندي المستمر ذو الخزان العائم تم تصميمه وإنشاءه بسعة 7 متر<sup>3</sup> بقرية أبيس 2/8 بمحافظة الاسكندرية بجمهورية مصر العربية. ولقد صمم هذا المخمر ليعمل على المخلفات الناتجة من عدد 5 الى 6 رؤوس من الحيوانات والتي تعطى مايقرب من 100 كجم يوميا، ويعطى من 2 الى 2.5 متر مكعب من الغاز يوميا.



شكل (5-2): مخمر أسطواني من النوع الهندي مزود بخزان معدني لتجميع الغاز

المصدر:

### أسئلة وتمارين

- 1- اشرح معنى الكلمات الآتية: الإدارة البيئية – الكومبوست – الأعلاف الغير تقليدية – البيوجاز؟
- 2- وضح ما هي الإدارة البيئية المثلى للمخلفات مع رسم الهرم الذي يوضح أفضلية الطرق للتعامل مع المخلفات؟
- 3- وضح ما المقصود بطريقة المنع للتخلص من المخلفات وهل هناك أمثلة توضيحية يمكن أن تستعين بها؟
- 4- وضح ما المقصود بطريقة التقليل للتخلص من المخلفات وضح ذلك مستشهدا بعدد من الأمثلة؟
- 5- وضح ما المقصود بطريقة التدوير للتخلص من المخلفات وضح ذلك بعدد من الأمثلة؟
- 6- تكلم بإيجاز عن طريقة استعادة الطاقة من المخلفات وضح ذلك بعدد من الأمثلة؟
- 7- تكلم بإيجاز عن طريقة الحرق للتخلص من المخلفات وضح ذلك بعدد من الأمثلة؟
- 8- تكلم بإيجاز عن طريقة الدفن ولماذا تعتبر هي الملجأ الأخير للتخلص من المخلفات؟
- 9- تكلم بإيجاز عن طرق الاستفادة من المخلفات الزراعية؟
- 10- وضح بإختصار الطرق المختلفة لإنتاج الأعلاف الحيوانية الغير تقليدية؟
- 11- وضح بإختصار طريقة إنتاج كل من: قوالب المولاس الصلبة – السيلاج؟

- 12- اشرح طريقة تحضير السماد العضوى مبينا أهم مميزاته؟
- 13- اشرح طريقة انتاج البيوجاز مبينا أهمية السماد الناتج من مخمر البيوجاز؟

# الفصل الثالث

## التحلل البيولوجي Biodegradation

### مقدمة:

تتكون أي مادة عضوية من مجموعة من العناصر الرئيسية أهمها: الكربون (C)، والهيدروجين (H)، والأوكسجين (O)، والنيتروجين (N)، والكبريت (S)، والفسفور (P). ويرمز لها بالرمز CHONSP حسب مكوناتها من كل عنصر. هذه العناصر معرضة للتحلل البيولوجي إذا توفرت الظروف المناسبة كنشاط الميكروبات.

وعلى ذلك فإن التحلل البيولوجي للمادة العضوية هو عملية تفكك المادة إلى عناصرها الأولية بالطرق الفيزيوكيميائية والحيوية ثم فنائها تماما. وتختلف مدة التحلل الحيوي بين المواد حيث تكون قصيرة جدا للمواد العضوية مثل بقايا الأطعمة، فضلات الإنسان والحيوان، الحيوانات النافقة... إلخ، بينما تمتد لآلاف السنين لبعض المواد الكيميائية التصنيعية مثل المواد المعدنية، مواد البناء، الزجاج، المطاط، البلاستيك، الفلين... إلخ.

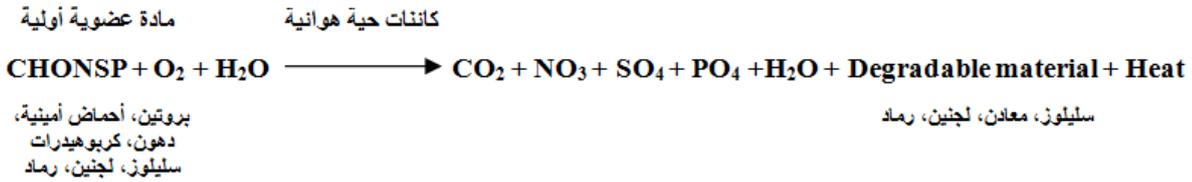
ويعتبر التحلل الحيوي أو التحلل البيولوجي هو طريقة طبيعية لإعادة تدوير النفايات، أو تحطيم المواد العضوية إلى مواد غذائية يمكن استخدامها من قبل الكائنات الحية الأخرى. فكلمة "تحلل" تعني تكسير وتحطيم، و"الحيوي" يقصد بها أن هذا التكسير يحدث من خلال تجمعات من البكتيريا والفطريات والحشرات والديدان، وغيرها من الكائنات التي تتغذى على المواد الميتة وإعادة تدويرها إلى أشكال جديدة. هذا التحلل للمواد العضوية يمكن أن يكون هوائيا بوجود الأوكسجين، أو لا هوائيا من دون الأوكسجين. والمادة المتحللة حيويا هي مادة عضوية عموما مثل المواد النباتية والحيوانية وغيرها من المواد التي

تخلفها الميكروبات، وقد تكون مادة اصطناعية تشبه المواد النباتية والحيوانية ويمكن للميكروبات تحليلها. وبعض الميكروبات لديها تنوع تقويضي طبيعي مذهش في تحليل وتحويل وتكديس مجموعة ضخمة من المركبات بما في ذلك الهيدروكربونات (مثل الزيت)، وثنائي الفينيل متعدد الكلور، والهيدروكربونات العطرية المتعددة الحلقات، وكثير من المواد الصيدلانية والنظائر المشعة والفلزات.

## 1-2- أنواع التحلل البيولوجي Biodegradation types

### 1-1-2 التحلل البيولوجي الهوائي Aerobic biodegradation

يحدث هذا النوع من التحلل نتيجة لنشاط الكائنات الحية الدقيقة الهوائية (بوجود الأكسجين) ويؤدي هذا التحلل إلى تثبيت المادة العضوية القابلة للعفن في صورة نترات (NO<sub>3</sub>)، كبريتات (SO<sub>4</sub>)، فوسفات (PO<sub>4</sub>)، وثنائي أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>)، وماء، ويمكن التعبير عن هذا النوع من التحلل كما يلي:



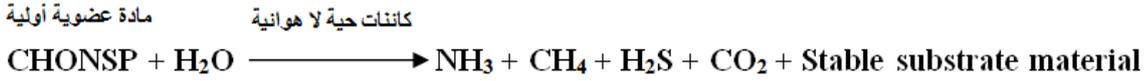
### مميزاته:

يتميز التحلل الهوائي بما يلي:

- الحرارة الناتجة جراء التحلل كافية لرفع درجة حرارة الوسط لمستوى كفيل بالقضاء على الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض (حيواني/ نباتي) وكذلك بذور الحشائش.
- الأمونيا الناتجة من عملية التحلل غالباً تستهلك لإنتاج خلايا ميكروبية جديدة، فبالتالي لا يكون هناك احتمالية عالية لانبعاث الغازات المزعجة.
- ونتيجة لما سبق فإن نوعية المنتج النهائي هوائياً جيدة.

## 2-2- التحلل البيولوجي اللاهوائي Anaerobic biodegradation

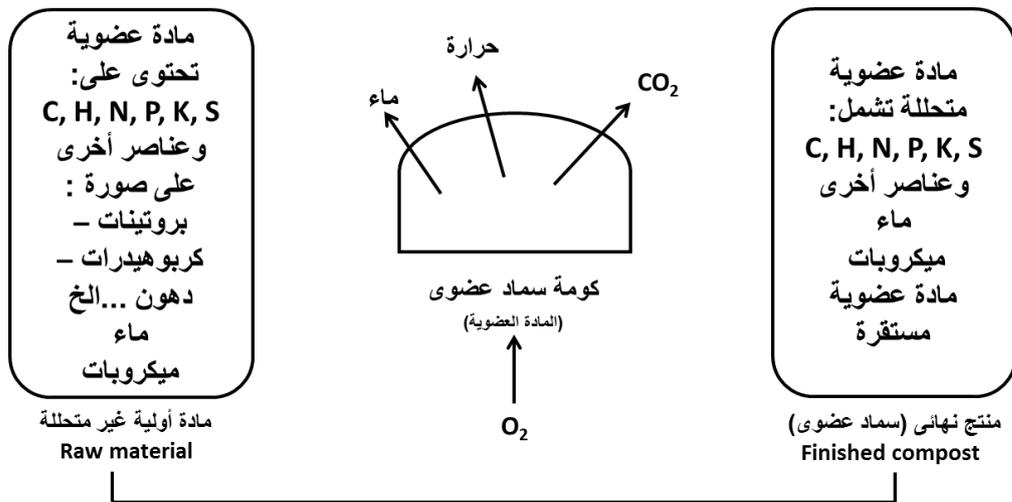
يحدث هذا النوع من التحلل نتيجة لنشاط الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية عند استنزاف الأكسجين، وينتج عنه غازات ذات رائحة كريهة ونفاذه منها الميثان، كبريتيد الهيدروجين ومواد أخرى، ويمكن التعبير عن هذا التحلل كما يلي:



ولا يفضل هذا النوع من التحلل للأسباب التالية:

- أن الحرارة الناتجة من التحلل اللاهوائي غير كافية للقضاء على الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض (حيواني/ نباتي) وكذلك القضاء على بذور الحشائش.
- احتمالية كبيرة لانبعاث غازات مزعجة مثل (الأمونيا وكبريتيد الهيدروجين) وكذلك بعض المركبات الكبريتية.
- المنتج النهائي رديء.

لذلك فالسماد العضوي المرغوب فيه هو ذلك الناتج من عملية التحلل البيولوجي لمادة عضوية صلبة أو شبه صلبة بوجود الهواء  $\text{O}_2$ . والمخطط التالي (شكل 1-3) يوضح الشكل العام لنظام إنتاج سماد عضوي:



شكل (1-3): نظام إنتاج سماد عضوي. المصدر:

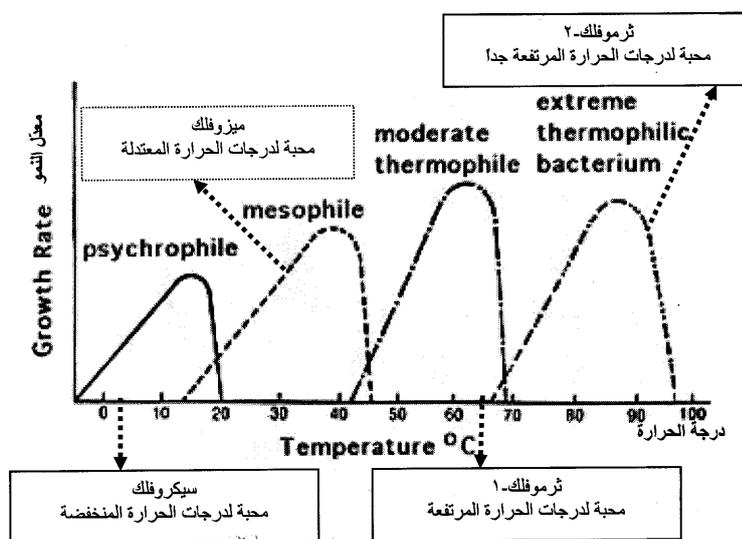
## 2-2-1- الميكروبات النافعة:

هناك مجموعات كثيرة من الكائنات الحية الدقيقة (بكتيريا، فطريات، الخ) تقوم بإتمام عملية التحلل الهوائي لإنتاج السماد العضوي، وما يهمنا هنا هو تصنيفها حسب درجات الحرارة وتحديدًا الحرارة المثلى للنمو كما هو موضح في جدول 3-1.

جدول (3-1) تصنيف الميكروبات النافعة حسب درجة حرارتها المثلى

اسم المجموعة	مدى درجات الحرارة	درجة الحرارة المثلى
مجموعة السيروفلك (المحبة لدرجات الحرارة المنخفضة) <b>Psychrophilic bacteria</b>	10°م الى 20°م	15°م
مجموعة الميزوفلك (المحبة لدرجات الحرارة المعتدلة) <b>Mesophilic bacteria</b>	15°م الى 45°م	35°م
مجموعة الثيرموفلك 1 (المحبة لدرجات الحرارة المرتفعة) <b>Thermophilic bacteria</b>	40°م الى 65°م فأكثر	55°م
مجموعة الثيرموفلك 2 (المحبة لدرجات الحرارة المرتفعة جدًا) <b>Extreme thermophilic bacteria</b>	65°م الى 95°م فأكثر	85°م

ونرى التداخل بين المجاميع حيث تتعاقب في اتمام عملية التحلل دون أن يحدث ذلك تغيرًا ملحوظًا في درجات حرارة المخلوط كما يوضحها المخطط التالي في شكل (3-2):



شكل (3-2): تصنيف الميكروبات النافعة حسب درجات الحرارة. المصدر:

## 2-2-2- أهداف عملية التحلل الهوائي للمادة العضوية

1. تحويل المادة العضوية غير المستقرة إلى مادة عضوية مستقرة (بطيئة التحلل) أو سماد عضوي (Compost).
2. تحطيم (تثبيط) الكائنات الحية المسببة للأمراض الحيوانية (Animal Pathogens).
3. تحطيم (تثبيط) الكائنات الحية المسببة للأمراض النباتية (Plant Pathogens) .
4. تثبيط نمو بذور الحشائش.
5. القضاء على الحشرات وبيوضها.
6. تكسير المركبات الكيميائية السامة (المبيدات، المنتجات البترولية, إلخ).

## 2-2-3- مواصفات المنتج النهائي (السماد العضوي)

1. غامق اللون – حجم الجزيئات أقل والقوام إسفنجي هش.
2. متجانس - ليس له رائحة مزعجة (رائحته كرائحة التربة الخصبة)
3. غني بالكائنات الحية الدقيقة النافعة والتي تعمل كسلاح دفاعي تزيد بالتالي من مقاومة النبات لكثير من الأمراض الفطرية والبكتيرية و النيماتود (الحشرات).
4. الرقم الهيدروجيني أقل من 8.
5. يحتوي علي نسب جيدة من المادة العضوية و العناصر المعدنية والكربون العضوي المفيدة للنبات.

## 2-2-4- جودة المنتج النهائي (السماد العضوي):

من أهم الاختبارات أو المحددات للاستفادة من السماد العضوي هو جودته للتطبيق الآمن في الأراضي الزراعية، وهناك بعض المعايير التي يجب توفرها حتى نستطيع الحكم على جودة السماد العضوي ومنها:

1. نسبة الكربون إلى النيتروجين (C:N ratio) يجب أن تكون أقل من 1 : 25.
2. معدل استهلاك الأوكسجين يجب أن يكون أقل من 150 ملجم أوكسجين لكل كجم مواد صلبة متطايرة لكل ساعة (mgO<sub>2</sub>/ Kg VS.hr) .
3. نسبة إنبات بذور الاختبار يجب أن تكون أكبر من 90% (عادة تستخدم بذور الرشاد أو الفجل).

4. درجة حرارة المخلوط لا ترتفع أكثر من 20°م عن درجة حرارة البيئة المحيطة (اختبار ديور).
5. يجب أن يكون السماد العضوي قد ترك لفترة نضوج لا تقل عن 21 يوم بعد المرحلة النشطة.
6. يجب أن تكون نسبة انخفاض المادة المتطايره العضوية (VS) أقل من 60%.  
وإذا لم يتحقق (أو يتعذر إيجاد) أي من معايير الجودة السابقة فإن الخليط يجب أن يترك لمدة لا تقل عن 6 أشهر قبل إضافته للتربة الزراعية.

### 2-2-5- فوائد إضافة السماد العضوي للتربة:

1. مصدر للمادة العضوية.
2. يُحسن التركيب البنائي و قوام للتربة.
3. يحسن من قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء.
4. يُحسن من نمو المجموع الجذري.
5. يزيد من مقاومة النبات لكثير من الأمراض.
6. يقلل من الاحتياجات السمادية (من السماد الكيميائي) للمحصول.
7. يقلل من الحاجة لاستخدام المبيدات بفضل قدرته على مقاومة الكثير من أمراض النبات.
8. يقلل من الأضرار البيئية الناجمة عن ترك المادة العضوية تتحلل عشوائياً.
9. بديل صديق للبيئة مقارنة مع السماد الكيميائي.

### 2-3- قابلية المادة العضوية للتحلل Substrate Biodegradability

تعرف قابلية المادة العضوية للتحلل على أنها القوة المتاحة والدافعة في عملية إنتاج السماد العضوي. إن جميع المواد من أصل عضوي (حيواني / نباتي) قابلة للتحلل البيولوجي إذا أعطيت الوقت المناسب. ولكن لا يحصل ذلك دائماً نتيجة لبعض المحددات التي قد تطيل الوقت اللازم أو سرعة تحلل المادة، أي أن معدل تحلل المادة العضوية هو عبارة عن دالة تعتمد على عدة عوامل قد تقيد عملية التحلل. وجدول (2-3) يعطي فكرة عن بعض المواد العضوية وقابليتها للتحلل البيولوجي.

جدول (2-3): قابلية المادة العضوية للتحلل (Source: Haug, 1993)

المادة	قابلية المادة العضوية للتحلل (%VS)
بقايا عضوية بلدية	45
أوراق معالجة كيميائياً	30- 10
نجيلة	90
بقايا حدائق	50- 30
فرشة دواجن	66
بلاستيك	0

في معظم الحالات، المواد العضوية والمحسنتات المستخدمة كمواد أولية في أنظمة إنتاج السماد العضوي ذات أصل نباتي، فالخشب، بوردرة الخشب، قصاصات الأشجار، مخلفات الحدائق، وبقايا المخلفات الزراعية بما فيها المخلفات الصلبة الناتجة من قطاع الإنتاج الحيواني كلها أمثلة للمواد الأولية الناتجة مباشرة أو غير مباشرة من مصادر نباتية.

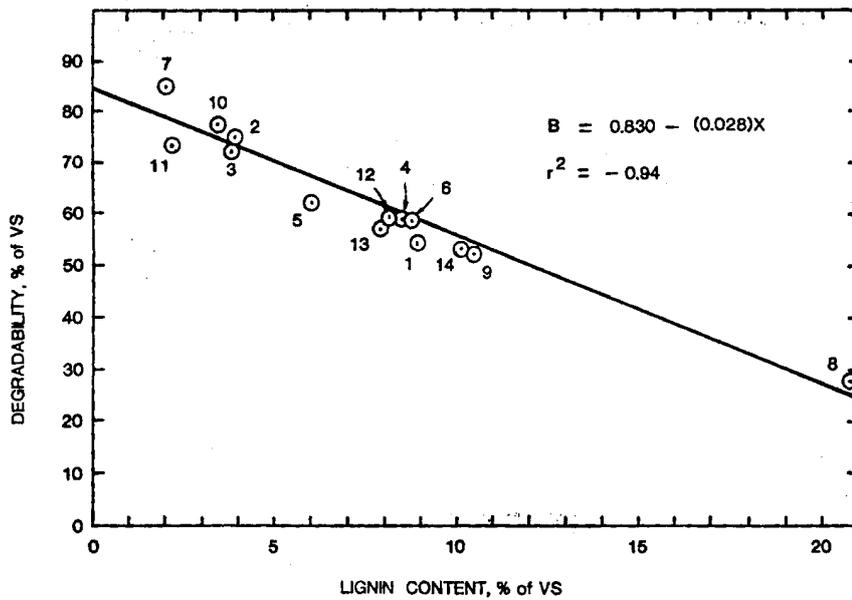
تتكون الكتلة النباتية من السيليلولوز والهيموسيليلوز و اللجنين و تختلف جزئيات كل منها مما يؤدي الى اختلاف في تركيبها البنائي، وجميعها مكونات رئيسيه للخلايا النباتية، فالسيلولوز يعطي القوة والمرونة لهيكل الخشب واللجنين هو المادة الأسمنتية التي تربط هيكل الخشب، أما الهيمو سيليلولوز فهو المادة المساعدة في عملية الربط بين السيليلولوز واللجنين. الخشب مثلاً عبارة عن 45% سيليلولوز أما القطن فعبارة عن 95% سيليلولوز. كما يحتوي الخشب على 10- 30 % هيموسيليلولوز و 10 – 20 % لجنين.

تغلف مادة اللجنين (مادة مقاومة للتحلل البيولوجي) السيليلولوز لحمايته وإعطاء النبات الهيكل العام المقاوم للتحلل. إن مادة اللجنين تحيط جزئيات السيليلولوز مقلصة بذلك المساحة المعرضة للميكروبات، لذلك فعند تقطيع المواد الخشبية فإن المساحة المعرضة للتحلل البيولوجي تزيد.

لتصميم نظام إنتاج سماد عضوي فعال، يتم إضافة المحسنتات لتعديل قابلية المادة العضوية للتحلل البيولوجي. كما تساعد هذه المحسنتات في رفع المحتوى الحراري للمخلوط،

تحديد كمية الأوكسجين اللازمة للميكروبات لتقوم بعملية التحلل، وتقدير متطلبات التهوية لإزالة الحرارة الزائدة.

وقبل تصميم نظام معالجة بيولوجي يفترض أن يتم إجراء تجارب معملية لتحديد قابلية المادة للتحلل البيولوجي (قابلية المادة للتحلل). ولتحديد نسبة إتاحة المادة العضوية للتحلل البيولوجي، طور تشاندلر (Chandler) إجراء استخدم بواسطة فان سوست (Van Soest) لتصنيف المادة العضوية إلى مادة ذائبة، سيلولوز، هيموسيلولوز، لجنين بعد معاملة المادة العضوية بوسط حمضي، فوجد أن هناك علاقة قوية بين محتوى أي مادة عضوية من اللجنين وتحلل المادة العضوية الصلبة المتطايرة (VS) كما هو موضح في الشكل (3-3):



شكل (3-3): محتوى أي مادة عضوية من اللجنين وتحلل المادة العضوية الصلبة المتطايرة (VS)

المصدر:

ختم تشاندلر عمله بأن محتوى المادة العضوية من اللجنين كان العامل المسيطر على قابلية المادة للتحلل، والعلاقة التالية تمثل نموذج التحلل للمادة العضوية:

$$K_m = 0.830 - (0.028) X \quad \dots \dots \dots (1)$$

حيث:

$K_m$  : عبارة عن نسبة الجزء القابل للتحلل من المادة الصلبة المتطايرة.

$X$  : محتوى المادة العضوية من مادة اللجنين %VS.

ويعتبر نموذج تشاندلر مفيد جداً، خاصة عندما يتعذر إجراء تجارب معملية طويلة الأمد لتحديد قابلية المادة للتحلل.

ونلاحظ من معادلة تشاندلر أن المادة العضوية التي لا تحتوي على لجنين لا تتجاوز نسبة المادة العضوية المتاحة للتحلل فيها عن 83٪، والسبب في ذلك هو أن هناك منتجات ثانوية لعملية التحلل غير متاحة بيولوجياً.

#### 2-4-4- قياس الجزء المتاح للتحلل البيولوجي:

هناك عدة طرق استخدمت لتقدير قابلية المادة العضوية للتحلل البيولوجي من أهمها:

##### 2-4-4-1- مكونات المادة العضوية:

في هذه الطريقة يتم تطبيق نموذج تشاندلر، حيث يتم تحليل المادة العضوية لمعرفة نسبة اللجنين، المادة الصلبة المتطايرة، ثم باستخدام معادلة تشاندلر يتم تحديد نسبة المادة العضوية المتاحة، وهذا لحد ما قريب من الواقع، إلا أنه يجب الحذر من نموذج تشاندلر لأنه اعتمد في استنتاجه على بيانات تحلل لا هوائي، بينما الحاصل أن إنتاج السماد العضوي المفضل هو ناتج تحلل هوائي، ولم يتم التحقق من ذلك بعد.

##### 2-4-4-2- طريقة اتران الكتلة:

وتعتمد هذه الطريقة على إجراء تجربة معملية، أو أخذ البيانات اللازمة من وحدة إنتاج سماد عضوي قائمة تستخدم مادة أولية شبيهه بالمادة العضوية المدروسة لتحديد قابلية هذه المادة (المخلوط) للتحلل البيولوجي الهوائي. ومن سلبيات هذه الطريقة أنها تعطي قابلية المادة العضوية (المخلوط) الكلية للتحلل، فإذا كان هناك أكثر من مادة في المخلوط الأولي (كما هو الحال عادة) فلن نتمكن من حساب قابلية كل مكون من مكونات المخلوط الأولي للتحلل البيولوجي على حده، وهناك طريقتان لتحقيق ذلك:

##### 2-4-4-2-1- طريقة الفقد الكلي في كتلة السماد العضوي:

بتطبيق قانون المحافظة على المادة حيث أن:

$$\text{المادة الداخلة} = \text{المادة الخارجة} + \text{المادة المفقودة}$$

أو رياضياً:

$$VS_{in} = VS_{out} + VS_{loss} \quad (2)$$

حيث:

$VS_{in}$  = كتلة المادة الصلبة المتطايرة الداخلة

$VS_{out}$  = كتلة المادة الصلبة المتطايرة الخارجة

$VS_{loss}$  = كتلة المادة الصلبة المتطايرة المفقودة

وبمعلومية كتلة المادة الصلبة المتطايرة الداخلة بالتجربة، وكذلك المادة الصلبة

المتطايرة الخارجة وبالتعويض عن ذلك في معادلة (2) يمكن القول بأن:

$$S_m X_m = S_p X_p + VS_{loss} \quad (3)$$

أو

$$VS_{loss} = S_m X_m - S_p X_p \quad (4)$$

حيث:

$S_m$  = نسبة المادة الصلبة في المخلوط الأولي

$X_m$  = الكتلة الرطبة للمخلوط الأولي.

$S_p$  = نسبة المادة الصلبة في المخلوط النهائي.

$X_p$  = الكتلة الرطبة للمخلوط النهائي.

إن معامل قابلية المادة للتحلل البيولوجي الهوائي للمخلوط  $K_m$  يمكن تعريفه على أنه

الفقد بالمادة الصلبة المتطايرة مقسومة على كتلة المادة الصلبة المتطايرة الأولية، أو رياضياً

كما يلي:

$$K_m = \frac{VS_{loss}}{VS_{in}} \quad (5)$$

أو بمعنى آخر:

$$K_m = \frac{S_m X_m - S_p X_p}{VS\% (S_m X_m)} \quad (6)$$

حيث:

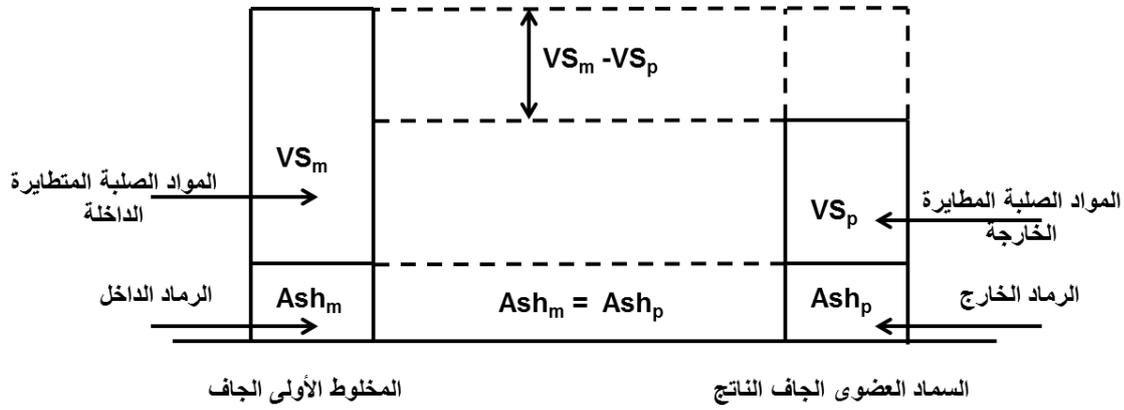
$VS_{in}$  = كتلة المادة الصلبة المتطايرة الابتدائية (للمخلوط الأولي)

$$VS\% S_m X_m =$$

## 2-2-4-2- طريقة المحافظة على الرماد:

أحد المحددات لاستخدام المعادلة رقم (6) هو صعوبة أخذ القياسات الدقيقة للمخلوط الأولي والنهائي. كما أن بعض وحدات إنتاج السماد العضوي غير مجهزة للقيام بذلك. فلذلك جاءت الحاجة لتطوير طريقة أخرى لا تحتاج لقياس كتلة المادة الأولية والمنتج النهائي (السماد العضوي)، وتعتمد أساساً على حقيقة أن كتلة الرماد الداخل (في المخلوط الأولي) ثابتة خلال عملية إنتاج السماد العضوي.

والشكل رقم (4-3) يمثل المخلوط الأولي والسماد العضوي الناتج مع ملاحظة أن نسبة الرماد ثابتة.



شكل (4-3): المخلوط الأولي والسماد العضوي الناتج. المصدر:

ويمكن تحديد نسبة الرماد في المادة (المخلوط) الأولي الداخل من العلاقة التالية:

$$Ash_m \% = \frac{Ash_m (100)}{Ash_m + VS_m} \quad (7)$$

وبإعادة ترتيب المعادلة بعد ضرب الطرفين = الوسطين، نحصل على:

$$VS_m = \frac{Ash_m (100)}{Ash_m \%} - Ash_m \quad (8)$$

وبالمثل  $Ash_p \%$  &  $VS_p$  نستطيع تحديدها كما يلي:

$$Ash_p \% = \frac{Ash_p (100)}{Ash_p + VS_p} \quad (9)$$

$$VS_p = \frac{Ash_p (100)}{Ash_p \%} - Ash_p \quad (10)$$

ومن الشكل رقم (3-4) السابق نستطيع إيجاد معامل قابلية المادة للتحلل ( $K_m$ ) كما يلي:

$$K_m = \frac{VS_m - VS_p}{VS_m} \quad (11)$$

وبتعويض معادلة (8) و (10) في (11) وبعد إعادة الترتيب نحصل على:

$$K_m = \frac{(Ash_p \% - Ash_m \%) 100}{Ash_p \% (100 - Ash_m \%)} \quad (12)$$

وبمعلومية الارتباط بين نسبة الرماد والمواد الصلبة المتطايرة للمخلوط نستطيع إيجاد معادلة مشابهة للمعادلة رقم (12) بمعلومية نسبة المادة الصلبة المتطايرة الداخلة والخارجة بدلاً من نسبة الرماد كما هو آتي:

$$Ash_m = 100 - VS_m \% \quad (13)$$

$$Ash_p = 100 - VS_p \% \quad (14)$$

بتعويض معادلة رقم (13) & (14) في معادلة (12) مع إعادة الترتيب نحصل على ما يلي:

$$K_m = \frac{(VS_m \% - VS_p \%) 100}{VS_m \% (100 - VS_p \%)} \quad (15)$$

### مثال 3-1:

في وحدة إنتاج سماد عضوي يتم إدخال (10) طن جاف من المادة الأولية / يوم، ليخرج كتلة تقدر بـ 5 طن جاف من السماد العضوي/ يوم. وتقدر المادة الصلبة المتطايرة في المخلوط الأولي 80% وفي المنتج النهائي 60%.  
حدد معامل قابلية المادة للتحلل ( $K_m$ ) للمخلوط الأولي؟

### الحل:

1- باستخدام طريقة الفقد الكلي بكتلة السماد العضوي نحصل على القيم التالية:

$$S_m X_m = 10 \text{ dtpd (dry ton per day)}$$

$$VS_m = VS\% \times S_m \times X_m = 0.8 (10) = 8 \text{ dtpd}$$

$$S_p X_p = 5 \text{ dtpd}$$

وبمعلومية ما سبق نستطيع حساب  $K_m$  وذلك بالتطبيق في معادلة رقم (6)

$$K_m = \frac{(S_m X_m - S_p X_p)}{VS\%(S_m X_m)}$$
$$K_m = \frac{(10 - 5)}{8} = 0.625$$

2- حساب معامل قابلية المادة للتحلل عن طريق طريقة المحافظة على الرماد كما يلي:  
كمية الرماد الداخلة في المادة الأولية تساوي:

$$(1 - V_{s_m} \%) S_m X_m = (1 - 0.80) 10 = 2 \text{ dtpd}$$

وبافتراض أن 2 dtpd من الرماد خارجة من الجهاز أيضاً فإن كمية السماد العضوي الناتج (5 dtpd) تصبح فيها نفس كمية الرماد، وبالتالي تصبح نسبة الرماد الخارج  $40\% = (2/5)$  ، ومعنى ذلك أن  $V_s = 60\%$  خارجة مع السماد العضوي وهذا موافق مع ما هو معطى. وبالتطبيق بمعادلة رقم (15) نحصل على ما يلي:

$$K_m = \frac{(V_{s_m} \% - V_{s_p} \%) 100}{V_{s_m} \% (100 - V_{s_p} \%)}$$
$$K_m = \frac{(80 - 60) 100}{80 (100 - 60)} = 0.625$$

### ملاحظة:

كلا الطريقتين " الفقد بكتلة المادة" و"المحافظة على الرماد" أعطت نتيجة مساوية في هذا المثال، ويدرك الطالب أن هذه النتيجة قد لا تكون بهذه الدقة في التجارب الحقلية نظراً لكثرة مصادر الخطأ الحقلية، سواءً من طريقة أخذ العينة أو العينة نفسها.

## أسئلة وتمارين

- 1- عرف التحليل البيولوجي للمادة العضوية موضحا العناصر الرئيسية المكونة لها؟
- 2- إشرح معنى التحلل الحيوى الهوائى معبرا عن ذلك باستخدام المعادلة الكيميائية الدالة على ذلك؟
- 3- وضح مميزات التحلل الهوائى للمادة العضوية؟
- 4- أذكر أسباب عدم تفضيل التحلل اللاهوائى للمواد العضوية؟
- 5- إرسم شكل تخطيطى يوضح نظام إنتاج السماد العضوى؟
- 6- أذكر ماتعرفه عن: الميكروبات النافعة موضحا أسمائها العلمية ومدى درجات الحرارة التى تنشط عندها؟
- 7- أذكر فى نقاط أهداف عملية التحلل الهوائى للمادة العضوية؟
- 8- وضح مواصفات الكومبوست فى صورته النهائية؟
- 9- إشرح ما المقصود بجودة السماد العضوى؟
- 10- تكلم عن كل من: فوائد إضافة السماد للتربة – قابلية المادة للتحلل؟
- 11- وضح بإيجاز طرق قياس الجزء المتاح للتحلل البيولوجى من المادة العضوية؟
- 12- اشرح طريقة ائزان الكتلة لقياس الجزء المتاح للتحلل البيولوجى للمادة العضوية؟
- 13- يتم إنتاج سماد عضوي بادخال (15) طن من المادة الرطبة الأولية / يوم والتي تحتوي على 50% رطوبة، ليخرج كتلة تقدر ب 4 طن جاف من السماد العضوي/ يوم. وتقدر المادة الصلبة المتطايرة فى المخلوط الأولي 85% وفي المنتج النهائي 55%.  
حدد معامل قابلية المادة للتحلل ( $K_m$ ) للمخلوط الأولي باستخدام:  
(1) طريقة فقد بكتلة المادة.  
(2) طريقة المحافظة على الرماد.  
علما بأن نسبة الرطوبة = (الكتلة الرطبة الأولية – الكتلة الجافة الأولية) \ الكتلة الرطبة الأولية.

# الفصل الرابع

Biodegradation indices for  
agricultural wastes

مؤشرات التحلل البيوكيميائي  
للمخلفات الزراعية

## مقدمة:

نحتاج لدراسة بعض المؤشرات الضرورية لدراسة سلوك التحلل البيولوجي والتي نحتاج إليها. نحتاج لهذه المؤشرات في احد المرحلتين التاليتين:

- في بداية مرحلة الخلط الأولية لضمان توفر العناصر الضرورية لنمو الميكروبات واستبعاد محددات النمو لضمان استمرار عملية التحلل.
- خلال عملية الإنتاج أو في المرحلة الأخيرة لضمان جودة المنتج النهائي ودرجة الأمان عند تطبيقه على الأراضي الزراعية والحدائق، ومن هذه المؤشرات المستخدمة ما يلي:

## 1-4- المؤشرات الكيميائية:

### 1-1-4- نسبة الكربون إلى النيتروجين (C:N)

حسابها:

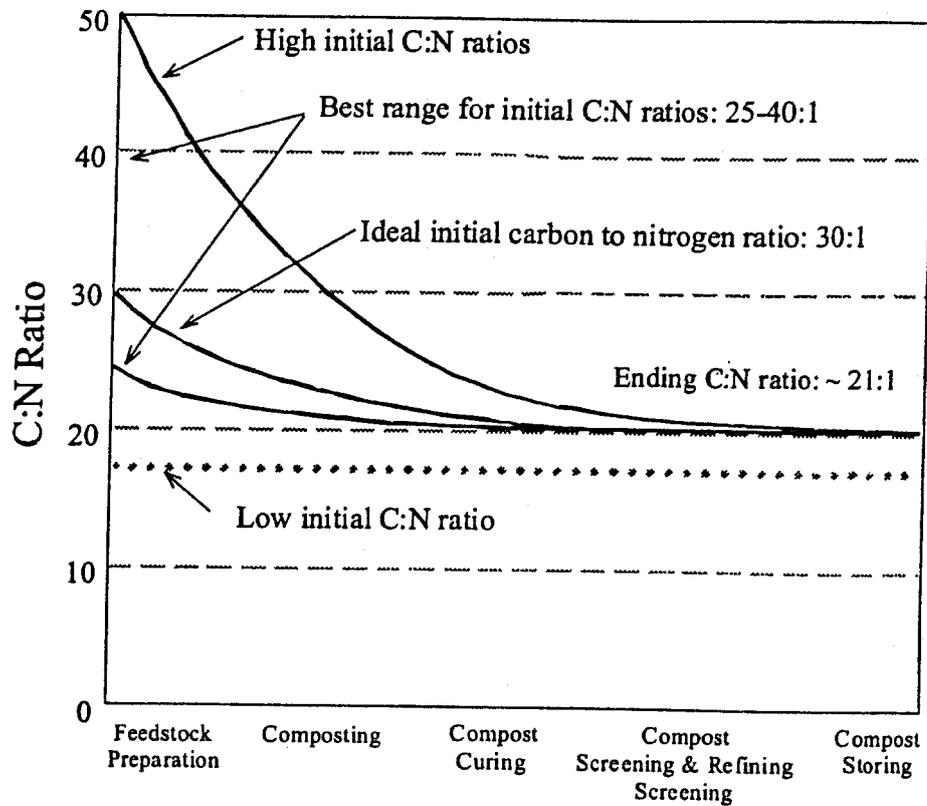
$$C : N = O_c / T_N$$

حيث:

$O_c$  = نسبة الكربون العضوي في العينة، (%).

$T_N$  = نسبة النيتروجين الكلية في العينة، (%).

تعتبر نسبة الكربون إلى النيتروجين الابتدائية من المؤشرات المهمة عند تجهيز المخلوط الأولي، حيث يتم خلط المواد الأولية لتحقيق نسبة  $C:N = 25-40:1$  ومثالياً يصمم المخلوط الأولي على أساس  $C:N = 30:1$  لمعظم المواد العضوية. يمكن استعمال  $C:N$  تحت الظروف المحكومة كمؤشر أولي لاستقرار السماد العضوي. القيمة الابتدائية لهذا المؤشر تقريباً  $30:1$  تنخفض إلى حدود تقريباً  $21:1$  في نهاية الإنتاج وعند الوصول إلى مرحلة النضوج، ويجب مراعاة مستوى الفسفور، فلا بد أن يكون في المدى الكافي لنمو الميكروبات النافعة لضمان استمرار عملية التحلل البيولوجي للمواد السيليزيوسية والتي يمكن أن تكون ضمن المخلوط الأولي. ويجب أن نلاحظ أن نسبة  $C:N$  للسماد العضوي لا يمكن الأخذ بها وحدها كمؤشر لاستقرار ونضوج السماد العضوي، بل وكما سيرد لاحقاً نحتاج لمؤشرات أخرى لضمان جودة المنتج النهائي ووصوله إلى مرحلة النضوج الكامل، والشكل رقم (1-4) أدناه يصف سلوك  $C:N$  خلال العمليات التسلسلية لإنتاج السماد العضوي.



شكل (1-4): نسبة الكربون إلى النيتروجين C:N Ratio . المصدر:

يحتوي الملحق 2 (في نهاية الكتاب) على نسبة الكربون الى النيتروجين للعديد من المخلفات الزراعية الهامة.

#### 4-1-2- نسبة الكربون إلى الفوسفور (C : P)

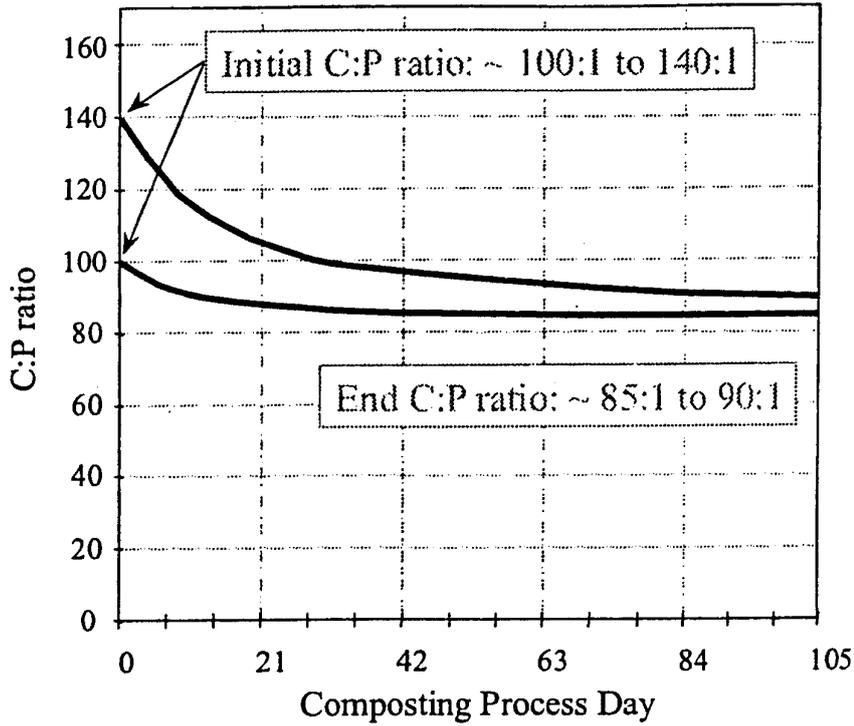
حسابها:

$$C : P = O_c / P$$

حيث:

$$P = \text{نسبة الفوسفور الكلي في العينة (\% )}$$

مع تقدم عمر السماد العضوي، فإن الميكروبات النافعة في بيئة السماد العضوي تستهلك الكربون العضوي ويتم تحويله إلى ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$  وماء  $H_2O$  وبالتالي فإن هذه النسبة C:P تتناقص مع الزمن، إن نسبة الكربون إلى الفوسفور الابتدائية العالية (C:P >140:1) دليل على أن المخلوط الأولي فقير بعنصر الفوسفور وغني بالكربون كالأخشاب، الأوراق، الخ. أما C:P الابتدائية المنخفضة فتقود في العادة إلى عملية تحلل بطيئة. إن معدل التحلل البيولوجي يتحسن إذا تمت إضافة الفوسفور حتى تصل نسبة الكربون إلى الفوسفور الابتدائية إلى المدى الأمثل (C:P = 100-140:1) مع ملاحظة أنه في نهاية مرحلة النضوج تنخفض هذه النسبة لتصل إلى 85-90:1 تقريباً، كما هو موضح بالشكل رقم (2-4) أدناه.



شكل (2-4): نسبة الكربون إلى الفوسفور C : P ratio. المصدر:

3-1-4- نسبة النيتروجين بصورة أمونيا إلى النيتروجين بصورة نترات:  
(NH<sub>4</sub>-N : NO<sub>3</sub>-N)

حسابها:

$$\text{NH}_4\text{-N} : \text{NO}_3\text{-N} = \text{NH}_4\text{-N} / \text{NO}_3\text{-N}$$

حيث:

$$\text{NH}_4\text{-N} = \text{تركيز النيتروجين بصورة أمونيا mg /kg}$$

$$\text{NO}_3\text{-N} = \text{تركيز النيتروجين بصورة نترات mg/kg}$$

إن نسبة تركيز النيتروجين الذائب في الماء (NH<sub>4</sub>-N : NO<sub>3</sub>-N) ليس لها قيم معنوية كمؤشر يمكن الاستدلال به أو أخذه بالاعتبار عند تقدير درجة نضوج السماد العضوي عندما يكون تركيزهما مع بعض (NH<sub>4</sub>-N & NO<sub>3</sub>-N) أقل من 100 (ملجرام/كجم مادة جافة).

يتكون النيتروجين بصورة أمونيا نتيجة لعملية هضم الأحماض الدهنية المتطايرة (Volatile Fatty Acids: VFA)، ومع تقدم عمر السماد العضوي فإن الأمونيا تتأكسد مكونة نترات (NO<sub>3</sub>). ويلاحظ أن تركيز النترات في بداية عملية الإنتاج قليل جداً، وبالتالي فإن

نسبة  $\text{NH}_4\text{-N} : \text{NO}_3\text{-N}$  ستكون عالية في البداية (أكبر من 2000: 1) ثم تنخفض بشكل ملحوظ نتيجة تحول الأمونيا إلى نترات مع تقدم عمر السماد العضوي حتى أنه في نهاية المطاف ستسيطر النترات ( $\text{NO}_3$ ) لتصبح نسبة  $\text{NH}_4\text{-N} : \text{NO}_3\text{-N}$  أقل من 1:1.

#### 4-1-4- نسبة الكاديوم إلى الزنك Cd:Zn

حسابها:

$$\text{Cd: Zn} = \text{Cd} / \text{Zn}$$

يستخدم هذا المؤشر لضمان تطبيق السماد العضوي النهائي على الأراضي الزراعية المزروعة بالنبات المزمع استهلاكها بواسطة الإنسان أو الحيوان. إن عنصر الزنك يوفر الحماية ضد انتقال الكاديوم (Cd) وهو معدن ثقيل سام، إلى السلسلة الغذائية وذلك نتيجة لاحتمالية سميته للنباتات وبالتالي منع الكاديوم من الامتصاص بواسطة النبات. إن عنصري الزنك والكاديوم لهما القابلية للتراكم بواسطة النباتات، والحد الأعلى الممكن أن يتراكم بأنسجة النباتات من عنصر الكاديوم يعتمد على سمية الزنك للنبات. وعلى كل حال لم يلاحظ أي سمية لمعظم أنواع النباتات عندما يكون Cd:Zn أقل من 0.01 أو (100: 1).

#### 4-2- مؤشر صلاحية السماد العضوي للاستخدام الزراعي: Agricultural Index

نحتاج إلى هذا المؤشر لمعرفة صلاحية السماد العضوي "المنتج النهائي" للاستخدام الزراعي. تعتبر أملاح الصوديوم Na والكلور Cl من محددات استخدام السماد العضوي على الأراضي الزراعية نظراً لكونها تحد من امتصاص العناصر السمادية الأخرى المهمة لنمو النبات.

إن هذا المؤشر يوضح العلاقة بين النيتروجين الكلي (TkN) و النيتروجين بصورة نترات ( $\text{NO}_3$ ) بصورته المتاحة للنبات، وكذلك الفسفور والبوتاسيوم مع أملاح الصوديوم Na والكلور Cl. فبعد الحصول على التحليل الكيميائي للعناصر المطلوبة (Na, Cl, K, P,  $\text{NO}_3$ , TkN) يتم تحويل K, P إلى الصورة المطلوبة بواسطة النبات كما يلي:

$$\text{P}_2\text{O}_5 = \text{P} \times 2.288$$

$$\text{K}_2\text{O} = \text{K} \times 1.2046$$

حيث:

P = نسبة الفسفور الكلي (%)

K = نسبة البوتاسيوم الكلي (%)

حساب مؤشر الصلاحية للزراعة (AI) Agricultural Index كما يلي:

$$AI = [N + P_2O_5 + K_2O] \div [Na + Cl_2]$$

حيث:

N = نسبة النيتروجين الكلي بالصورة المستهلكة للنبات %

Na = نسبة الصوديوم الكلي %

Cl<sub>2</sub> = نسبة الكلور الكلي %

عندما يكون AI صغير، دليل على أن محتوى السماد العضوي عالي من الأملاح، فلا يحبذ استخدامه في الأراضي الزراعية. لأن احتمالية ضرر نمو النبات كبيرة، بينما عندما تكون قراءة  $AI \geq 10$  فإن محتواه من الأملاح قليل وبالتالي يمكن تطبيق السماد العضوي على جميع أنواع الترب الزراعية والشكل التالي يعطي تفصيل أكثر لمدى المؤشر من (0 - 10).>

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
احتمالية ضرر النبات كبيرة جدا	يمكن تطبيقه على الأراضي الرملية جيدة الصرف. ويجب استخدام مياه ذات جودة عالية				يمكن تطبيقه على الأراضي الرديئة الصرف (الطينية). ويمكن استخدام مياه أقل جودة.				يمكن إضافته لجميع أنواع التربة بأمان	

ويلاحظ أن المقصود بالمياه ذات الجودة الرديئة: اما تحتوي كلور عالي ( $Cl_2 > 50$ )  
(mg/kg) ، أو صوديوم عالي (Na > 150 mg/kg).

### 3-4- مؤشر نضوج السماد العضوي (MI) Maturity Index

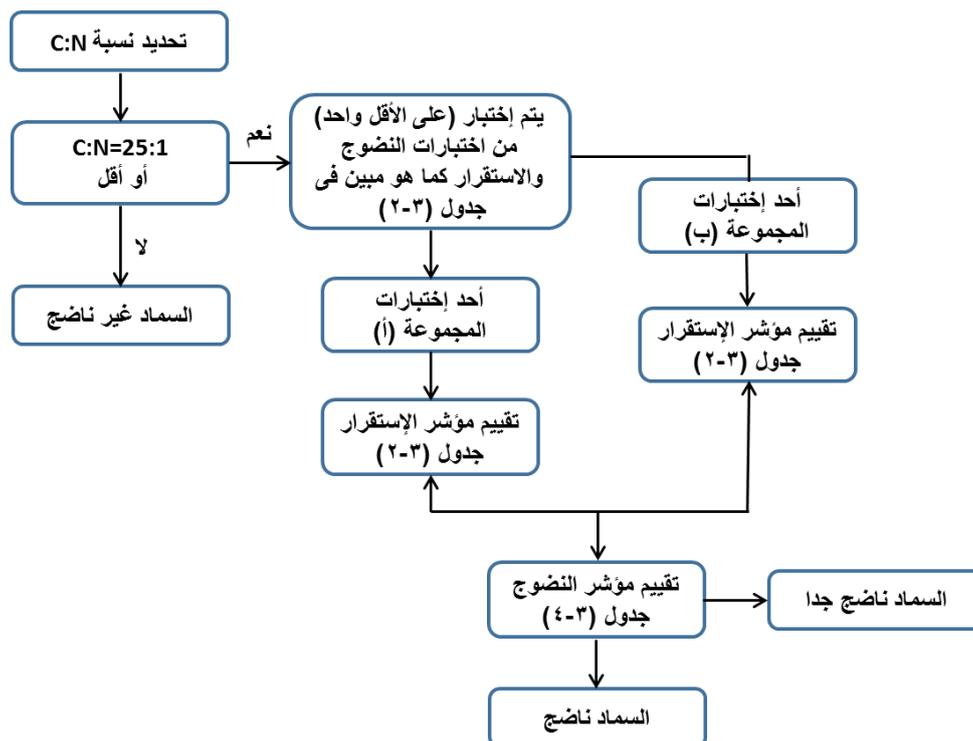
تم اعتماد هذا المؤشر من قبل CCQC (California Compost Quality Council) وهي هيئة جودة السماد العضوي في كاليفورنيا.

حيث يتم تصنيف السماد العضوي إلى ناضج جداً "Very Mature" ناضج "Mature" غير ناضج "Immature" حسب قراءة مؤشر النضوج "MI"، والجدول رقم (1-4) يوضح الفروقات بين الأصناف الثلاثة.

جدول (1-4): مؤشر تصنيف السماد العضوي. المصدر:

ناضج جداً Very mature	ناضج Mature	غير ناضج Immature
- سماد عضوي معالج جداً.	- سماد عضوي معالج.	- سماد عضوي غير معالج (مادة أولية)
- ليس هناك روائح.	- انبعاث الروائح غير محتمل.	- انبعاث روائح ممكنة.
- ليس هناك احتمالية للسمية.	- احتمالية السمية محدودة.	- احتمال السمية للنبات عالي
- لا يوجد تأثير	- تأثير محدود على إتاحة نيتروجين التربة للنبات	- تأثير عالي على إتاحة نيتروجين التربة للنبات.

أما من ناحية تقييم MI (لتحديد الصنف)، فيتم ذلك عن طريق قرار بثلاث مستويات كما يبين المخطط التالي شكل (3-4):



شكل (3-4): مؤشر نضوج السماذ العضوي MI

فيتم أولاً تحديد نسبة C : N، فإذا كانت أكبر أو تساوي 1 : 25 يتم رفضها ولا نحتاج إلى التقييم لأن ذلك يعني أن السماذ العضوي غير مستقر. أما إذا كانت هذه النسبة أقل من 1 : 25 فيتم التقييم.

ثانياً: مؤشر الاستقرار (قياس النشاط البيولوجي عن طريق التنفس) جدول رقم (2-4) عمود (أ) يوضح الاختبارات المختلفة التي تحدد استقرار السماذ العضوي، ثم ثالثاً: مؤشر النضوج (احتمالية سمية السماذ العضوي للنبات) من الجدول رقم (2-4) العمود (ب) يوضح الاختبارات الشائعة التي تحدد نضوج السماذ العضوي. **(نحدد C:N ثم نختبر واحد من كل عمود)**

جدول رقم (2-4): معاملات مؤشر نضوج السماذ العضوي. المصدر:

مؤشرات النضوج (ب) (كيميائي)	مؤشرات الاستقرار (أ) (بيولوجي)
- النيتروجين بصورة أمونيا.	- معدل استهلاك الأوكسجين المحدد.
- أكبر من 100 ملجرام/كجم	- معدل انبعاث ثاني أكسيد الكربون.
- اختبار إنبات البذور (Biological Assays)	- القدرة على التسخين الذاتي (طريقة ديورد).
	- سولفيتا - ثاني أكسيد الكربون.

- الكربون المتاح للكائنات الدقيقة. - سولفيتا  $\text{NH}_3$  - Solvita.

- الأحماض الدهنية المتطايرة.

#### 4-4 مؤشرات الاستقرار للسماد العضوي Compost Stability (العمود أ من جدول رقم

(2-4

على الأقل يؤخذ واحد من اختبارات الاستقرار (جدول 2-4) ثم يجرى تقييم درجة

الاستقرار حسب الجدول (3-4):

جدول (3-4): مؤشرات الاستقرار للسماد العضوي. المصدر:

درجة الاستقرار			مؤشرات الاستقرار (مجموعة أ)
غير مستقر	مستقر	مستقر جداً	
> 10	3 - 10	< 3	معدل استهلاك الأوكسجين المحدد ( $\text{mgO}_2/\text{gOM.d}$ )
> 4	2- 4	< 2	معدل انبعاث ثاني أكسيد الكربون ( $\text{mg Co}_2\text{-c/gOM.d}$ )
< 7		7	طريقة ديورد القدرة على التسخين الذاتي
1 - 4	5 - 6	7 - 8	$\text{CO}_2$ - المجمع (طريقة سولفيتا)
> 4	2 - 4	< 2	الكربون المتاح بيولوجياً ( $\text{mgCo}_2\text{-C/ gO}_2\text{.d}$ )

لتصنيف استقرار الدبال يلزم تقدير مؤشر استقرار واحد على الأقل (العمود أ من

الجدول رقم 2-4)، ثم يتم التقييم حسبما هو وارد في الجدول رقم (3-4).

#### 5-4 تقييم النضوج Maturity Indicators (العمود ب من جدول رقم 2-4)

لتصنيف السماد العضوي حسب النضوج نحتاج إلى مؤشر تقدير نضوج واحد على

الأقل (العمود "ب" من جدول 2-4) ويتم التقييم حسبما هو وارد في جدول (4-4).

جدول (4-4): تصنيف السماد العضوي حسب النضوج. المصدر:

غير ناضج Immature	ناضج Mature	ناضج جداً Very mature	مؤشر النضوج (العمود (ب) من جدول رقم 2-3)
> 500	75 – 100	< 75	- أمونيوم NH <sub>4</sub> -N (Mg/kg dw)
> 3.0	0.5 – 3.0	< 0.5	- نسبة أمونيوم: نيتريت (بدون وحدات)
< 80	80 - 90	> 90	- نسبة الإنبات (نسبة من المقارنة)
< 85	85 - 95	95	و نسبة من المقارنة
< 80	80 - 90	> 90	الإنبات وطول الجذر (من المقارنة %)
3 - 1	4	5	أمونيا NH <sub>3</sub> (صرف لطريقة سولفيتا NH <sub>3</sub> )
> 1000	200 – 1000	< 200	أحماض دهنية متطايرة (m moles / g dw)

تتم عملية تقييم نضوج السماد العضوي بناءً على ثلاث اختبارات على الأقل كما أوضح سابقاً.

والمصفوفة التالية توضح جميع الاحتمالات التي يمكن أن يقع فيها السماد العضوي بعد معرفة المؤشرات المطلوبة (مجموعة أ & مجموعة ب)

غير ناضج	ناضج	ناضج جداً	
		ناضج جداً	مستقر جداً
	ناضج		مستقر
غير ناضج			غير مستقر

#### 4-6- المؤشرات التشغيلية:

درس كثير من الباحثين إنتاج السماد العضوي Compost كعملية محكومة بعدة عوامل من أهمها ما ورد في (Haug 1993) على أن أهم هذه العوامل:

- المادة الصلبة المتطايرة.

- درجة الحرارة.
- التهوية.
- المحتوى الرطوبي.
- الأس الحامضي pH.
- العناصر الغذائية.
- نسبة الكربون للنيتروجين C:N.
- الوقت.
- اللقاح.
- المسامية، والفراغات الهوائية.

وللحصول على منتج نهائي ذو جودة عالية " سمد عضوي " يجب أن تؤخذ بالاعتبار العوامل السابقة وتكون عند حدها الأمثل أثناء التشغيل.

#### 4-6-1- المادة الصلبة المتطايرة (Volatile Solid)

يمكن اعتبار المادة الأولية الداخلة في إنتاج السماد العضوي على أنها أي مادة عضوية المنشأ ويتضمن ذلك: المخلفات الحيوانية (فرشة الحيوانات أو الطيور)، المخلفات العضوية الصناعية، أو المخلفات الزراعية أو المخلفات البلدية العضوية. الطاقة المخزنة في هذه البقايا العضوية هي المحرك الرئيس أو القوة الدافعة لعملية إنتاج السماد العضوي ، تحت ظروف تشغيل قياسية، فإن الطاقة المتوفرة في المادة العضوية ومعدل إنتاجيتها (availability) للميكروبات تعتمد على نوع البقايا، فمثلاً: وجد أن معدل إنتاج ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) لبقايا عضوية متحللة يقع بين 0.1 – 0.4 (ملمول CO<sub>2</sub>/ يوم. جرام مادة صلبة متطايرة)، فيما كان نفس المعدل يقع بين 1 - 5 (ملمول CO<sub>2</sub>/ يوم

جرام مادة صلبة متطايرة) لبقايا عضوية في بداية التحلل، الجدول (3-5) يوضح نسبة المادة المتطايرة الصلبة لبعض البقايا الزراعية.

جدول (4-5) نسبة المادة الصلبة المتطايرة لبعض البقايا الزراعية. المصدر:

المادة	%VS (DM)	معدل C : N	المرجع
بقايا نباتية			
البرسيم	72.6	46.8	ASAE (1999)
قصب الشعير	68.8	46.8	ASAE (1999)
قصب القمح	71.3	72	ASAE (1999)
قصاصه نحيل	85	20	Palmisano&Barlaz (1996)
أوراق شجر	90.2	80-40	Palmisano&Barlaz (1996)
أوراق وسيقان نبات البطاطس	71.5	25	Rynkeral (1992)
الكبسة الناتجة عن تنظيف وتقطيع درنات البطاطس	91.1	28.1	Rynkeral (1992)
بقايا نبات الطماطم	92.0	18-10	Rynkeral (1992)
المخلفات الحيوانية			
فرشة طيور مع نشارة خشب	69.2	9	Flynn and Wood (1996)
أبقار	83.3	173	ASAE (1999)
خيول	66.7	25	ASAE (1999)
أغنام	83.6	17	ASAE (1999)
أخشاب			
نشارة خشب	96.1	278.7	Rynk et al (1992)

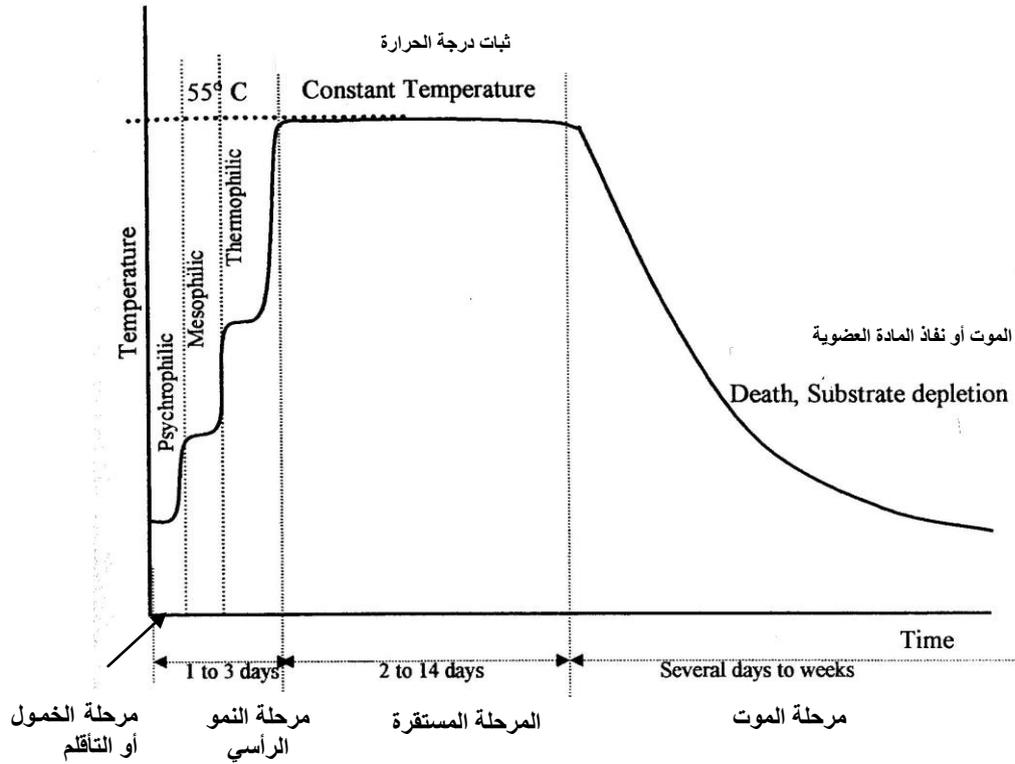
#### 4-6-2- درجة الحرارة (Temperature)

تلعب درجة الحرارة دور مهم خلال إنتاج السماد العضوي، فدرجة الحرارة العالية مهمة للتخلص من الكائنات المسببة للأمراض سواءً الحيوانية أو النباتية، بذور الحشائش، وكذلك مهمة في زيادة معدل التحلل البيولوجي، وإزالة الرطوبة وبالتالي استقرار وجود المنتج النهائي. تتم عملية إنتاج السماد العضوي في ثلاث مناطق لدرجات الحرارة يُرجع إليها:

1. منطقة السيكروفلك (10 – 20°م) وتسيطر فيها مجموعة الميكروبات المحبة لدرجات الحرارة الباردة.

2. منطقة الميزوفلك وتسيطر فيها الميكروبات المحبة لدرجات الحرارة المتوسطة (15 – 45°م)،

3. منطقة الثرموفلك وتسيطر فيها الميكروبات المحبة لدرجات الحرارة العالية (35-55°م) كما هو موضح في شكل (4-4):



شكل (4-4): مناطق درجات الحرارة لنشاط البكتيريا لإنتاج السماد العضوي. المصدر:

وإذا سمح لدرجة الحرارة بالارتفاع إلى أعلى من الحد الأقصى لدرجة الحرارة المفضلة لميكروبات الثرموفلك فإن مجموعات بسيطة من البكتيريا المحبة لدرجات الحرارة العالية جداً (إكستريموفلك : Extremophilic) سوف تسيطر على كتلة المادة العضوية وتتم عملية التحلل، إلا أن عملية إنتاج السماد العضوي يجب أن لا تصل إلى هذا الحد لأن ذلك يؤدي إلى حصر عملية التحلل بمجموعة بسيطة من الميكروبات.

وتعتبر درجة الحرارة في كتلة السماد العضوي دالة في معدل انبعاث الحرارة ومعدل الفقد الحراري للمحيط، فدرجة الحرارة هي نتيجة للنشاط الميكروبي وكذلك محدد له. فمعدل النشاط الإنزيمي ومعدل النمو عادة تتضاعف مع كل زيادة في درجة الحرارة بمقدار 10°م حتى تصل إلى الحد الأعلى لدرجة الحرارة المثلى للميكروب عندما تبدأ مجاميع الميكروبات بالحساسية لهذه الحرارة فتصبح محدداً لنموها وبالتالي موتها.

فتبدأ عملية إنتاج السماد العضوي عادة بالسيكروفلوك إذا كانت درجة حرارة المخلوط أقل من 20°م. ومع بداية عملية التحلل يبدأ انبعاث الحرارة كنتاج تحلل والذي يرفع بدوره درجة حرارة الوسط حتى تصل إلى الدرجة المناسبة لنمو الميكروبات من النوع ميزوفلوك وتستمر عملية التحلل حتى تصل إلى مدى الثرموفلوك حتى نفاذ المادة العضوية المتحللة على المدى القصير عندها تقل الحرارة الناتجة (المنبعثة) فتقل درجة حرارة الوسط لتصل إلى الميزوفلوك مرة أخرى لتستمر عند ذلك حتى مرحلة النضوج.

وبالرغم من أن درجة الحرارة أكثر من 55°م مفضلة للقضاء على الكائنات الحية المسببة للأمراض وبذور الحشائش، إلا أن مجاميع الميزوفلوك هي الأفضل في عملية التحلل.

#### 4-6-3- التهوية (Ventilation)

في بداية مرحلة إنتاج السماد العضوي " المرحلة النشطة" تستهلك الميكروبات كمية كبيرة من الأوكسجين فخلال بداية المرحلة النشطة تستهلك المواد المتاحة والسهلة التحلل من المادة الأولية، ولذلك تكون الحاجة للأوكسجين كبيرة لإتمام عملية التحلل الهوائي وتكون الحرارة المنبعثة كبيرة، وبعد ذلك تنخفض درجة الحرارة وينخفض معها معدل استهلاك الأوكسجين مع تقدم عملية التحلل واستنفاد العناصر المتاحة في المدى القصير. ومن ذلك نستنتج أنه في حالة محدودية الأوكسجين فإن عملية التحلل الهوائي كلها تتم بصورة بطيئة. كثير من الباحثين حددوا تركيز الأوكسجين 5% كنسبة دنيا في الفراغات الهوائية بين الجزيئات لكي تتم عملية التحلل هوائياً.

وتتم عملية التهوية لثلاثة أسباب:

1- التخلص من الحرارة الزائدة والتحكم في درجة حرارة الوسط في الحدود المثلى.

2- للتخلص من الرطوبة الزائدة.

3- لتوفير الأوكسجين لإتمام عملية التحلل الهوائي.

معدل التهوية المطلوب للتحكم بدرجة الحرارة يفوق بكثير المعدل المطلوب لتوفير الأوكسجين وكذلك اللازم للتخلص من الرطوبة الزائدة، ولذلك عادة ما يؤخذ هذا المعدل بالاعتبار دون المعدلات الأخرى.

في تجربة للحصول على المعدل الأمثل لمعدل التهوية للتحكم بدرجة الحرارة قام Hwang (1997) باستخدام معدل تهوية ثابت، ارتفعت درجة الحرارة حتى وصلت 70°م بعد يوم واحد، بعدها انخفض سريع لدرجات الحرارة وذلك نتيجة لوصول الميكروبات للحد الأعلى من درجات الحرارة المثلى، ولكن ولنفس المادة الأولية وباستخدام معدلات أخرى حيث تم التحكم بدرجة حرارة المخلوط عند 50 و 60°م تمت المحافظة على درجة الحرارة العليا لمدة 10 أيام و 20 يوم على الترتيب.

جاء في (Haug (1993) بأن معدل التهوية بالمتوسط يؤخذ (56.6 م<sup>3</sup>/ساعة. طن مادة صلبة). والحد الأعلى للتحكم بدرجة الحرارة على أنه (141.6 م<sup>3</sup>/ساعة. طن مادة صلبة). وهذا تقريباً ما تتبعه معظم التصميمات لنظم التهوية، حيث يزود نظام التهوية بمجسات لدرجة الحرارة ليتم التحكم بها. وكان هناك جدل حول درجة حرارة التصميم إلا أنه من ناحية أمان (صحية) المنتج النهائي فمعظم المنتجين يفضلون 55-65°م كنقطة يتم عندها استخدام درجة حرارة التهوية الأعلى.

#### 4-6-4- المحتوى الرطوبي (Moisture Content)

تعتبر الرطوبة من أهم العوامل التشغيلية لإتمام عملية إنتاج السماد العضوي، فالماء يوفر الوسط اللازم لإتمام التفاعلات الكيميائية وانتقال العناصر ويسمح بحركة الميكروبات. ونظرياً النشاط البيولوجي الأمثل يتم عندما يكون الوسط مشبع بالماء 100% ولكن يجب أن لا يتعدى المحتوى الرطوبي الحد الذي تمتلئ عنده الجيوب الهوائية بالماء على حساب الهواء اللازم أيضاً لإتمام عملية التحلل الهوائي، فالنشاط الميكروبي يصبح محدداً بانخفاض المحتوى الرطوبي عن 40% ويتوقف تماماً عندما يصل المحتوى الرطوبي لـ 8-12%. تحديداً يجب أن يحافظ على محتوى رطوبي بين 50 - 65% للمادة الأولية لضمان إتمام عملية إنتاج السماد العضوي بدون أن تصبح الرطوبة عامل محدد لعملية التحلل البيولوجي خلال الفترة النشطة الأولى.

#### 4-6-5- حموضة الوسط (pH)

يعبر عن حموضة الوسط بالرقم الهيدروجيني (pH). تعتبر الميكروبات التي تقوم بعملية إنتاج السماد العضوي غير حساسة لـ pH، ويرجع ذلك بنسبة كبيرة إلى النوعية

الكبيرة من الميكروبات التي تقوم بعملية التحلل و التي تعمل في نطاق واسع من حموضة الوسط. حموضة الوسط المفضلة تقع في المدى من 6.5 – 8.5. إلا أن pH يصبح مهم عندما يتم التعامل مع مواد ذات محتوى نيتروجيني عالي. حيث وجد أن  $pH > 8.5$  يشجع على تحويل مركبات النيتروجين إلى أمونيا والتي تزيد بدورها من قلوية الوسط. ووجد Sasaki *et al* (2003) أن  $pH > 8.0$  يزيد من انبعاث الأمونيا ( $NH_3$ ) والذي يتميز برائحة مزعجة للعاملين والمحيطين وكذلك فشل النظام للوصول إلى درجة حرارة الثرموفلك ، كذلك  $pH < 5.0$  قد يكون عامل محدد للنشاط الميكروبي ويحد من نمو بعض الأنواع، مما قد يزيد من وقت التأقلم (lag phase)، وعلى أية حال فقيمة pH تتغير خلال عملية إنتاج السماد العضوي لأنه في البداية تقوم الميكروبات بتحليل المادة العضوية وتنتج مؤقتاً بعض الأحماض العضوية والتي تخفض قراءة pH ، إلا أن الميكروبات نفسها تقوم باستهلاك الأحماض العضوية مما يزيد من قراءة pH مرة أخرى. وبغض النظر عن البداية، السماد العضوي المستقر (الناضج) سوف يكون له pH متعادل أو يميل للقلوي.

#### 4-6-6- العناصر الغذائية (Nutrients)

تحتاج الميكروبات التي تقوم بتحليل المادة العضوية إلى مصدر طاقة تتمثل بالكربون المطلوب لبناء خلايا جديدة، وعناصر غير عضوية (غذائية) كالنتروجين N ، الكبريت S، الفسفور P، البوتاسيوم K ، المغنسيوم Mg ، الكالسيوم Ca ، الحديد Fe، الصوديوم Na ، والكلور Cl، وكذلك يحتاج للعناصر النادرة كالزنك Zn والمنجنيز Mn ، الموليبدونوم Mo ، السيلينيوم Se ، الكوبلت Co ، النحاس Cu، والنيكل Ni والتانجستين W. كما يحتاج بالإضافة إلى ذلك بعض العناصر العضوية المغذية المهمة كالفيتامينات والأحماض الأمينية وغيرها. ويعتبر النيتروجين N والفسفور P والبوتاسيوم K العناصر الأساسية للنبات (العناصر السمادية) وتركيزها في المنتج النهائي يؤثر على جودة ونوعية السماد العضوي. وتحتوي المواد العضوية الأولية على قدر كاف من هذه العناصر بما فيها مخلفات الحيوانات والنباتات ولا تشكل في العادة اية مشكله باستثناء زيادة أو نقص الكربون أو النيتروجين تحديداً والذي يؤثر على استمرار عملية إنتاج السماد العضوي (التحلل البيولوجي).

#### 4-6-7- نسبة عنصر الكربون إلى النيتروجين (C : N Ratio)

على وجه العموم، الكائنات الحية بما فيها الإنسان تحتاج إلى 25 جزء كربون لكل جزء واحد من النيتروجين، ولذلك فإنه من المهم توفير عنصر الكربون والنيتروجين في نسب متوافقة ومناسبة وهذا التوازن سيسمح بتوازن العناصر الأخرى. فتخلط المواد الأولية لتعطي نسبة كربون إلى نيتروجين في المدى 1:25 - 30 : 1 حيث يعتبر ذلك هو الأمثل بيولوجياً للحصول على نمو ميكروبي نشط. فإذا كانت نسبة الكربون : النيتروجين أقل من 20:1 فإن الكربون المتاح سيستهلك بالكامل بواسطة الميكروبات قبل أن يستهلك كامل النيتروجين، والنيتروجين الزائد ربما يفقد للهواء الجوي كأمونيا أو أكاسيد نيتروجين، والروائح قد تكون مشكلة. كذلك المخلوط الأولي بـ الكربون إلى النيتروجين عالي كنسبة 40 : 1 سيتطلب وقت أطول لكي تستهلك الميكروبات الكربون الزائد. نسبة الكربون إلى النيتروجين تنخفض خلال عملية إنتاج السماد العضوي نتيجة لفقد الكربون من المادة الأولية على صورة ثاني أكسيد كربون وكذلك النيتروجين. ولكن كمية الكربون المفقودة تتجاوز النيتروجين وبالتالي فنسبة الكربون إلى النيتروجين ستتناقص مع الزمن، إلا أنه إذا كانت نسبة الكربون إلى النيتروجين منخفضة في البداية (نيتروجين أكثر) فإن الفقد بالنيتروجين قد يكون أكثر بدرجة لا تسمح بانخفاض الكربون إلى النيتروجين بدرجة ملحوظة خلال زمن الإنتاج (السماد العضوي). يوضح الجدول (4-6) بعض نسب الكربون : النيتروجين لبعض المخلفات الزراعية.

جدول (4-6) تقدير نسبة الكربون إلى النيتروجين لبعض المواد الزراعية. المصدر:

C/N ratio	المخلف (أخضر اللون)	C/N ratio	المخلف (بني اللون)
12:1	Alfalfa	25:1	خشب ورماد
23:1	Clover	350:1	Cardboard, shredded
20:1	Coffee grounds	75:1	Corn stalks
20:1	Food waste	35:1	مخلفات فاكهة
30:1	Garden waste	60:1	أوراق

20:1	Grass clippings	175:1	Newspaper, shredded
25:1	Hay	35:1	Peanut shells
15:1	Manures	80:1	Pine needles
19:1	Seaweed	325:1	نشارة الخشب
25:1	Vegetable scraps	75:1	Straw
30:1	Weeds	400:1	رقائق الخشب

#### 4-6-8- الوقت (Time)

طول الوقت المطلوب لتحويل المادة الأولية (غير المستقرة) إلى سماد عضوي يعتمد على مدى مناسبة العوامل التشغيلية كما ذكر سابقاً، وأهمها درجة الحرارة، الرطوبة، التهوية و المتطلبات الغذائية. حيث يطول ويقصر الوقت اللازم لإتمام عملية إنتاج السماد العضوي بحسب قربها وبعدها عن المدى الأمثل. من أهم العوامل المحددة التي تطيل فترة التحلل هي: المحتوى الرطوبي المنخفض، نسبة الكربون إلى النيتروجين المرتفع، درجة الحرارة المنخفضة، التهوية الفيزيائية، جزيئات المادة الأولية الكبيرة و النسبة العالية من المادة المقاومة للتحلل البيولوجي (كالمواد الخشبية) والجدول (4-7) يوضح الوقت الموصى به حسب نظام الإنتاج ونوع المادة الأولية.

جدول (4-7): الوقت الموصى به حسب نظام الإنتاج ونوع المادة الأولية. المصدر:

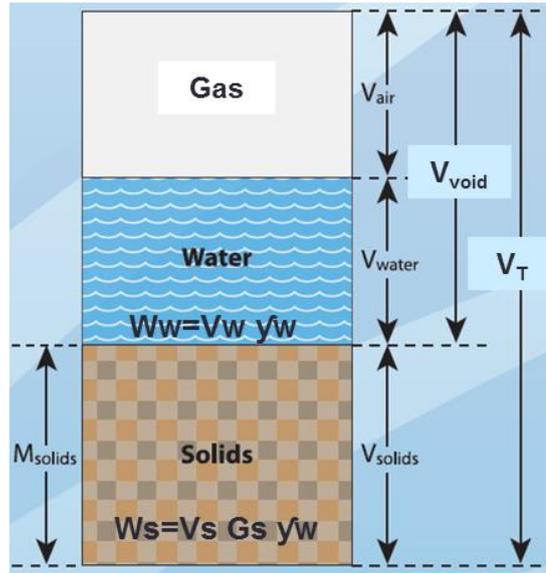
مرحلة المعالجة (يوم)	المرحلة النشطة (يوم)		المادة الأولية	نوع النظام
	المتوسط	من الى		
60 - 30	150	180 - 120	فرشة حيوان	صفوف هوائية مع التقلب
60 - 30	75	80 - 70	فرشة حيوان	صفوف هوائية بالتهوية
60 - 30	28	35 - 21	حمأة مع نشارة خشب	صفوف هوائية بالتهوية
60 - 30	21	28 - 14	حمأة، بقايا نباتات	أنفاق بأرضيات متحركة
60	6	8 - 3	مخلفات بلدية عضوية صلبة أو حمأة	حاويات دوارة

### 3-6-9- اللقاح (Inoculum)

وقد ذكر هوج سنة 1993 أن تلقيح الخليط الأولى بسماد عضوي أو تربة يزيد من عدد الميكروبات النافعة، إلا أن المادة الأولية غير المعقمة أو غير الملوثة بمواد سامة تمنع وجود الميكروبات قد لا تحتاج إلى تلقيح، فإعداد الميكروبات مناسبة لبداية عملية إنتاج السماد العضوي وعلى أية حال يعطي من 5 – 15% من حجم اللقاح وخاصة مع المادة الأولية المعقمة.

### 4-6-10- المسامية و الفراغات الهوائية (Porosity & Free Airspace)

يمكن وصف خليط السماد العضوي على أنه خليط مكون من ثلاث أشياء هي الجزء الصلب، الماء، الغاز، كما في شكل (4-5).



شكل (4-5): مكونات خليط السماد العضوي. المصدر:

المسامية ( $\eta$ ): تعرف مسامية كتلة السماد العضوي على أنها نسبة حجم الفراغات الهوائية إلى الحجم الكلي وبالتالي:

$$\eta = V_v / V_t = \text{Porosity} \quad (2)$$

حيث:

$\eta$  = المسامية، نسبة (كسر عشري)

$V_v$  = حجم الفراغات الهوائية، وحدة حجم، وتشمل المملوء بالماء والغاز.

$V_t$  = الحجم الكلي، نفس وحدة الحجم.

ونعلم بأن:

$$V_v = V_t - V_s \quad (3)$$

حيث:

$$V_s = \text{حجم الجزء الصلب}$$

بالتعويض (2) في (1):

$$\eta = (V_t - V_s)/V_t = 1 - (V_s/V_t) \quad (4)$$

ونعلم بأن:

$$V_s = \delta_m \times S_m \quad (\text{gm/cm}^3) \quad (5)$$

حيث:

$\delta_m$  = كثافة مخلوط السماد العضوي، وزن رطب لوحدة الحجم.

$S_m$  = نسبة المواد الصلبة (TVS) في المخلوط (%).

وكذلك:

$$V_t = G_m \rho_m \quad (\text{gm/cm}^3) \quad (6)$$

حيث:

$G_m$  = الكثافة الحجمية للمخلوط الصلب.

$$\rho_m = \text{كثافة الماء (جم/سم}^3\text{)}$$

لتصبح معادلة (4) كما يلي:

$$\eta = 1 - \frac{\delta_m S_m}{G_m \rho_m} \quad (7)$$

وكذلك فإن حجم الفراغات المتاحة (FAS) (Free Air Space) تعرف على أنها نسبة

حجم الغاز إلى الحجم الكلي.

$$FAS = V_g/V_t \quad (8)$$

حيث:

$V_g$  = حجم الغاز في المخلوط.

$$FAS = (V_t - V_s - V_w) / V_t \quad (9)$$

حيث:

$$V_w = \text{حجم الماء في المخلوط}$$

$$FAS = \frac{V_t}{V_t} - \frac{V_s}{V_t} - \frac{V_w}{V_t} \quad (10)$$

$$\frac{V_s}{V_t} = \frac{\delta_m S_m}{G_m \rho_m}, \quad \frac{V_w}{V_t} = \frac{\delta_m (1 - S_m)}{G_m \rho_m}$$

$$FAS = 1 - \frac{\delta_m S_m}{G_m \rho_m} - \frac{\delta_m (1 - S_m)}{\rho_m} \quad (11)$$

ويجب أن نذكر هنا أن المحتوى الرطوبي للمخلوط يؤثر تأثيراً مباشراً على إتاحة الهواء في الفراغات الهوائية في المخلوط. ووجد كثير من الباحثين أن المحتوى الرطوبي الأمثل للمخلوط يقع في حدود (30 – 35%) (FAS) ويجب أن لا يقل عن 30%.

ويجب العلم بأن الشكل السابق هو فقط للتوضيح، ولا يمكن الفصل بين هذه الأجزاء كما هو بالشكل، وكما هو واضح من الشكل أعلاه فالحجم الكلي ( $V_t$ ) يتكون من جزئين، حجم المواد الصلبة ( $V_s$ ) وحجم الفراغات البينية ( $V_v$ ) والذي يقسم إلى جزئين هما حجم الماء ( $V_w$ ) وحجم الغاز ( $V_g$ ).

الوزن النوعي Specific gravities للمادة الصلبة دالة في مكونات المادة الصلبة، فإذا كان الوزن النوعي ( $G_v$ ) للمادة الصلبة المتطايرة وكذلك الوزن النوعي ( $G_f$ ) للرماد معلوم فإنه يمكن حساب ( $G_m$ ) الوزن النوعي للمادة الصلبة الكلية كما يلي:

$$\frac{1}{G_m} = \frac{V_s}{G_v} + \frac{(1 - V_s)}{G_f} \quad (1)$$

حيث:

$$G_m = \text{الوزن النوعي للمادة الصلبة الكلية.}$$

$$G_v = \text{الوزن النوعي للمادة الصلبة المتطايرة، عادة } = 1.$$

$$G_f = \text{الوزن النوعي للرماد، عادة } = 2.5.$$

#### مثال (1-4)

حمأة عضوية تم نزع الماء منها حتى (30% مادة صلبة) وتم خلطها مع سماد عضوي ناضج لتعطي مخلوط نهائي عند 45% مادة صلبة. بافتراض حجم المادة الصلبة المتطايرة 50% ، كثافة المخلوط الرطب 0.85 جم/سم<sup>3</sup>. احسب المسامية وكذلك FAS للمخلوط.

#### الحل:

$$\frac{1}{G_m} = \frac{V_s}{G_v} + \frac{(1 - V_s)}{G_f}$$

$$\frac{1}{G_m} = \frac{0.5}{1} + \frac{(1 - 0.5)}{2.5} = \frac{0.5}{1} + \frac{0.5}{2.5} = 0.7$$

$$G_m = 1.43$$

مسامية المخلوط:  $\delta_m$

$$\eta = 1 - \frac{\delta_m S_m}{G_m \rho_m} = 1 - \frac{0.85(0.45)}{1.43(1)} = 0.73$$

لحساب FAS من المعادلة:

$$FAS = 1 - \frac{\delta_m S_m}{G_m \delta_m} - \frac{\delta_m (1 - S_m)}{\delta_m} = 1 - \frac{0.85(0.45)}{1.43(1.00)} - \frac{0.85(1 - 0.45)}{1.00} = 0.27$$

الحجم والوزن لمخلوط السماد العضوي يمكن حسابه كما يلي:

$$V_g = FAS = 0.27 \quad (\text{غاز})$$

$$W_w = \delta_m (1 - S_m) = 0.85 (1 - 0.45) = 0.46 \text{ g/cm}^3 \quad (\text{ماء})$$

$$V_w = W_w / \delta_m = 0.46 / 1.00 = 0.46$$

$$W_s = \delta_m S_m = 0.85 (0.45) = 0.38 \text{ g/cm}^3 \quad (\text{صلب})$$

$$V_s = \left( \frac{W_s}{G_m \rho_m} \right) = \frac{0.38}{1.43(1.00)} = 0.27$$

$$\therefore V_t = V_g + V_w + V_s = 0.27 + 0.46 + 0.27 = 1.00$$

#### مثال (2-4):

منطقة نفايات تحتوى على عشب وأوراق نباتات يراد تحويلهما الى سماد كومبوست بطريقة هوائية. نسبة المادة الصلبة المتطايرة للمخلفات المخلوطة 80% (VS=80%) بنسبة تحلل 50%. المحتوى الرطوبى الابتدائى فى المخلوط الأولى تم ضبطه على 50%. فإذا كانت كثافة المخلوط الأولى 0.65 جم/سم<sup>3</sup>، (Unit weight=0.65 g/cm<sup>3</sup>) احسب المسامية وكذلك حجم الفراغات المتاحة للمخلوط أثناء تكون الكومبوست.

#### الحل

$$\eta = 1 - \frac{\delta_m S_m}{G_m \rho_m}$$

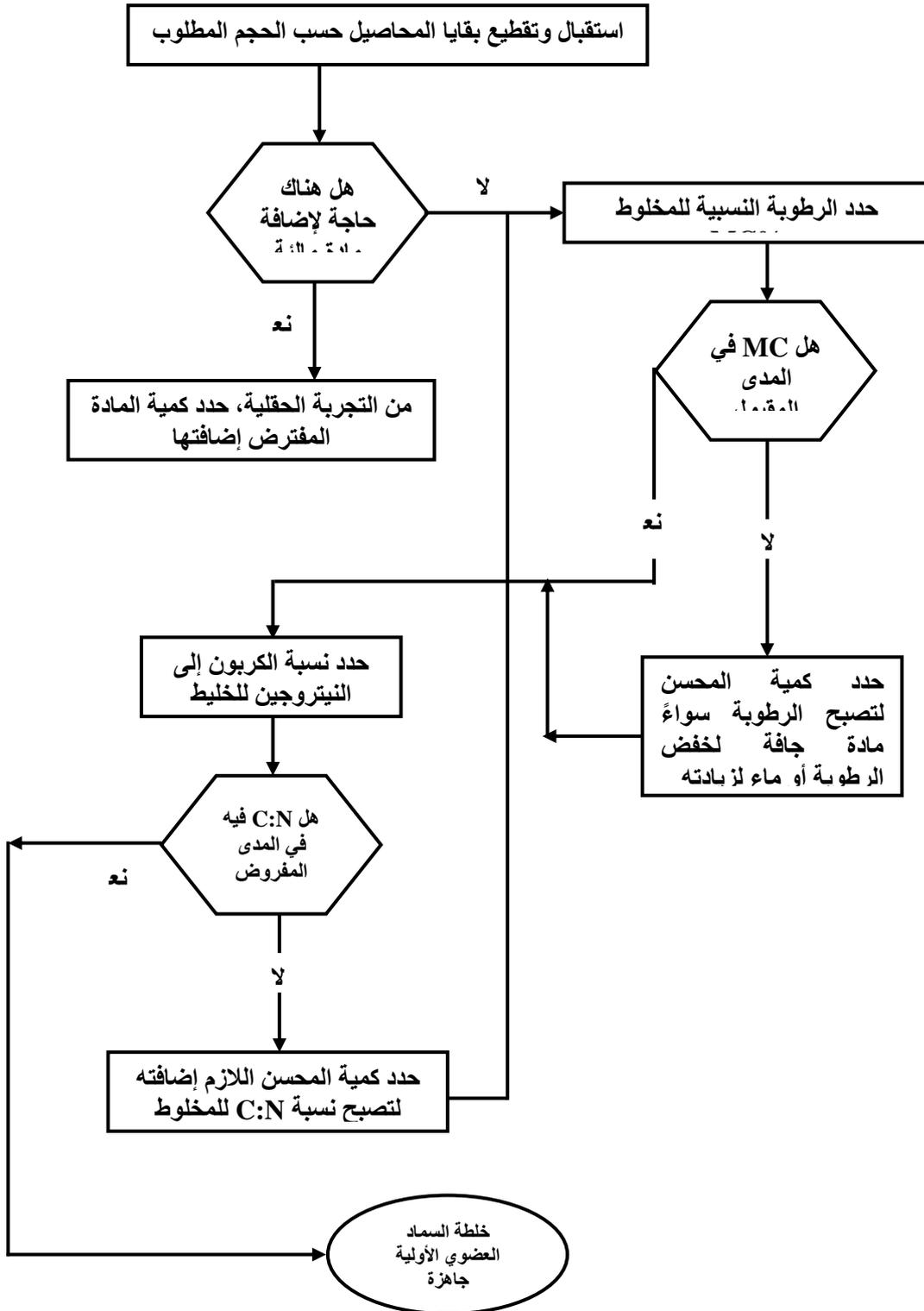
$$\frac{1}{G_m} = \frac{V_s}{G_v} + \frac{(1 - V_s)}{G_f}$$

$$\frac{1}{G_m} = \frac{0.8}{1} + \frac{(1 - 0.8)}{2.5} \quad G_m = 3.57$$

$$\eta = 1 - \frac{0.65 \times 0.5}{3.57 \times 1} = 0.91$$

$$FAS = 1 - \frac{\delta_m S_m}{G_m \rho_m} - \frac{\delta_m (1 - S_m)}{\rho_m} = 0.91 - \frac{0.65(1 - 0.5)}{1} = 0.585$$

## Compost Mixture design Process تصميم المخلوط الأولي لإنتاج السماد العضوي:



شكل (4-5): تصميم المخلوط الأولي لإنتاج السماد العضوي. المصدر:

1- يتم تحديد المحتوى الرطوبي لكل مكوّن من مكونات المخلوط الابتدائي (%) كما يلي:

أ – يوزن الوعاء الفارغ المستخدم لتحديد المحتوى الرطوبي.

ب – يؤخذ تقريباً 10 جرام من العينة المراد تحديد رطوبتها كما هي وتوضع في الوعاء السابق.

ج – تجفف بواسطة وضعها في فرن (هواء قسري) عند درجة حرارة  $70 \pm 5^\circ\text{C}$  لمدة 18-24 ساعة حتى يكون التغيير في الوزن ثابت.

د – توضع العينة مع الوعاء في ديسيكيتز (لكي تمنع اكتسابها رطوبة من المعمل) لكي تبرد حتى درجة حرارة المعمل.

هـ - توزن العينة التالية لتحديد نسبة الرطوبة المزالة من العينة مع الوعاء وتسجل وزن العينة الجافة بعد خصم وزن الوعاء، ثم تطبق في المعادلة التالية:

$$M_c = \frac{W_w - W_d}{W_w} \times 100 \% \text{ للمحتوى الرطوبي للعينة}$$

حيث:

$$W_w = \text{الوزن الرطب}$$

$$W_d = \text{الوزن الجاف}$$

### مثال (3-4)

عينة من بقايا نباتات وزنها الابتدائي  $(W_w) = 10$  جرام وضعت في وعاء وزنه (4 جرام) وضعت بالفرن لمدة 24 ساعة عند درجة حرارة  $70 \pm 5^\circ\text{C}$ ، ثم أعيد وزنها حيث وجد أنه يساوي 6.3 جرام أحسب المحتوى الرطوبي لبقايا النباتات.

### الحل

$$W_w = 10 \text{ g}$$

$$W_d = 6.3 - 4 = 2.3 \text{ g}$$

$$M_c = \frac{10 - 2.3}{10} \times 100 = 77\%$$

2- تحديد رطوبة المخلوط الابتدائي الأولية : معظم المراجع في هذا المجال توصي بأن تكون هذه الرطوبة في حدود 40 – 60 % معتمداً على نوعية المادة وإمكانيتها لامتناس

الماء، فكلما كانت المادة لها قابلية لامتصاص الماء كلما زاد المحتوى الرطوبي الابتدائي لها، على أي حال نحن نبتعد عن وجود الماء الحر، ونظرياً نطبق قاعدة "الإسفنج المبلول" أي مشبع بالماء بدون وجود ماء حر.

3- في هذه الخطوة يتم تحديد مكونات المخلوط الأولية للحصول على المحتوى الرطوبي الهدف من الخطوة 2، والمعادلة العامة لتحقيق ذلك هي:

$$G = \frac{(Q_1 \times M_1) + (Q_2 \times M_2) + \dots + (Q_n \times M_n)}{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}$$

حيث:

$G$  = المحتوى الرطوبي الهدف %

$Q_n$  = كتلة المكون  $n$  كما هي

$M_n$  = المحتوى الرطوبي للمكون  $n$

باستخدام طريقة المحاولة والخطأ حتى تصل إلى النسب الصحيحة التي تؤدي إلى تحقيق المحتوى الرطوبي المطلوب للمخلوط، طبقاً لمخلوط مكون من مادتين العملية الحسابية تصبح أبسط حيث يكون مجهول واحد في المعادلة يمكن حسابه بسرعة مع ملاحظة أن الرطوبة الهدف ستكون في مدى واقع بين المحتوى الرطوبي للمكونات.

#### مثال (4-4)

(مادة 1) وزنها 10 كجم عند رطوبة 77% يراد خلطها مع أوراق جافة (مادة 2) عند رطوبة (35%) ليصل المخلوط الأولى لمحتوى رطوبي 60%، أحسب وزن الأوراق الجافة (مادة 2) المفترض إضافتها لخفض رطوبة المخلوط إلى 60%.

$$G = \frac{(Q_1 \times M_1) + (Q_2 \times M_2)}{Q_1 + Q_2}$$

$$60 = \frac{(10 \times 77) + Q_2 \times 35}{10 + Q_2}$$

$$600 + 60Q_2 = 770 + 35Q_2$$

$$Q_2(60 - 35) = 770 - 600 = 170$$

$$Q_2 = \frac{170}{25} = 6.8 \text{Kg}$$

وكذلك المخلوط من 3 مواد يمكن تحديده، ولكن يجب طبعاً تحديد كميات مخلوطيين وثلاثة محتويات للرطوبة ومن ثم تحديد كمية المخلوط الثالث بالطريقة السابقة.

4- بعد تحديد المخلوط الأولي ومحتواه الرطوبي، يتم حساب نسبة الكربون : النيتروجين (C:N) ratio . عموماً النجيل وبقايا النباتات الخضراء يحتوي على نيتروجين عالي وبالتالي نسبة C/N صغيرة، أما بقايا النباتات غير الخضراء (البنية) كالأوراق والأغصان الجافة فتحتوي على نيتروجين أقل، وبالتالي نسبة الكربون: النيتروجين أعلى. فإذا كان نسبة C/N منخفضة فلن يسخن المخلوط وإذا كانت عالية فربما تكون درجة الحرارة عالية جداً مما قد يؤدي إلى قتل الميكروبات النافعة وإيقاف عملية إنتاج السماد العضوي أو ربما تتحول العملية إلى تحلل لا هوائي مما يؤدي إلى انبعاث روائح مزعجة. المدى الموصى به لبدء عملية الإنتاج هو  $C : N = 30 : 1$  ولكن قد يختلف حسب إتاحتها الكربون والنيتروجين خلال عملية التحلل العضوي للخليط.

#### 4-7- محتوى المادة العضوية من الكربون:

يتم الحصول على نسبة النيتروجين من التحليل المعلمي الشائع في معظم المختبرات لمحتويات المخلوط الأولي. أما بالنسبة لمحتوى المادة من الكربون فليس من السهل قياسه و يكون في معظم الأحوال غير موجود لإتمام حسب نسبة C/N و لكن يمكن تقديره كنسبة مئوية من محتوى المادة من نسبة المادة الصلبة المتطايرة (VS%) والتي هي في الغالب عبارة عن كربون، أكسجين، ونيتروجين والتي تحرق على شكل مادة عضوية جافة في فرن قرميد عند درجة حرارة 550°م لمدة ساعتين تاركة الرماد والذي هو في الغالب الجزء غير العضوي من المخلفات و يحتوي على المعادن مثل الكالسيوم، الماغنسيوم، الفسفور، البوتاسيوم، وعناصر معدنية أخرى لا تتأكسد.

فمعظم المواد العضوية نسبة الكربون تقع في المدى 45 – 60% من المادة الصلبة المتطايرة، بافتراض 55% يمكن تقدير نسبة الكربون في المادة العضوية بمعلومية نسبة VS أو الرماد FS.

$$\% C = \% VS / 1.8$$

$$V_s = 100 - \% FS$$

فالكربون يتحول جزء منه إلى CO<sub>2</sub> (بافتراض فقد نيتروجين محدود) فإن نسبة الكربون إلى النيتروجين تنخفض حتى تصل في نهاية مرحلة إنتاج السماد العضوي إلى 10:1.

ولحساب كمية الكربون في المادة العضوية يتم إما تحليلها معملياً أو تقديرها في حدود 5 - 10 % من المعادلة التالية:

وهو أن نسبة الكربون في الخلية الحية في أغلب المواد العضوية 55.5 من VS ، لذلك فإن:

$$\% C = VS * 0.555$$

$$VS = \%C / 0.555 = (1 / 0.555) (\% C)$$

$$(1.8\% C = VS)$$

$$\%C = VS / 1.8$$

$$\% C = \frac{100 - \%FS}{1.8}$$

حيث:

الرماد : FS (Fixed Solid)

$$\%VS = 100 - FS$$

( المادة الصلبة القابلة للاحتراق "المتطايرة" )

وكذلك النيتروجين أما يتم قياسه معملياً (TN) أو استخراجها من الجداول المتاحة لكثير من المواد العضوية. كما يوجد في الملحق 2 في نهاية الكتاب جداول خاصه بنسب الكربون الى النيتروجين لمختلف المخلفات الزراعيه.

عند تحديد نسبة الكربون إلى النيتروجين لكل المكونات الداخلة في المخلوط الأولي يمكن تحديدها للمخلوط ككل كما يلي:

$$R = \frac{Q_1(C_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(C_2 \times (100 - M_2)) + Q_3(C_3 \times (100 - M_3))}{Q_1(N_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(N_2 \times (100 - M_2)) + Q_3(N_3 \times (100 - M_3))}$$

حيث:

R = نسبة الكربون إلى النيتروجين للمخلوط الأولي.

Q<sub>1</sub> = كمية المادة 1 كما هي (رطوبة)

C<sub>1</sub> = نسبة الكربون في مادة رقم (1)

$M_1 =$  المحتوى الرطوبي للمادة رقم (1)

$N_1 =$  نسبة النيتروجين في مادة (1).

ويمكن حل المعادلة السابقة بسهولة لمخلوطين أحدهما معلوم الكمية وجميعهم معلوم الكربون و النيتروجين والرطوبة كما يلي:

$$R = \frac{Q_1(C_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(C_2 \times (100 - M_2))}{Q_1(N_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(N_2 \times (100 - M_2))}$$

وبمعلومية نسبة الكربون إلى النيتروجين الهدف والمحتوى الرطوبي للمادتين ونسبة الكربون و النيتروجين للمادتين وكذلك كمية إحدى المادتين، نستطيع تقدير الكمية الأخرى من المادة الثانية والتي تحقق توازن في نسبة الكربون إلى النيتروجين فلو افترضنا أن  $Q_1$  معلومة فإن  $Q_2$  اللازمة للتصميم تصبح:

$$Q_2 = \frac{Q_1 N_1 \left( R - \left( \frac{C}{N} \right)_1 \right)}{N_2 \left( \left( \frac{C}{N} \right)_2 - R \right)} \times \left( \frac{100 - M_1}{100 - M_2} \right)$$

#### مثال (5-4)

قصاصة نجيلية:

الكمية 10 كجم ، نسبة النيتروجين 2.4% و نسبة الكربون 45% والمحتوى الرطوبي 77% .  
أوراق جافه:

نسبة النيتروجين بها 0.75 % ونسبة الكربون 50% والمحتوى الرطوبي 35% ، فكم تكون كمية الأوراق اللازمة ( $Q_2$ ) للحصول على نسبة كربون إلى نيتروجين تساوي 30 : 1

الحل:

$$Q_2 = Q_1 \left[ \frac{R N_1 - C_1}{C_2 - R N_2} \right] \times \left( \frac{100 - M_1}{100 - M_2} \right)$$
$$= 10 \left[ \frac{30 \times 2.4 - 45}{50 - 30 \times 0.75} \right] \times \left( \frac{100 - 77}{100 - 35} \right) = 3.5 \text{ kg of leaves}$$

إذن كمية الأوراق اللازم إضافتها لتصبح نسبة الكربون إلى النيتروجين 1:30 تساوي 3.5 كجم، ولكن من المثال 3 نحن نحتاج إلي 6.8 كجم للحصول على المحتوى الرطوبي المطلوب (60%).

فلو تم إضافة الكمية اللازمة من الأوراق لضبط الرطوبة النسبية فإن نسبة الكربون إلى النيتروجين سوف ترتفع إلى أقل من 1:37 وكذلك لو تم إضافة كمية الأوراق اللازمة لضبط نسبة الكربون إلى النيتروجين فإن الرطوبة سوف ترتفع إلى حوالي 66%.

ففي هذا المثال والذي يمثل حال الواقع الممكن يجب التنويه إلى أن المحتوى الرطوبي هو العامل الأكثر أهمية لاحتمالية تحول التحلل إلى لا هوائي بسبب بعد المحتوى الرطوبي عن الحد الأعلى عن المثالي الموصى به (60%) وبغض النظر قليلاً عن نسبة الكربون إلى النيتروجين التي تجاوزت قليلاً الموصى به وإلا التفكير ببديل عن الأوراق أو خفض المحتوى الرطوبي للأوراق قليلاً حتى تصل إلى نتائج أقرب للمثلى.

#### 4-8-1- حل معادلة المحتوى الرطوبي ومعادلة نسبة الكربون إلى النيتروجين في آن واحد:

من خلفيتنا الجبرية نعلم أننا نحتاج إلى عدد معين من المعادلات لحل نفس العدد من المجاهيل. وفي هذه الحالة لدينا معادلتين (واحدة لتقدير المحتوى الرطوبي والأخرى لتقدير نسبة الكربون إلى النيتروجين) وبالتالي نستطيع حلها لإيجاد مجهولين. عادة تستخدم هذه الطريقة للحصول على حلقة أولية من عدة مواد مختلفة (ومعرفة الرطوبة، الكربون والنيتروجين لكل منهم). فإذا حددت الكميات كلها وترك مجهولين وكذلك حددت نسبة الكربون إلى النيتروجين والمحتوى الرطوبي الهدف والذي نرغب أن نصمم المخلوط الأولي بناء عليه، نستطيع حل المعادلتين لإيجاد المجهولين وهما في هذه الحالة الكميّتان المطلوبتان من مكونات المخلوط الأولي لكي نحصل على المواصفات التي نرغب فيها وهي نسبة الكربون إلى النيتروجين 1:30 والمحتوى الرطوبي 60%.

وعند اختيار أي المكونات محددة الكميات وأنها مجهول فإنه من الضروري أن نستخدم بعض البديهيات والاستدلال المنطقي، فمثلاً إذا أردنا أن نحصل على محتوى رطوبي 60% للمخلوط الأولي ونحن نريد استخدام مادة أولية عبارة عن أوراق رطبة: نشارة

خشب، نجيل وبقايا أطعمة، فمن المنطق أن نجعل كمية نشارة الخشب هي المجهولة، بسبب أن معظم المواد الأخرى ذات محتوى رطوبي أعلى من 60٪ فلا يمكن خفض المحتوى الرطوبي للمخلوط بواسطة إضافة مواد رطبة أكثر، كذلك لا يمكن رفع نسبة الكربون إلى النيتروجين بواسطة إضافة مواد ذات محتوى نيتروجيني عالي.

الملاحظة المهمة الأخرى تتعلق بالمواد الأولية الجافة، وهي تضمين المادة المستخدمه كمحسن رطوبي كأحد المجاهيل، فهي بالإضافة إلى الماء سترفع المحتوى الرطوبي للمخلوط ونسبة الكربون إلى النيتروجين من عدة طرق باستخدام الجبر الخطي أو المصفوفات، حيث تحل المعادلة الأولى لأحد المجاهيل ثم يعوض بالمعادلة الأخرى وبذلك نحصل على الحل النهائي بالشكل التالي لمخلوط أولي مكون من ثلاث مواد.

$$G = \frac{M_1Q_1 + M_2Q_2 + M_3Q_3}{Q_1 + Q_2 + Q_3} = \frac{\sum_{i=1}^{n=3} [M_i Q_i]}{\sum_{i=1}^{n=3} Q_i}$$

حيث:

$G =$  المحتوى الرطوبي الهدف (60٪)

$M_i =$  المحتوى الرطوبي

$Q_i =$  كمية المادة الأولية

$$R = \frac{Q_1(C_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(C_2 \times (100 - M_2)) + Q_3(C_3 \times (100 - M_3))}{Q_1(N_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(N_2 \times (100 - M_2)) + Q_3(N_3 \times (100 - M_3))} = \frac{\sum_{i=1}^{n=3} Q_i(C_i \times (100 - M_i))}{\sum_{i=1}^{n=3} Q_i(N_i \times (100 - M_i))}$$

$R =$  نسبة الكربون إلى النيتروجين الهدف (30 : 1)

$C_i =$  نسبة الكربون.

$N_i =$  نسبة النيتروجين.

ونائج الحل سيكون على الصورة المنظمة التالية:

$$Q_2 = \frac{A}{B} \quad \& \quad Q_3 = \frac{C}{B}$$

حيث:

$$A = Q_1[(m_1 C_3(100-m_3) - m_1 R N_3(100-m_3) - m_3 C_1(100-m_1) + R N_3(100-m_3) G - R N_1(100-m_1) G + C_1(100-m_1) G - C_3(100-m_3) G + m_3 R N_1(100-m_1)]$$

$$B = R N_2(100-m_2)G - R N_2(100-m_2) m_3 - R N_3(100-m_3) G + R N_3(100-m_3) m_2 - C_2(100-m_2) G + C_2(100-m_2) m_3 + C_3(100-m_3) G - C_3(100-m_3) m_2$$

$$C = Q_1[R N_1(100-m_1) G - R N_1(100-m_1) m_2 - R N_2(100-m_2) G + R N_2(100-m_2) m_1 - C_1(100-m_1) G + C_1(100-m_1) m_2 + C_2(100-m_2) G - C_2(100-m_2) m_1]$$

ولكي نرى كيف تعمل هذه المعادلات نأخذ مثالنا السابق المكون من نجيل، أوراق جافة، وبقايا طعام كما يوضح الجدول (7-4):

جدول (7-4): المحتوى الرطوبي ونسبة الكربون والنيتروجين لمخلوط أولي مكون من ثلاثة أصناف. المصدر:

المادة	الكمية	المحتوى الرطوبي %	نسبة الكربون %	نسبة النيتروجين %
نجيل (1)	10	77	45	2.4
أوراق جافة (2)	؟	35	50	0.75
بقايا طعام (3)	؟	80	42	5.0

الهدف: الحصول على رطوبة 60%

نسبة الكربون: النيتروجين (30: 1)

$$A = - 243,000$$

$$B = - 18,250$$

$$C = - 148,426$$

ونعلم أن:

$$Q_2 = \frac{A}{B} \quad \& \quad Q_3 = \frac{C}{B}$$

فنحصل على:

$$Q_2 = 13.31 \text{ Kg} \quad \& \quad Q_3 = 8.14 \text{ Kg}$$

فإذا خلطنا 10 كجم نجيل و 13.31 كجم من أوراق مجففة مع 8.14 كجم من بقايا طعام سيصل المخلوط الأولي في صورته النهائية إلى محتوى رطوبي 60٪، ونسبة الكربون إلى النيتروجين 30 : 1

تذكر أن المخلوط المكون من ثلاث مواد يعتمد أساساً على المكونات الثلاث الصحيحة، أما إذا كانت المواد الأولية غير مناسبة سينتج عنها كميات بالقيمة السالبة تدل على أنه لا يوجد حل.

### 3-8-2- تحديد الفقد في المادة الصلبة المتطايرة VS والمحتوى الرطوبي MC:

في الأنظمة الكبيرة يستحيل معرفة وزن المادة بعد بداية عملية التحلل، لذلك فإنه من الصعب تحديد الكمية المتحللة إلى CO<sub>2</sub> و ماء H<sub>2</sub>O. فالأنظمة المغلقة ذات نظام الخلط الجيد، نسبة الرماد، والمادة المتطايرة الصلبة، والبيانات الأولية قبل بداية التحلل نستطيع تحديد كمية المادة الصلبة المتطايرة المتبقية في الجهاز عند أي زمن من المعادلة التالية:

$$V_{SMt} = V_{SM0} \times \left[ \frac{\% Ash_0 - \% V_{St}}{\% Ash_t - \% V_{S0}} \right]$$

حيث:

$V_{SMt}$  = كتلة المادة الصلبة المتطايرة والمتبقية عند زمن  $t$ .

$V_{SM0}$  = كتلة المادة الصلبة المتطايرة الابتدائية.

$Ash_0$  % = نسبة الرماد الابتدائية.

$Ash_t$  % = نسبة الرماد عند زمن  $t$ .

$V_{St}$  % = نسبة المادة الصلبة المتطايرة عند زمن  $t$ .

$V_{S0}$  % = نسبة المادة الصلبة المتطايرة الابتدائية.

الانخفاض في تركيز المادة الصلبة ( $V_{sr}$ ) تراكمي وغالباً صغير، لذلك فأخذ المكررات ضروري لكي نحصل على نتائج إحصائية ممثلة للواقع. ويمكن جمع هذه النتيجة مع بيانات المحتوى الرطوبي لتحديد الفقد بالرطوبة من السماد العضوي.

أولاً: يحسب الفقد في المادة الصلبة المتطايرة، ثم يخصم من المادة الكلية ( $T_S$ ) لكي يتم تحديد المادة الصلبة المتبقية في الجهاز عند زمن ( $t$ ) مع ملاحظة أن محتوى الرماد من المادة الصلبة الكلية لا يتغير، وبالتالي فإن الفقد في المادة الصلبة الكلية يساوي الفقد في المادة الصلبة المتطاير ( $V_{sr}$ ):

$$T_{S_{mt}} = T_{S_{m0}} - (V_{S_{m0}} - V_{S_{mt}})$$

حيث :

$$T_{S_{mt}} = \text{كتلة المادة الصلبة الكلية عند زمن } (t).$$

$$T_{S_{m0}} = \text{كتلة المادة الصلبة الكلية الابتدائية.}$$

$$V_{S_{mt}} = \text{كتلة المادة الصلبة المتطايرة عند زمن } (t).$$

$$V_{S_{m0}} = \text{كتلة المادة الصلبة المتطايرة الابتدائية.}$$

في أي وقت ( $t$ ) خلال عملية إنتاج السماد العضوي، كتلة الماء المتبقية في السماد العضوي يمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$H_2O_{mt} = \frac{T_{S_{mt}} \times mc\%{}^t}{100 - mc\%{}^t}$$

حيث:

$$Mc\%{}^t : \text{نسبة الماء عند زمن } t$$

$$H_2O_{mt} = \text{كتلة الماء عند زمن } (t).$$

كما يمكن حساب نسبة الفقد في المحتوى الرطوبي والمادة الصلبة المتطايرة من المعادلات التالية:

$$\Delta V_s\% = \left[ \frac{\left( \frac{100 - V_s\%{}_0}{V_s\%{}_0} \right)}{\left( \frac{100 - V_s\%{}_t}{V_s\%{}_t} \right)} \right] \times 100$$

$$\Delta m_c\% = \left[ 1 - \left( \frac{100 - V_s\%{}_0}{100 - V_s\%{}_t} \right) \times \left( \frac{mc\%{}_t}{mc\%{}_0} \right) \times \left( \frac{100 - mc\%{}_0}{100 - mc\%{}_t} \right) \right] \times 100$$

حيث:

$\Delta V_s\%$  = نسبة الفقد في المادة الصلبة المتطايرة عند زمن t.

$\Delta m_c\%$  = نسبة الانخفاض في المحتوى الرطوبي عند زمن t.

### أسئلة وتمارين

- حمأة عضوية تحتوي على 35% مادة صلبة تم خلطها مع سماد عضوي ناضج لتعطي مخلوط نهائي عند 50% مادة صلبة. بافتراض حجم المادة الصلبة المتطايرة 40%، كثافة المخلوط الرطب 0.80 جم/سم<sup>3</sup>. احسب: المسامية و FAS للمخلوط.

1- عينة من بقايا مخلفات زراعية وزنها الابتدائي ( $W_w$ ) = 20 جرام وضعت في وعاء وزنه (6 جرام) وضعت بالفرن لمدة 24 ساعة عند درجة حرارة  $70^\circ\text{M} \pm 5^\circ\text{M}$ ، ثم أعيد وزنها حيث وجد أنه يساوي 13 جرام أحسب المحتوى الرطوبي لبقايا المخلفات.

2- مخلفات نباتية و زنها الابتدائي 300 كجم و محتواها الرطوبي 35%. يراد تعديل هذا المحتوى الرطوبي ليصبح 60%. أحسب حجم الماء الذي يجب اضافته. علما بأن كثافة الماء = 1000 كجم/م<sup>3</sup>.

3- (مادة 1) وزنها 20 كجم عند رطوبة 70% يراد خلطها مع مادة جافة (مادة 2) عند رطوبة (40%) ليصل المخلوط الأولى لمحتوى رطوبي 60%، أحسب وزن المادة الجافة (مادة 2) المفترض إضافتها لخفض رطوبة المخلوط النهائي إلى 60%.

4- أحسب كمية الكربون اليومية في المواد العضوية التالية بالأعتماد على المادة الصلبة المتطايرة من الملحق 1 في نهاية الكتاب.

روث حسان نشط و زنه 1100 رطل (1 رطل = 0.452 كجم)؟

# الفصل الخامس

## Aeration Requirements

## تقدير متطلبات التهوية

### مقدمة:

يعتبر الأوكسجين ضروري جدا لتنفس الكائنات الحية الهوائية الموجودة في كومة الدبال خاصة إذا كانت الكومة كبيرة الحجم (حجمها أكثر من 1 م3) وقد تتحمل نقص الأوكسجين حتى نسبة متدنية، و لكن إذا قلت نسبته عن 10% تصبح الميكروبات السائدة في الكومة لا هوائية تعمل تخمرا لا هوائيا ينتج عنه رائحة كريهة مثل رائحة البيض الفاسد لانبعاث غاز كبريتيد الهيدروجين. أما إذا كان حجم الكومة صغير (1 متر<sup>3</sup> فأقل)، فإنه يكفي تبادل الهواء الطبيعي لإحداث التهوية حيث يصعد الهواء الساخن بفعل عملية التخمير إلى الأعلى لانخفاض ضغطه فيندفع هواء أبرد وغني بالأوكسجين ليحل محل الهواء الصاعد الذي يحمل معه غاز ثاني أكسيد الكربون الهام في عملية التمثيل الضوئي. ويتم تزويد الكومة بالأوكسجين عن طريق التقليب للكومة يدويا أو آليا وتسلط مراوح ذات قوة مناسبة نحو الكومة أو غرز أنابيب مثقبة في داخل الكومة تسهم في تحسين معدل التبادل الهوائي. ويتأثر معدل التبادل الهوائي في الكومة بعوامل عديدة أهمها حجم الكومة النهائي و مكوناتها (حجم و نوع الجزيئات المستخدمة في الدبال) قبل البدء بعملية التخمير التي يجب أن تحقق توازنا ما بين المحتوى المائي والهوائي في الأجزاء الداخلية من الكومة. لذلك فإن توفير الهواء اللازم لإتمام عملية إنتاج الدبال من المخلفات العضوية ضروري لثلاثة أسباب رئيسية:

1. توفير احتياجات الكائنات الحية الدقيقة من الأوكسجين لإتمام عملية تحلل المادة العضوية.

2. التخلص من الرطوبة الزائدة .

3. التخلص من الحرارة الزائدة.

ويعتبر تصميم نظام التهوية من الإضافات التي ساعدت في تطور هذه الصناعة وساهمت في القفزة الحديثة في هذا المجال، وتحويلها من علم إلى هندسة. حيث أن المقدرة على تصميم نظام تهوية محكم وفعال تعتبر من النقاط المهمة في نجاح العملية.

### 1-5- متطلبات التهوية لتلبية احتياجات الهضم (التحلل) : Stoichiometric Demand

#### 1-1-5- متطلبات الأوكسجين للتخلص من الكربون

يمكن تحديد متطلبات الأوكسجين عن طريق معرفة محتويات (مكونات) المادة العضوية الأولية (المخلوط). الجدول (1-5) يعطي فكرة جيدة عن مكونات بعض البقايا المهمة:

جدول (1-5): مكونات المادة العضوية الأولية. المصدر:

الرمز الكيميائي	بقايا المادة العضوية
$(C_6 H_{10} O_5)_x$	كربوهيدرات
$C_{16} H_{24} O_5 N_4$	بروتين
$C_{50} H_{90} O_6$	زيت أو شحم
$C_{22} H_{39} O_{10} N$	حمأة
$C_{64} H_{104} O_{37} N$	مخلفات بلدية
$C_{295} H_{420} O_{186} N$	خشب
$C_{23} H_{38} O_{17} N$	نجيل
$C_{27} H_{38} O_{16} N$	أغصان شجر وأوراق

وتختلف مكونات كل مادة باختلاف مصدرها ونوعيتها ومكوناتها، الخ، والأفضل هو

تحليلها ومعرفة مكوناتها من  $(C_x, H_x, O_x, N_x)$

ولنأخذ مثالا لمعرفة كيفية إيجاد (أو تقدير) متطلبات التهوية اللازم لإتمام عملية

التحلل الهوائي (الهضم) للمادة العضوية:

مثال (1-5)

بقايا عضوية تتكون من الآتي (C<sub>10</sub>H<sub>19</sub>O<sub>3</sub>N) احسب كمية الأوكسجين اللازمة لإتمام عملية التحلل الهوائي طبقا للمعادلة التالية:



وزن المعادلة



### الحل:

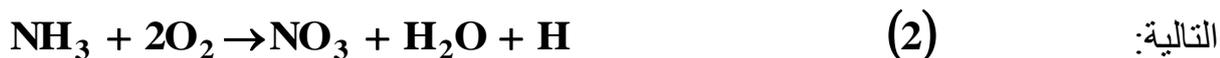
بعد وزن المعادلة، نلاحظ أن كمية الأوكسجين المطلوبة هي : كل 1 مول مادة عضوية يحتاج الى 12.5 مول من الأوكسجين لإتمام عملية التحلل الهوائي , وبناء عليه يمكن حساب كمية الأوكسجين اللازمة بالجرام لتحليل واحد جرام من المادة العضوية القابلة للتحلل (المادة الصلبة المتطايرة) علما بأن الوزن الجزيئي للأوكسجين (O<sub>2</sub>) هو 16×2 جم/مول وكذلك الوزن الجزيئي للمادة العضوية (C<sub>10</sub>H<sub>19</sub>O<sub>3</sub>N) هو 201 جم / مول وبافتراض أن المادة العضوية سوف تتأكسد بالكامل إذن:

$$12.5 O_2 = 12.5 \times (16 \times 2) = 400 \text{ gO}_2$$

$$C_{10}H_{19}O_3N = 12 \times 10 + 1 \times 19 + 16 \times 3 + 14 \times 1 = 201 \text{ gVS}$$

$$X = \frac{400}{201} = 1.99 \text{ gO}_2/\text{gVS}$$

كذلك الأمونيا المنبعثة نتيجة لتحلل المادة العضوية يمكن أن تتأكسد (تحتاج أيضا إلى أوكسجين) ولذلك فكمية الأوكسجين اللازمة لأكسدة الأمونيا يمكن إيجادها من المعادلة



وبافتراض أن كل الأمونيا سوف تتأكسد إذن:

$$2 O_2 = 2 \times (16 \times 2) = 64 \text{ gO}_2$$

$$y = \frac{64}{201} = 0.32 \text{ gO}_2/\text{gVS}$$

يجب أن نلاحظ الآتي:

- 1- كمية الأوكسجين المطلوبة لأكسدة النيتروجين أقل بكثير من الكربون،
- 2- أيضاً معظم الأمونيا المنتجة ستنبعث (تتطاير) في الهواء قبل أكسدها،
- 3- كذلك بعض الأمونيا سوف يستهلك مباشرة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة لبناء خلايا جديدة.

لذلك عادة لا يتم حساب كمية الأوكسجين المطلوبة لأكسدة النيتروجين عند تقدير متطلبات التهوية في أجهزة إنتاج الكمبوست (الدبال).

### مثال (2-5)

نشارة الخشب تتكون في معظمها من سليولوز ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) حدد احتياجات الأوكسجين لإتمام عملية التحلل.

**الحل:**



وزن المعادلة



$$6 \text{O}_2 = 6 \times (16 \times 2) = 192 \text{ gO}_2$$

$$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 = 12 \times 6 + 1 \times 10 + 16 \times 5 = 162 \text{ gVS}$$

$$X = \frac{192}{162} = 1.185 \text{ gO}_2/\text{gVS}$$

ومن المعلوم أن متطلبات الأوكسجين اللازم لإتمام عملية التحلل (الهضم) يختلف باختلاف مكونات المادة العضوية، حيث تتراوح بين 1 و 4 جرام أوكسجين/جرام مادة صلبة

متطايرة, معتمداً في ذلك على نوعية المادة وغالباً ما تؤخذ القيمة 2 جرام أكسجين/جرام مادة صلبة متطايرة لغالبية المواد القابلة للتحلل كالبقايا العضوية في المخلفات البلدية والمكونة من خليط من الكربوهيدرات، البروتين والزيوت.

في حالة دخول أكثر من مادة عضوية في الجهاز فإن متطلبات التهوية يمكن حسابها لكل نوع على حدة، ومن ثم تجمع مع بعضها لتحديد متطلبات التهوية الكلية للخليط وكما في المثال التالي.

### مثال (3-5):

بقايا مواد عضوية مخلوطة مع نشارة خشب كمادة أولية. مطلوب تحديد متطلبات التهوية اللازمة لإتمام عملية التحلل بافتراض تحلل كامل المادة الصلبة المتطايرة.

### الحل:

بافتراض أن معادلة 1 السابقة (مثال 1) تمثل البقايا العضوية ومعادلة 3 (مثال 2) تمثل نشارة الخشب فإن متطلبات التهوية ( $O_2$ ) من معادلة (1) تساوي 1.99 جرام أكسجين/جرام مادة صلبة متطايرة، ومتطلبات التهوية ( $O_2$ ) من معادلة (3) تساوي 1.185 جرام أكسجين/جرام مادة صلبة متطايرة، فإذا علمت أن البقايا العضوية لها المواصفات التالية:

### المادة العضوية:

المواد الصلبة المتطايرة = 75%.

إتاحة المادة تحت ظروف التحلل = 50%.

الجزء القابل للتحلل من البقايا العضوية =  $0.375 = 0.5 \times 0.75$

### الخشب:

المواد الصلبة المتطايرة للخشب = 95%.

إتاحة المادة تحت ظروف التحلل للخشب = 20%.

الجزء القابل للتحلل من نشارة الخشب =  $0.19 = 0.2 \times 0.95$

و بالتالي فإن متطلبات الأكسجين الكلية يمكن تقديرها كما يلي:

$$X = \frac{(Q_m \times Q_{O_2}) + (Q_s \times Q_{O_2})}{(Q_m + Q_s)} \text{ gO}_2 / \text{g mixture VS}$$

$$\frac{(0.375 \times 1.99) + (0.19 \times 1.185)}{0.375 + 0.199} = 1.72 \text{ gO}_2 / \text{g mixture VS}$$

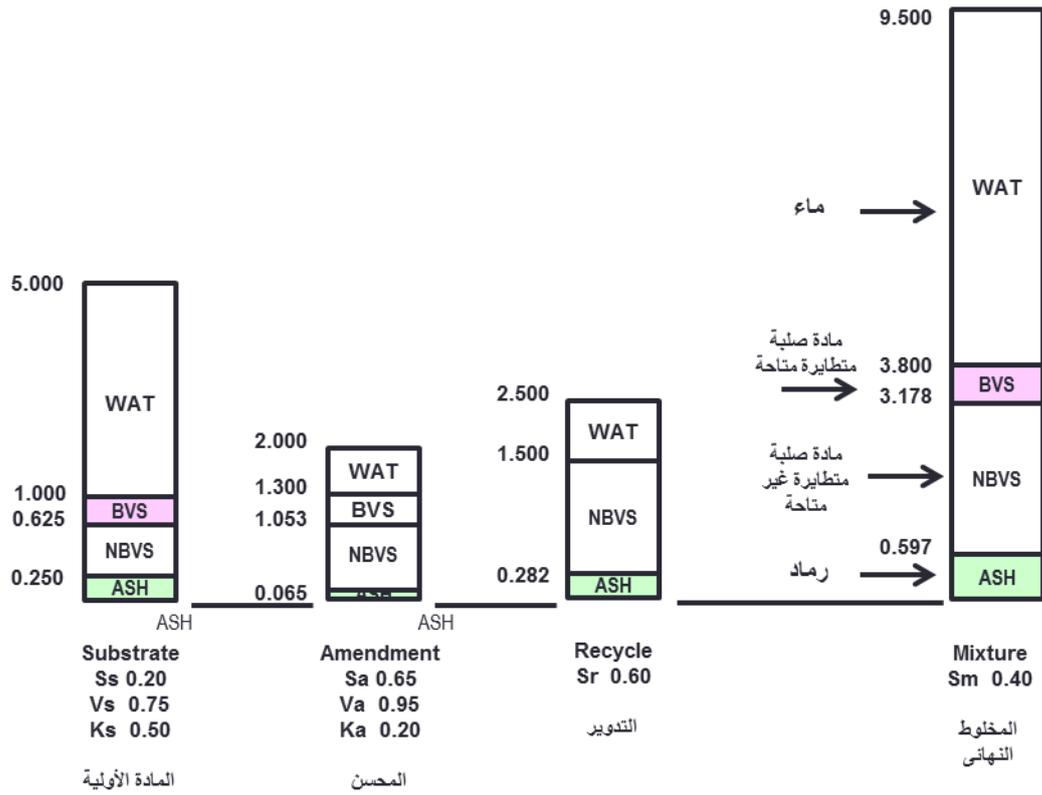
وإذا علمنا أن الهواء الجوي يحتوي على 21٪ أوكسجين بالوزن (الباقى نيتروجين لا يدخل في عملية التحلل) لذلك فأن وزن الهواء المطلوب لتلبية احتياجات الخليط (بقايا عضوية مع نشارة الخشب) من الأوكسجين يتم حسابها كما يلي:

$$\frac{1.72}{0.21} = 8.19 \text{ gO}_2 / \text{g mixture VS}$$

هذه هي كمية الهواء المطلوبة ككمية والتي يجب توفيرها خلال المدة الزمنية اللازمه لإنتاج الدبال لتلبي احتياجات التحلل البيولوجي. ويجب التفريق بين كمية الهواء بوحدة الحجموم (م<sup>3</sup>) ومعدل التهوية بوحدة (م<sup>3</sup>/ثانية) مثلاً. وعادة يتم تحديد كمية الهواء المطلوبة لكل وحدة وزن من المخلوط الأولي الجاف، أما بالنسبة لمعدل التهوية فيمكن افتراض زمن تحلل معين ثم تقسيم الكمية على الزمن لتحديد المعدل.

#### مثال (4-5)

100 طن متري من الحمأة (عند 80٪ محتوى رطوبي) يراد إدخالها لإنتاج سماد عضوي، هذه الحمأة تم خلطها مع نشارة خشب (عند 35٪ محتوى رطوبي) لتحسين قوامها وتخفيف محتواها الرطوبي كذلك تم أيضاً إضافة محسن آخر من السماد العضوي الناضج المعاد استخدامه بنسب كما هو موضح بالشكل (5-1): (حدد كمية الهواء المطلوب لتلبية احتياجات التحلل؟).



شكل (1-5): نسب مخلوط أولي ومخلوط نهائي لإنتاج سماد عضوي. المصدر:

### الحل:

من معادلة (1) السابقة فإن البقايا العضوية ( أو الحمأة) تحتاج إلى 1.99 جم أكسجين/ جم مادة متطايرة، ولكن هنا لدينا 100 طن متري (إتاحية 50%) فتحتاج إلى أكسجين لتلبية احتياجاتها للتحلل يساوي:

$$100 (0.2 \times 0.75 \times 0.5) \times 1.99 = 14.93 \text{ metric ton O}_2$$

$$= 14.93 \times 1000 = 14930 \text{ kg O}_2$$

أما بالنسبة لنشارة الخشب كميتها تساوي 40% أو (2/5) من كمية الحمأة أي:

$$= (2/5) \times 100 = 40 \text{ metric ton}$$

فتحتاج إلى أكسجين لتلبية احتياجاتها للتحلل (إتاحية 20%):

$$40 (0.65 \times 0.95 \times 0.2) \times (1.185) = 5.8539 \text{ ton metric O}_2$$

$$= 5.8395 \times 1000 = 5854 \text{ kg O}_2$$

متطلبات الأكسجين الكلية لخليط (حمأة مع نشارة خشب) :

$$=14930 + 5854 = 20784 \text{ kg O}_2$$

أما كمية الهواء المطلوبة (بافتراض 23% نسبة الأكسجين في الهواء) هي:

$$20784 / 0.23 = 90365 \text{ kg air}$$

$$= 90347 / 1000 = 90.365 \text{ metric ton air}$$

الهواء عند درجة حرارة 25°م وضغط 1 ضغط جوي له كثافة = 1.184 كجم/م<sup>3</sup>،

فلذلك حجم الهواء المطلوب لتلبية احتياجات التحلل للمخلوط يساوي

$$90365 \text{ kg air} / 1.184 \text{ kg air/m}^3 = 76321 \text{ m}^3$$

ويفضل تحويلها لكل وحدة وزن ماله صلبه جافة كما يلي:

$$\frac{90.36}{[100 \times 0.2 + 40 \times 0.65]} = 1.964 \text{ kg air/ kg dry}$$

في المثال السابق جاء توضيح أهمية توفير الهواء خلال عملية إنتاج السماد العضوي

لكي يتم التحلل الهوائي المطلوب.

ملاحظة هامة:

نلاحظ أن وزن الهواء المطلوب فقط لتوفير متطلبات التحلل تقريباً ضعف الوزن الجاف من

المخلوط الأولي.

وفي التطبيقات العملية فإنه من الضروري أن يضاف الهواء بزيادة عن احتياجات

التحلل لضمان حدوث التحلل الهوائي الكامل، ونسبة الهواء الزيادة (Excess Air Rate

(EAR)) تعرف على أنها حاصل قسمة (نسبة) الهواء الفعلي المضاف إلى الكمية الفعلية

المطلوبة لتلبية احتياجات التحلل من الهواء، وبالتالي فإن  $EAR > 1$  دائماً.

هناك طريقة أخرى لتقدير احتياجات الأوكسجين اللازمة للتحلل الهوائي وتعتمد هذه

الطريقة على مكونات المادة الأولية والمنتج النهائي. وتعتبر هذه الطريقة مناسبة للتجارب

المعملية الخاصة لدراسة (تقدير) مكونات المنتج النهائي، ويوصي (Rich 1963) بإتباع ما

يلي:



حيث:

$$r = 0.5[b - nx - 3(d - nz)]$$

$$s = a - nw$$

ونحتاج إلى تحليل العناصر المختلفة لتحديد المتغيرات المذكورة في المعادلة السابقة، والأمثلة التالية ستوضح ذلك.

### مثال (5-5) :

أجريت تجربة معملية لإنتاج السماد العضوي على مادة أولية تتكون من  $(C_{31}H_{50}O_{26}N)$  كما أوضحت الدراسة أن 1000 كجم من المادة الأولية الصلبة تم خفضها إلى 200 كجم وزن جاف بعد إتمام عملية الإنتاج، فإذا كانت مكونات المنتج النهائي (السماد العضوي) هي  $(C_{11}H_{14}O_4N)$ . حدد كمية الأوكسجين ( $O_2$ ) المطلوب لإتمام عملية التحلل الهوائي اللازم لـ 1000 كجم من المادة الأولية (وزن جاف)؟

### الحل:

الوزن الجزيئي للمادة الأولية  $(C_{31}H_{50}O_{26}N)$ :

$$\text{Carbon (C)} = 31 \times 12 = 372$$

$$\text{Hydrogen (H)} = 50 \times 1 = 50$$

$$\text{Oxygen (O)} = 26 \times 16 = 416$$

$$\text{Nitrogen (N)} = 1 \times 14 = 14$$

$$852 \text{ g/mole} = 0.852 \text{ kg/mole} \quad \text{المجموع}$$

$$1000\text{kg needs} = 1000 \text{ kg} / 0.852 \text{ kg/mole} = 1174 \text{ mole}$$

الوزن الجزيئي للمادة النهائية  $(C_{11}H_{14}O_4N)$

$$\text{Carbon (C)} = 11 \times 12 = 132$$

$$\text{Hydrogen (H)} = 14 \times 1 = 14$$

$$\text{Oxygen (O)} = 4 \times 16 = 64$$

$$\text{Nitrogen (N)} = 1 \times 14 = 14$$

$$224 \text{ g/mole} = 0.224 \text{ kg/mole} \quad \text{المجموع}$$

إذن نسبة السماد العضوي الخارج من الجهاز / الداخل كمادة أولية:

$$n = \frac{200/224}{1000/852} = 0.76$$

من مكونات المادة الأولية والمنتج النهائي الثوابت التالية صحيحة:

$$a = 31 \quad w = 11$$

$$b = 50 \quad x = 14$$

$$c = 26 \quad y = 4$$

$$d = 1 \quad z = 1$$

وباستخدام هذه الثوابت نحسب  $r$  &  $S$  كما يلي:

$$r = 0.5 \{b - nx - 3(d - nz)\}$$

$$= 0.5 \{50 - (0.76 \times 14) - 3(1 - 0.76 \times 1)\} = 19.33$$

$$S = a - nw = 31 - (0.76 \times 11) = 22.64$$

من المعادلة السابقة رقم 4 متطلبات الأوكسجين يمكن حسابها كما يلي:

$$WO_2 = 0.5 (ny + 2S + r - c)$$

$$= 0.5 \{0.76(4) + 2(22.64) + 19.33 - 26\} \{1.173 \times 32\}$$

$$= 782 \text{ kg } O_2$$

الآن نرغب في التأكد من الحل عن طريق عمل إيزان كتلي للداخل والخارج كما يلي:

الداخل:

	1000 كجم	المادة الأولية:
	783 كجم	الأوكسجين
	1783 كجم	مجموع الداخل:

الخارج:

	200	السماد العضوي
{1.173(44) × 22.64}	1170	ثاني أكسيد الكربون
{1.173 (19.33) × (18)}	408	ماء

{1 - 0.76 (1) (1.173) × (17)}	5	أمونيا
	1783 كجم	المجموع الخارج

كمية الهواء المطلوب لإتمام عملية التحلل الهوائي: تساوي (بافتراض 23% نسبة الأكسجين في الهواء)

$$= (782 / 0.21) = 3724 \text{ kg air} = 3.724 \text{ kg air / kg dry solid}$$

كما لاحظنا في المثال السابق فإن كمية الهواء اللازمة لتلبية احتياجات الميكروبات لتحلل المادة العضوية تعادل عدة أضعاف الوزن الجاف للمادة الأولية.

### 5-1-2- متطلبات التهوية للتحكم بالمحتوى الرطوبي

إن تحديد متطلبات التهوية للتحكم بالمحتوى الرطوبي لمادة السماد العضوي مهم جداً ويحتاج إلى تحليل وفهم لعملية الإنتاج. بالرجوع إلى مخطط المراحل المختلفة لإنتاج السماد العضوي، فإن مخطط اتزان الكتلة يتلخص بما يلي:

$$W_w = (X_s - S_s X_s) - (X_p - S_p X_p) \quad (1)$$

حيث:

$W_w$  = كمية الماء المتبخرة باليوم (إذا كان نظام التغذية مستمر)

$X_s$  = الوزن الرطب للمادة الأولية (المخلوط) باليوم (إذا كان نظام مستمر).

$S_s$  = نسبة المواد الصلبة في المخلوط الأولي

$X_p$  = الوزن الرطب للمنتج النهائي (المخلوط) باليوم (إذا كان نظام التغذية مستمر)

$S_p$  = نسبة المواد الصلبة في المنتج النهائي

وبمعلومية أن نسبة الرماد (Ash) يتم المحافظة عليه خلال عملية الإنتاج، فإن اتزان الكتلة للمخلوط الأولي كما يلي:

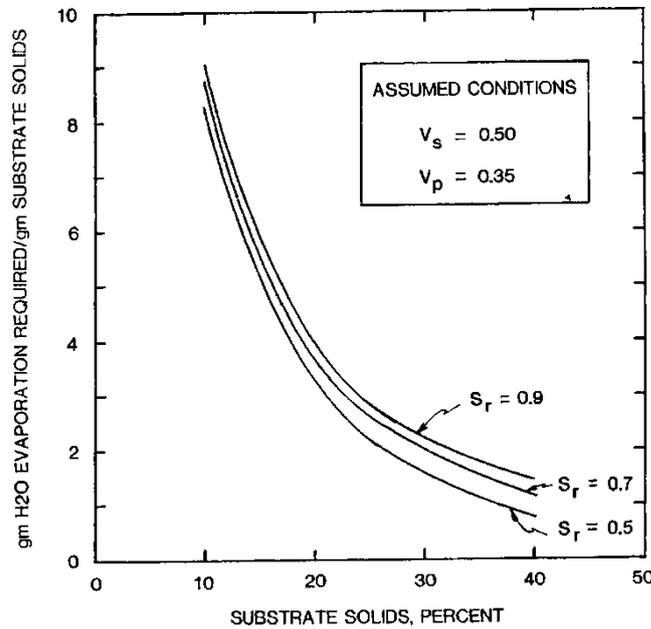
$$-(1 - V_s) S_s X_s = (1 - V_p) S_p X_p \quad (2)$$

حيث :

$V_s$  ,  $V_p$  نسبة المواد الصلبة المتطايرة للمادة الأولية (مخلوط) أو المنتج النهائي على الترتيب وبحل المعادلة السابقة (2) لـ  $X_p$  والتعويض بها في معادل (1) وبعد الترتيب نحصل على:

$$W_w = \left[ \frac{(1-S_s)}{S_s} \right] - \left[ \frac{(1-V_s)}{(1-V_p)} \right] \left[ \frac{(1-S_p)}{S_p} \right] \quad (3)$$

ثم بحل معادلة (3) السابقة لعدة مواد أولية ومنتج نهائي فان نتائج وافتراضات الحلول تبدو كما في الشكل (2-5):

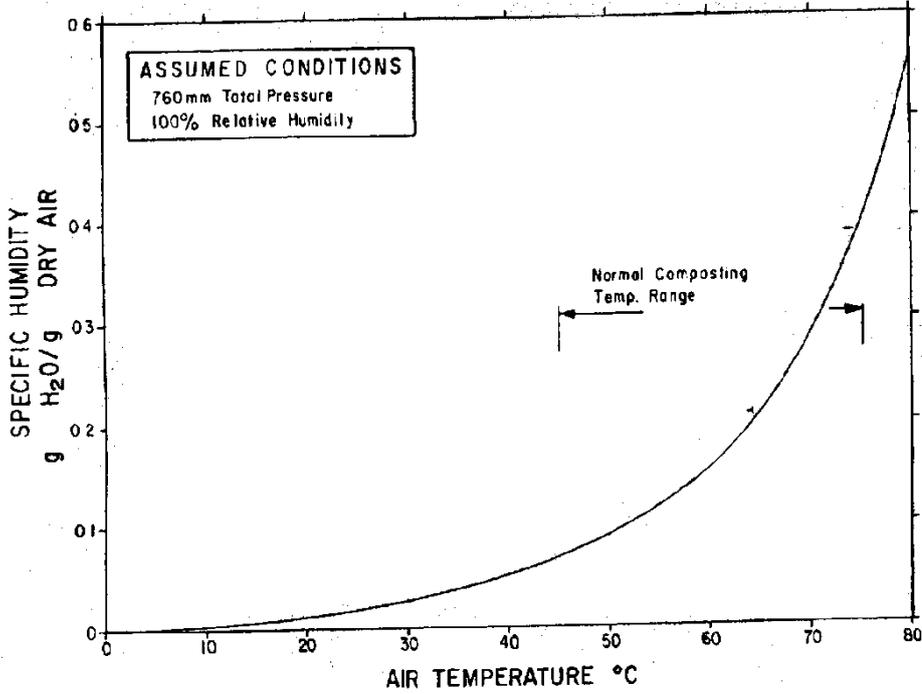


شكل (2-5): علاقة بين المادة الصلبة الكلية والمحتوى الرطوبي على أساس جاف

المصدر:

يبين الشكل 2-5 إن كمية الرطوبة المراد التخلص منها تعتمد أساساً على نسبة المواد الصلبة في المادة الداخلة إذا كانت أقل من 30% ، بينما تعتمد على المادة الداخلة والمنتج النهائي إذا كانت المادة الداخلة (الأولية) ذات محتوى صلب أقل من 30%. يبدأ معدل النشاط الميكروبي (البيولوجي) بالانخفاض عندما يكون المخزن الرطوبي للمخلوط أقل من 40% إلى 50%. لذلك فبتجفيف السماد العضوي إلى محتوى رطوبي 30% بواسطة الحرارة المنتجة بيولوجياً (نتيجة للتحلل البيولوجي) أمر صعب للغاية.

شكل (3-5) يوضح كمية بخار الماء الممكن أن تنزع بواسطة الهواء المشبع عند درجات حرارة مختلفة.



شكل (3-5): درجة حرارة الهواء والرطوبة النوعية. المصدر:

تم إنشاء المنحنى السابق بواسطة الخرائط السيكرومترية القياسية وجداول البخار عند ضغط جوي 760 ملم زئبق. كمية الرطوبة في الهواء المشبع تزيد أسياً مع زيادة درجة حرارته، فمخلوط الهواء الخارج من جهاز إنتاج السماد العضوي سيكون قريب التشبع وبدرجة حرارة قريبة جداً من درجة حرارة المخلوط. فإذا كانت درجة الحرارة مرتفعة، كمية كبيرة من الرطوبة ستغادر الجهاز مع هواء العادم.

فإذا كان فرق درجات الحرارة بين الداخل والخارج أكبر من 25°م (45°ف) فإن الرطوبة النسبية للهواء الداخل تصبح ذات أهمية قليلة في حساب فقد الماء من الجهاز، وهذا يعني أن التجفيف لمادة إنتاج السماد العضوي سيتم حتى في الأجواء ذات الرطوبة النسبية العالية. الرطوبة النوعية (w) تعرف على أنها وزن الماء المحمول بواسطة وحدة الوزن من الهواء الجاف (جرام ماء/جرام هواء جاف)، الشكل السابق عبارة عن علاقة الرطوبة

النوعية بدرجات حرارة الهواء، ورياضياً يمكن حساب الرطوبة النوعية بواسطة ما يسمى بمعادلة أنتوني (Antoine equation) والتي تربط علاقة ضغط البخار المشبع بدرجة الحرارة المطلقة كما يلي:

$$\text{Log}P_{vs} = \frac{a}{T_a + b} \quad (4)$$

حيث:

$P_{vs}$  ضغط بخار الماء المشبع (ملم زئبق)

$a$  ثابت ويساوي 2238 للماء.

$b$  ثابت يساوي 8.896 للماء

$T_a$  درجة الحرارة المطلقة  $K^\circ$

أما ضغط بخار الماء الحقيقي  $P_v$  فيمكن تحديده كما يلي:

$$P_v = \text{RH} \% (P_{vs}) \quad (5)$$

حيث:

$\%RH$  الرطوبة النسبية.

ويمكن تحديد الرطوبة النوعية ( $w$ ) من معلومات ضغط بخار الماء والوزن الجزئي للماء (18.015) والهواء الجاف (28.96) كما يلي:

$$w = \left[ \frac{18.015}{28.96} \right] \left[ \frac{P_v}{P_{air} - P_v} \right] \quad (6)$$

حيث:

$P_{air}$  الضغط الجوي (ملم زئبق)

$P_v$  ضغط بخار الماء (ملم زئبق)

### مثال (5-6):

مادة عضوية رطبة ( $C_{10}H_{19}O_3N$ ) نسبة المواد الصلبة فيها 25% , نحتاج لتحويلها إلى سمد عضوي مع تجفيفها لتصل إلى محتوى صلب 65% , نسبة المادة الصلبة المتطايرة فيها 75% والنهائية المتوقعة 45% , درجة الحرارة المحيطة 25°م والرطوبة النسبية 75% ,

والضغط الابتدائي الكلي 760 ملم زئبق، والهواء الخارج عند درجة حرارة 55° م حدد وزن وحجم الهواء المطلوب وكذلك EAR نسبة زيادة الهواء لإزالة الرطوبة المطلوبة؟

### الحل:

نطبق المعادلة السابقة رقم 3 لنحسب كمية بخار الماء الممكن إزالتها:

$$W_w = \left[ \frac{(1-S_s)}{S_s} \right] - \left[ \frac{(1-V_s)}{(1-V_p)} \right] \left[ \frac{(1-S_p)}{S_p} \right]$$

من المعطيات:

$$.65 = S_p \quad .25 = S_s$$

$$.45 = V_p \quad .75 = V_s$$

وبالتعويض نحصل على:

$$W_w = \left[ \frac{(1-0.25)}{0.25} \right] - \left[ \frac{(1-0.75)}{(1-0.45)} \right] \left[ \frac{(1-0.65)}{0.65} \right] = 2.76 \text{ g H}_2\text{O / g ds}$$

ولتحديد قدرة الهواء الرطب الخارج من الجهاز لحمل الماء نعوض في المعادلة رقم 6 السابقة ولكن نحتاج  $P_v$  &  $P_{vs}$  من المعادلتين 3 و 4 أولاً، لذلك:

$$\text{Log}P_{vs} = \frac{a}{T_a + b} = \frac{2238}{(273 + 55) + 8.896} = 2.073$$

$$P_{vs} = 118.3 \text{ mmHg}$$

وبما أن الهواء الخارج مشبع (الرطوبة النسبية 100%) فالضغط البخاري الحقيقي ( $P_v$ ) يمكن تحديده من معادلة 5:

$$P_v = \text{RH}\%(P_{vs}) = 1.00(118.3) = 118.3 \text{ mm Hg}$$

وبالتالي فالرطوبة النوعية ( $w$ ) يمكن تحديدها بواسطة معادلة 6:

$$W = \left[ \frac{18.015}{28.96} \right] \left[ \frac{P_v}{P_{\text{air}} - P_v} \right] = \left[ \frac{18.015}{28.96} \right] \left[ \frac{118.3}{760 - 118.3} \right] = 0.1147 \text{ gm water/gm dair}$$

أما بالنسبة للرطوبة النوعية للهواء الداخل عند 20°م و 75٪ رطوبة نسبية يمكن تحديدها على نفس الطريقة السابقة.

$$\text{Log}P_{vs} = \frac{a}{T_a + b} = \frac{2238}{(273 + 20) + 8.896} = 1.258$$

$$P_{vs} = 18.1 \text{ mmHg}$$

$$P_v = \text{RH}\%(P_{vs}) = 0.75(18.1) = 13.6 \text{ mm Hg}$$

$$W = \left[ \frac{18.015}{28.96} \right] \left[ \frac{P_v}{P_{\text{air}} - P_v} \right] = \left[ \frac{18.015}{28.96} \right] \left[ \frac{13.6}{760 - 13.6} \right] = 0.0113 \text{ gm water/gm dair}$$

ويجب ملاحظة أن القيمة السابقة لا يمكن قراءتها من الشكل رقم 2 السابق لأن الشكل 2 يعكس قيم الرطوبة النوعية عند الظروف المشبعة فقط.

صافي الرطوبة المزالة مع هواء العادم (الخارج من الجهاز) يساوي:

$$0.1147 - 0.0113 = 0.1034 \quad \text{جرام ماء/ جرام هواء جاف داخل}$$

مع ملاحظة أن الرطوبة المضافة مع هواء التهوية الداخل تعتبر صغيرة نسبياً عندما يكون فرق درجات الحرارة أكثر من 20°م.

وزن الهواء المطلوب يمكن حسابه كما يلي:

وزن الهواء المطلوب = كمية بخار الماء الممكن إزالتها / صافي الرطوبة المزالة مع هواء

$$\text{العادم (الخارج من الجهاز)} = 0.1034/2.76 =$$

$$= 26.7 \text{ جرام هواء جاف/ جرام مادة صلبة جافة}$$

مع ملاحظة أن الهواء المطلوب للتجفيف نسبياً أكبر من الهواء المطلوب للأكسدة البيولوجية للمادة العضوية (التحلل البيولوجي) كما حدد في المثال السابق.

كثافة الهواء عند الظروف القياسية = 1.20 جرام هواء جاف/لتر، وبالتالي يمكن حساب حجم الهواء الجاف الخارج من الجهاز كما يلي:

حجم الهواء الجاف الخارج من الجهاز = وزن الهواء المطلوب (جرام هواء جاف/ جرام

مادة صلبة جافة) / كثافة الهواء عند الظروف القياسية (غم هواء جاف/ لتر)

$$= 1.2/26.7 = 22.25 \text{ لتر هواء جاف/ جرام مادة صلبة جافة}$$

ويجب التنويه هنا على أن هذه الكمية (وزن أو حجم) من الهواء يجب توفيرها خلال مدة إنتاج السماد العضوي وليست معدل إزالة الرطوبة الزائدة.

ولحساب EAR نسبة الهواء الزائدة نستخدم معادلة (1) السابقة و التي تم فيها حساب متطلبات الأكسجين لإتمام عملية التحلل = 1.99 جرام أكسجين/ جرام مادة صلبة متطايرة . كما أن جرام واحد مادة أولية صلبة يحتوي على 0.75 جرام مادة صلبة متطايرة بافتراض أن 0.25 جرام رماد ثابتة، المنتج النهائي (السماد العضوي) يحتوي على:

$$\text{جرام مادة صلبة متطايرة} = 0.25 / (1 - 0.45) - 0.25 = 0.205$$

ولذلك تقريباً تتحلل:

$$\frac{(0.75 - 0.205)}{0.75} = 72.7\% \text{ VS}$$

متطلبات التهوية لإتمام عملية التحلل يمكن تحويلها إلى وحدات جرام هواء/ جرام مادة جافة كما يلي:

متطلبات التهوية لإتمام عملية التحلل = متطلبات الأكسجين لإتمام عملية التحلل  $\times$  (1/ نسبة الأوكسجين في الهواء)  $\times$  ( جرام مادة صلبة متطايرة لكل جرام واحد مادة أولية صلبة )  $\times$  (النسبة المئوية لتحلل المادة العضوية الصلبه)  
لذلك تكون متطلبات التهوية لإتمام عملية التحلل :

$$1.99 \left( \frac{1}{0.21} \right) (0.75)(0.727) = 4.68 \text{ g air / g ds}$$

وتكون نسبة الهواء الزائد:

$$\text{EAR} = \frac{26.7}{4.68} = 5.7$$

### 5-1-3- متطلبات التهوية للتحكم بدرجة الحرارة

من المعلوم أن معدل التفاعلات الحيوية يزيد بحوالي الضعف مع كل ارتفاع بمعدل 10 درجات مئوية لدرجة حرارة الوسط و يستمر هذا التضاعف في سرعة التفاعلات حتى نصل إلى حد التثبيط الحراري لمجتمع الميكروبات (الحد الأقصى) و الذي يكون عادة مرتبطا بتعطيل الأنزيمات الحيوية داخل الميكروبات و عجزها عن اداء مهامها الحيوية

الأساسية في الخلايا الميكروبية. وبالتالي تصبح درجة الحرارة في هذه الحالة عامل محدد لاستمرارية التفاعل (التحلل). وللتحكم بدرجة الحرارة في حدود المدى الأمثل لمجتمع الميكروبات المسؤولة عن عملية التحلل، فإن معدل التهوية يجب أن متناسبا مع ارتفاع الحرارة لإزالة كميته حرارة أكثر. و بما أن كمية الطاقة الناتجة مع تحلل المادة العضوية تعادل 104.2 كيلو كالوري / مول أوكسجين أو 3260 كالوري/ جرام أوكسجين (5870 و.ح.ب (BTU)/ رطل أوكسجين), فإن كمية الطاقة الكلية الناتجة مع تحلل المادة العضوية يمكن حسابها بمعلومية كمية الأوكسجين المستهلكة.

### مثال (5-7)

في المثال السابق (الحماة مع نشارة الخشب، مثال 5-1 السابق)، والذي كان له المواصفات التالية:

	نشارة الخشب	الحماة
مادة صلبة متطايرة BVS	0.247g BVS/g ds	0.375 g BVS/g ds
كمية الأوكسجين المطلوبة	1.185 g O <sub>2</sub> /g BVS	1.99 g O <sub>2</sub> /g BVS

احسب:

- 1- كتلة الأوكسجين اللازمة لتزويد الميكروبات لإتمام عملية التحلل
- 2- كمية الطاقة المنبعثة مع تحلل المادة العضوية

### الحل:

من المعلومات المدرجة نستطيع حساب كتلة الأوكسجين اللازمة لتزويد الميكروبات لإتمام عملية التحلل كما يلي:

### للحماة:

$$0.375 \text{ (g BVS/ g ds)} \times 1.99 \text{ (g O}_2\text{/g BVS)} = 0.746 \text{ g O}_2\text{/ g ds}$$

ثم نحسب كمية الطاقة المنبعثة مع تحلل المادة العضوية:

$$0.746 \text{ (g O}_2\text{/ g ds)} \times 3260 \text{ (Cal/g O}_2\text{)} = 2430 \text{ Cal/g ds}$$

## نشارة الخشب:

$$0.247 \text{ (g BVS/ g ds)} \times 1.185 \text{ (g O}_2\text{/g BVS)} = 0.293 \text{ g O}_2\text{/ g ds}$$

ثم كمية الطاقة المنبعثة نتيجة تحلل نشارة الخشب:

$$0.293 \text{ (g O}_2\text{/ g ds)} \times 3260 \text{ (Cal/g O}_2\text{)} = 955 \text{ Cal/g ds}$$

إذن كمية الطاقة الكلية المنبعثة نتيجة لتحلل الحماة ونشارة الخشب:

$$2430 + 955 = 3385 \text{ Cal / g ds}$$

والآن لدينا كمية حرارة يجب التخلص منها للمحافظة على نشاط الميكروبات. يتم ذلك إما عن طريق التهوية أو الفقد إلى المحيط الخارجي بأحدى وسائل انتقال الحرارة المعروفة (توصيل – حمل – إشعاع). يمكن عمل اتزان حراري على المخلوط كما يلي:

كمية الحرارة المنتجة = كمية الحرارة المفقودة مع التهوية + كمية الحرارة المفقودة للمحيط الخارجي

$$Q_p = Q_v + Q_c$$

وبما أن كتلة المادة الأولية كبيرة، ورطوبة ومحصورة بطبقة من السماد العضوي الناضج والذي يعمل كطبقة عازلة حرارياً إلى حد كبير مما يقلل بشكل كبير من كمية الحرارة المفقودة للوسط المحيط مقارنة بتلك المفقودة عن طريق التهوية، وبالتالي فإن:

$$Q_p = Q_v$$

يجب الإشارة هنا إلى أن هذا الافتراض قد يكون غير صحيح في التجارب العملية نظراً لكبر نسبة المساحة السطحية إلى الحجم في الأجهزة الصغيرة، ولذلك فإن  $Q_c$  يتم أخذها بالاعتبار عند التعامل مع مثل هذه الحالات (الأجهزة الصغيرة أو أكوام المخلفات غير العميقة).

بناءً على ما تقدم فإن كمية الحرارة الزائدة المراد التخلص منها خلال عملية التحلل ستزال بصورة أساسية عن طريق الغاز الحار الرطب الخارج من الجهاز أو كومة المخلفات. وذلك لأن الحرارة المنبعثة مع تحلل المادة العضوية سترفع درجة حرارة الهواء الجاف وبخار الماء الداخل إلى المخلفات إلى درجة حرارة الغاز الخارج. إن الحرارة

المنبعثة توفر أولاً الحرارة الكامنة لتبخير الماء ثم ترفع درجة حرارة بخار الماء إلى درجة الحرارة الخارجة. و من المعلوم أن هذه الحرارة المنبعثة من التحلل الحيوي تمثل المصدر الرئيس للحرارة الناتجة يمكن تجاهل المركبات الأخرى الصغيرة بهدف حصر متطلبات التهوية اللازمة للتحكم بدرجة الحرارة.

### مثال (8-5)

قدّر متطلبات التهوية اللازمة لإزالة الحرارة المنبعثة في المثال السابق (الحمأة مع نشارة الخشب)، وذلك بفرض أن درجة الحرارة الخارجية 20°م والهواء الخارجي عند 75٪ رطوبة نسبية (محتوى رطوبي 0.0113 جرام ماء/ جرام هواء جاف) ودرجة حرارة الغاز الخارج من الجهاز 55°م هواء مشبع. (بمحتوى رطوبي 0.1147 جرام ماء/ جرام هواء جاف).

### الحل:

افتراض أن  $m =$  كمية الهواء الجاف المطلوب للمحافظة على درجة حرارة السماد العضوي عند 55°م وبالتالي:  
الحرارة الكامنة لتبخير الماء عند 20°م = 585.8 كالوري/ جرام بخار ماء.

$$C_{p_{\text{water}}} = 0.44 \text{ Cal/g } ^\circ\text{C}$$

$$C_{p_{\text{air}}} = 0.24 \text{ Cal/g } ^\circ\text{C}$$

الطاقة الكلية المستهلكة للتبخير = كتلة الماء المزالة  $\times$  الحرارة الكامنة للتبخير

$$m \times 585.8 \text{ Cal/g }_{\text{water}} (0.1147 - 0.0113) \text{g }_{\text{water/g d air}} =$$

$$(1) \quad 60.57 m \text{ Cal/g d air} =$$

الطاقة المستهلكة في رفع درجة حرارة البخار إلى 55°م =

(كتلة الماء الخارج)  $\times$  الحرارة النوعية للماء  $\times$  التغير بدرجة الحرارة

$$Q = m (0.1034 + 0.0113) (0.44) (55 - 20) = 1.77 m \text{ Cal/g d air} \quad (2)$$

الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة الهواء الجاف إلى 55°م =

$$= m C_{p_{\text{air}}} \Delta t = m (0.24) (55 - 20) = 8.4 m \text{ Cal/g d air} \quad (3)$$

كمية الطاقة الناتجة من التحلل البيولوجي الهوائي للمادة العضوية كما حسبت سابقاً يساوي 3385 كالوري/جرام مادة صلبة.

وبافتراض انتقال حراري مستقر:

الحرارة المنبعثة يجب أن تساوي متطلبات التهوية  $Q_p = Q_v$  اللازمة للتحكم بالحرارة، وبالتالي فمن (1، 2، 3) فإن:

$$m(60.57 + 1.77 + 8.4) = 3385$$

$$m = 3385 / 70.74 = 47.9 \text{ g dry air/gds}$$

وسبق أن تم حساب كتلة الهواء اللازمة لتوفير متطلبات الأوكسجين اللازمة للميكروبات لإتمام عملية التحلل الهوائي، ووجدنا أنها تساوي تقريباً ضعف كتلة المخلوط الأولي الجافة، أو 1.95 جرام هواء/ جرام مادة صلبة. وبالتالي:

$$\text{EAR (excess air rate)} = 47.9 / 1.95 = 24.6$$

من هذا المثال نجد أن:

كمية الهواء اللازمة للتحكم بدرجة حرارة السماد العضوي أكبر بكثير (25 ضعف) من متطلبات التهوية المطلوبه لتوفير الأوكسجين اللازم لعملية التحلل.

## 5-2- معدل التهوية:

كمية الهواء المحسوبة سابقاً تعبر عن الكتلة الكلية (التراكمية) المطلوبة من الهواء خلال عملية التحلل الحيوي للمخلفات العضويه والتي يمكن تحويلها إلى معدل تهويه (Aeration rate) لكن من المعلوم أن معدل التهوية يرتبط بعدة عوامل يصعب أحياناً تحديدها مثل: نوع نظام الإنتاج وحركية الميكروبات المسؤولة عن التحلل، وإتاحة المادة الأولية للتحلل، الخ.

لذلك يلزم معرفة نظام الإنتاج:

- 1- نظام إنتاج ذو تغذية واحدة Batch System.
- 2- نظام إنتاج ذو تغذية مستمرة Continuous System.

من الأمثلة على النظام الأول " تغذية مرة واحدة" ، الصفوف الهوائية أو نظم الحاويات حيث يمكن تحويل كمية الهواء الكلية إلى معدل عن طريق فرض مدة زمنية وتقسيم الكمية على المدة الزمنية لينتج معدل التهويه المطلوب.

### مثال (5-9)

في المثال السابق الذي وجد فيه أن كمية الهواء المطلوبة = 47.9g air/g ds إحسب معدل التهوية التي يجب أن تعطى على مدة زمنية 25 يوماً والتي تمثل الدورة الكاملة لعملية التحلل.

### الحل:

معدل التهوية المتوسط يمكن تقديره عن طريق التالي:

$$= \frac{47.9 \times 10^6 \text{ g / ton ds}}{1.2 \text{ kg / m}^3 \times 10^3 \times 25 \times 24 \text{ hr}} = 66.5 \text{ m}^3/\text{hr.ton ds}$$

مع العلم بأن هناك ظروف كثيرة يمكن أن تحتاج كميته أكبر من معدل التهويه المحسوب مثل أن يكون معدل الأكسدة للمادة العضوية غير ثابت، وبالتالي فالحرارة المنبعثة غير ثابتة و تتغير خلال دورة السماد العضوي. كذلك نوع نظام التحكم قد يخلق أوقات ذروة يتعدى فيها متطلبات التهوية الفعلية للتحكم بالحرارة متوسط التهوية المحسوب.

ويستخدم للتحكم في نظام التهوية أما نظام التشغيل/ الإيقاف (On/Off) أو نظام التحكم المتواصل (continuous control) بدرجة الحرارة أو الأوكسجين أو ثاني أكسيد الكربون، الخ.

لذا يلزم تقدير معدل التهوية اللازم في أوقات الذروة (Peak rate) ويمكن معرفة ذلك عن البيانات الواردة في كثير من المراجع (Wiley, 1955. Jeris Phegan, 1963)، حيث لاحظ هؤلاء الباحثين أن معدل استهلاك الأوكسجين دالة في درجة الحرارة، حيث تم الحصول على (4 - 14 ملجرام أوكسجين/ جرام مادة صلبة . ساعة) كمعدل استهلاك للأوكسجين في وقت الذروة عند درجات حرارة في المدى 45 – 65 °م. وعلى المثال السابق فإن ذلك يساوي:

الحرارة يمكن تقديره كما يلي:  
 (0.0035 to 0.0121g O<sub>2</sub>/ g ds.h) بمعلومية أنه يتم استهلاك (3260Cal/g O<sub>2</sub>) . ان معدل إنبعاث

$$(0.0035 \text{ to } 0.0120) \times 3260 = 11 \text{ to } 39 \text{ Cal / g ds.h.}$$

وباستخدام نفس الافتراضات والحسابات السابقة في المثال السابق:  
 معدل التهوية المطلوب للمحافظة على درجة الحرارة عند 55 °م يساوي:

$$m(60.57 + 1.77 + 8.4) = 11 \text{ to } 39$$

$$m = 0.15 \text{ to } 0.55 \text{ g air/gds. h.}$$

كثافة الهواء 1.2 كجم/ متر<sup>3</sup>

إذن معدل التهوية اللازم في الذروة:

$$= \frac{0.15 \text{ g air / gds .hr}}{1.2 \text{ kg / m}^3 \times 10^3} = 0.000125 \text{ m}^3/\text{g ds.hr} = 125 \text{ m}^3 / \text{ton ds.hr}$$

$$= \frac{0.55 \text{ g air / gds .hr}}{1.2 \text{ kg / m}^3 \times 10^3} = 4.58 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{g ds.hr} = 458 \text{ m}^3 / \text{ton ds.hr}$$

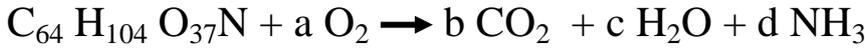
وهذا يتفق مع ما ورد في Haug (1982) حيث توقع أن يصل معدل التهوية في وقت الذروة إلى 3800 to 4800 ft<sup>3</sup>/h. ton ds لحمأة مع قطع خشبية . أما (Murray & Thompson) فقد أوضحوا أن معدل تهوية في وقت الذروة يساوي 4000 to 5000 ft<sup>3</sup>/h. ton ds غير كافي لحفظ درجة الحرارة لأقل من 60 °م لمخلوط الحمأة والخشب، ولكن وقت الذروة يحدث لوقت قصير وبالتالي نستطيع الموازنة بين اقتصاديات النظام ومدة الذروة.

يأخذ نظام التهوية هذا عدة أشكال منها: مروحة واحدة مربوطة بمصفوفة واحدة وأنظمة أخرى تستخدم وحدة مضخة الهواء المركزية لتوزع الهواء على قنوات للمصفوفات المتعددة .

ولا تنس الحد الأدنى من معدل التهوية ((MAR) Minimum Aeration Rate) والذي يلزم معرفته لتصميم وحدة التهوية بحيث تحدد في بداية العملية ونهايتها. ويقدر من القياسات الحقلية بحوالي 200 إلى 500 قدم<sup>3</sup>/س. طن جاف.

## أسئلة وتمارين

- 1- وضح أهمية توفير الهواء اللازم لإتمام عملية إنتاج الدبال من المخلفات العضوية.
- 2- بقايا عضوية تتكون من مخلفات بلدية ( $C_{64}H_{104}O_{37}N$ ) أحسب كمية الأوكسجين اللازم لإتمام عملية التحلل الهوائي (بعد وزن المعادلة الكيميائية) وكمية الأوكسجين اللازم لتأكسد الأمونيا. علما بأن التحلل الهوائي يحتاج الأوكسجين و نواتج التحلل هي ثاني أوكسيد الكربون، الماء و الأمونيا حسب المعادله التاليه:



- 3- يتم خلط بقايا عضوية تتكون من مخلفات بلدية ( $C_{64}H_{104}O_{37}N$ ) مع نشارة خشب كمادة أولية . حدد متطلبات التهوية اللازمة لإتمام عملية التحلل بافتراض تحلل المادة الصلبة المتطايرة بالموصفات التالية:

الماده العضوية (مخلفات بلدية):

المواد الصلبة المتطايرة = 65%. إتاحية المادة تحت ظروف التحلل = 55%.

الخشب:

المواد الصلبة المتطايرة = 95%. إتاحية المادة تحت ظروف التحلل = 20%.

- 4- يتم إنتاج السماد العضوي من 100 كجم مادة أولية صلبة تتكون من ( $C_{31}H_{50}O_{26}N$ ) تم خفض الكمية إلى 25 كجم وزن جاف بعد إتمام عملية الإنتاج. فإذا كانت مكونات المنتج النهائي (السماد العضوي) هي ( $C_{11}H_{14}O_4N$ ). حدد كمية الأوكسجين ( $O_2$ ) و نسبة الهواء الزائد (EAR) المطلوب لإتمام عملية التحلل الهوائي اللازم لـ 100 كجم من المادة الأولية (وزن جاف) باستخدام طريقة (Rich)?

- 5- مادة عضوية رطبة ( $C_{10}H_{19}O_3N$ ) نسبة المواد الصلبة فيها 30% , نحتاج لتحويلها إلى سماد عضوي مع تجفيفها لتصل إلى محتوى صلب 60% , نسبة المادة الصلبة المتطايرة فيها 73% والنهائية المتوقعة 42% , درجة الحرارة المحيطة 20°م والرطوبة النسبية 70% , والضغط الابتدائي الكلي 760 ملم زئبق، والهواء الخارج عند درجة حرارة 50°م أحسب:

- الرطوبة النسبية (W) للهواء الداخل و الخارج.

- وزن وحجم الهواء المطلوب.

- نسبة زيادة الهواء المطلوبة لإزالة الرطوبة EAR .

6- خليط عضوي يتكون من مائه عضوية مع أوراق جافة, وله المواصفات التالية:

مادة عضوية	أوراق جافة	
0.35 g BVS/g ds	0.20 g BVS/g ds	مادة صلبة متطايرة BVS
1.96 g O <sub>2</sub> /g BVS	1.15 g O <sub>2</sub> /g BVS	كمية الأوكسجين المطلوبة

أحسب من الجدول السابق ومستعينا بمعادلة الاتزان الحراري كتلة الأوكسجين اللازمة لتزويد الميكروبات لإتمام عملية التحلل؟

7- في التمرين السابق المكون من خليط المادة العضوية مع الأوراق الجافة، اذا كانت درجة الحرارة الخارجية (الهواء الداخل للجهاز) 20°م و 65% رطوبة نسبية، ودرجة حرارة الغاز الخارج من الجهاز 50°م هواء مشبع رطوبته النسبية 100%. أحسب ما يلي:

• الرطوبة النوعية (W) للهواء الداخل و الخارج.

• متطلبات التهوية لإزالة الحرارة الناتجة "المنبعثة".

8- بالرجوع الى التمرين السابق، أحسب معدل التهوية التي يجب أن تعطى على مدة زمنية 35 يوماً تمثل الدورة الكاملة لعملية التحلل. هل معدل التهوية ثابت؟ لماذا؟

9- ما هو الفرق بين الحد الأدنى من معدل التهوية و معدل التهوية اللازم في أوقات الذروة؟

10- حدد الشروط التي يكون ممكناً فيها افتراض أن كمية الحرارة المفقودة للمحيط الخارجي ( $Q_c$ ) قليلة و يمكن إهمالها في معادلة الاتزان حراري للمخلوط العضوي خلال التحلل؟

11- أكتب دالة رياضية تبين العلاقة بين كمية الطاقة الحرارية الناتجة عن تحلل المادة العضوية وكمية الأوكسجين المستهلك لإتمام عملية التحلل؟

**12-** اذا كان لديك مادة عضوية لا تعلم ما هي مكوناتها, وضح كيف يمكنك تقدير كمية الأوكسجين اللازمة لأتمام عملية التحلل الهوائي لهذه المادة اذا كانت نسبة الماده الصلبة المتطايره معلومة لديك؟

**13-** أيهما أعلى: كمية الأوكسجين المطلوبة لأكسدة النيتروجين أم كمية الأوكسجين المطلوبة لأكسدة الكربون في الماده العضوية؟ وضح لماذا؟ أيهما يستخدم في تقدير متطلبات التهوية في أجهزة الكمبوست؟

# الفصل السادس

## حركية التثبيط الحراري للميكروبات Microbial death kinetics

### مقدمة

من المعلوم أن كثيراً من المواد الداخلة في عملية إنتاج السماد العضوي يحتمل حملها لبعض مسببات الأمراض سواء الإنسانية، الحيوانية، أو النباتية وذلك لتركيبها العضوي المحتوي على العناصر الغذائية و الرطوبة اللازمة لنمو الميكروبات. كما وتحتوي أيضا على بعض المواد غير المرغوب فيها كبنور الحشاش. وتعتبر الحمأة الناتجة بعد معالجة مياه الصرف الصحي من أوضح الأمثلة الحاملة لمسببات الأمراض الإنسانية والحيوانية.

كما أن مخلفات المزارع تعتبر مصدر مباشر للكائنات الدقيقة المسببة للأمراض النباتية والحيوانية والتي تأتي من بعض أجزاء النباتات المصابة والمحتمل وجودها ضمن الخلطات المجهزة لإنتاج السماد العضوي، كما أن هذا النوع من المخلفات يحتوي غالباً على بذور نباتات غير مرغوبة (حشائش).

ولحسن الحظ فإن جميع هذه الكائنات البيولوجية (الحيوية) من كائنات دقيقة وبذور يمكن أن يتم التحكم فيها والقضاء عليها بصورة آمنة عن طريق التحكم برفع درجة الحرارة لمدة زمنية معينة خلال عملية تحلل السماد العضوي. ومن المعلوم بأن التثبيط الحراري للكائنات الدقيقة المسببة للأمراض (إنسانية، حيوانية، نباتية) والبذور يعتبر من الفوائد الرئيسية والهامة لعملية إنتاج السماد العضوي.

تموت الخلايا الحية جزئياً وبالتدريج خلال المرحلة النشطة من تحلل المخلفات العضوية والتي تنتج الحرارة بفعل النشاط الميكروبي، حيث يؤدي ارتفاع الحرارة الى التثبيط الحراري لأنزيمات هذه الكائنات الحية. فالإنزيمات التي يمكن أن يتم تثبيطها مؤقتاً بواسطة درجات الحرارة المتوسطة تثبط نهائياً ولا يمكن أن تستعيد نشاطها مرة أخرى عند تعرضها إلى درجات حرارة عالية لمدته زمنية محددة.

فإذا كان الإنزيم له القدرة على استعادة نشاطه مع وجود الحرارة فإن ذلك يعني أن جزءاً من هذا الإنزيم قد تحطم والجزء الآخر بقي على حاله، والجزء غير المحطم من هذا الإنزيم يقل سنوياً عند تعرضه إلى درجات حرارة محدودة. وبدون إنزيمات نشطة (نشاط إنزيمي) فإن الخلية الحية لا تستطيع القيام بوظائفها مما يؤدي الى موتها. بعض الأنزيمات (قليلة جداً) تستطيع أن تتحمل التعرض للحرارة العاليه لمدته طويلة، وبالتالي يمكن القول بأن الميكروبات الدقيقة حساسة جداً للحرارة وبذلك يعتبر التثبيط الحراري من أهم وسائل التحكم بالكائنات المسببة للأمراض وبذور الحشائش.

من خلال دراستنا لهذا الفصل سيتم توضيح حركية التثبيط الحراري، مناقشة العوامل ذات الأهمية والمؤثرة على خلو المنتج النهائي (السماد العضوي) من الأمراض، وكذلك بذور الحشائش المؤثرة سلباً على جودته. ويجب ملاحظة أن الحرارة ليست هي الميكنة الوحيدة لتثبيط الميكروبات الضارة خلال عملية إنتاج السماد العضوي. فهناك مثلاً عوامل أخرى كالمنافسة الشديدة بين مجاميع الميكروبات "النافعة" والتي تقوم بعملية تحلل المادة العضوية، كما أن بعض أنواع الميكروبات النافعة تنتج مواداً كيميائية تعمل على تثبيط منافسها. هذا بالإضافة الى عامل الوقت أيضاً حيث أن وجود هذه الكائنات غير المرغوبة في بيئة غير مناسبة (كبيئة السماد العضوي) يعمل على تسريع موتها الطبيعي.

ولكن من بين كل هذه العوامل التي تؤدي إلى موت الكائنات الممرضة، تعتبر الحرارة العامل الأسهل في التحكم والقياس خلال عملية الإنتاج، ولهذا فإن الهيئات التشريعية دائماً ما تستخدم درجة الحرارة كمقياس لتثبيط الميكروبات الضارة، ولهذا ستركز الحديث في هذا الفصل عن حركية تثبيط الميكروبات بواسطة الحرارة.

## 1-6- التشريعات الدولية:

هناك عدد من التشريعات المتبعة في دول مختلفة مثل كندا، أمريكا، استراليا، الخ، للتحكم بنوعية المنتج النهائي (السماذ العضوي) وتتشابه هذه التشريعات في كثير من المتطلبات، فهناك ثلاثة أنواع من السماذ العضوي يمكن إنتاجها حسب جودتها. وتتشابه جودة المنتج النهائي من حيث المادة العضوية الكلية، وجود المواد الغريبة، وكذلك العناصر النادرة والشروط الأخرى لا تختلف بين أنواع السماذ العضوي (إلا في النضج) ويعتبر السماذ العضوي من نوع AA و A أعلى جودة من B والذي يجب أن يتبع الحد الأدنى المقبول لشروط إنتاج السماذ العضوي الجيد. علما بأن الأنواع الثلاثة يجب أن تخضع لنفس الشروط من ناحية التحكم بالأمراض والنضوج.

تشارك معظم الهيئات الدولية في تطبيق توصيات هيئة حماية البيئة الأمريكية (USEPA) على السماذ العضوي الناتج من الحمأة حيث يتطلب أن تكون هذه المواصفات كما يلي:

- البكتيريا البرازية (Fecal coliforms) أقل من 1000 ميكروب/جرام من المادة الصلبة

<1000 mpn /gram solid

- تركيز غير ملحوظ من السالمونيلا (Salmonellae) أقل من 3 ميكروب/جرام من المادة الصلبة

<3 mpn/ gram solid

علما بأن عدد الميكروبات المعتمد يحدد بطريقة العدد الأكثر احتمالية

Most Probable Number (mpn).

فالسماذ العضوي الذي يحتمل أن يحتوي أمراض قد تصيب الإنسان يجب أن يحلل لهذه الأمراض ويجب أن لا تتعدى الحدود المسموح بها و يجب أن يتم إتباع أسلوب إنتاج محكم كما يلي:

- 1- إذا تم إنتاجه في حاوية محكمة: فيجب أن يتم المحافظة على درجة الحرارة خلال عملية إنتاج السماذ العضوي على درجة حرارة 55°م أو أكثر لمدة 3 أيام.

2- إذا تم إنتاج السماد العضوي عشوائياً على شكل كوم: فيجب أن تكون درجة حرارة المركز 55°م أو أكثر لمدة 15 يوم على الأقل على أن يتم تقليب الهيكل 5 مرات خلال مدة الإنتاج لضمان تعرض جميع أجزاء الكومة لدرجة حرارة المركز.

3- إذا تم إنتاج السماد العضوي على هيئة كوم ساكنة ذات تهوية: فيجب أن تكون درجة حرارة المركز 55°م أو أكثر لمدة 3 أيام على الأقل على أن يتم تغطية الكومة بمادة عازلة (سماد عضوي ناضج مثلاً أو نشارة خشب, الخ) لضمان وصول الحرارة العالية لجميع أجزاء الكومة.

أما بالنسبة للأمراض النباتية فلم تحظى بكثير من الاهتمام في التشريعات الدولية إلا أن كثير من الباحثين تعرض للأمراض النباتية (بكتيرية، فطرية، فيروسية، ونيماطودية) وتم اختبارها في بيئة السماد العضوي، وكانت التوصيات بأن بيئة السماد العضوي تعتبر كافية بدرجة عالية لتحطيم الكائنات الحية المسببة للأمراض النباتية وبالتالي فنفس الشروط المتبعة للحصول على سماد عضوي (من أساس حمأة) ذو جودة عادية يتم إتباعها عند التعامل مع مخلفات زراعية لضمان عدم تدوير الأمراض النباتية والقضاء على بذور الحشائش.

## 6-2- علاقة الوقت – درجة الحرارة (Time-Temperature Relationship)

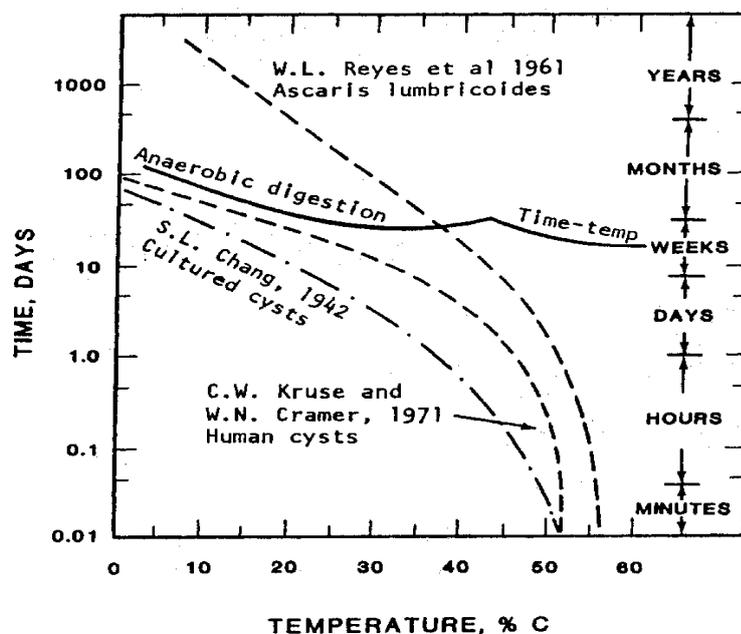
التعقيم هي عملية يتم فيها تحطيم جميع أشكال الحياة. تعتبر الحويصلات البكتيرية من أكثر الأشكال الميكروبية تحملاً للحرارة، فهي تستطيع أن تتحمل حرارة جافة أكثر من 100°م، - وهي درجة غليان الماء-، فيحتاج التعقيم بواسطة الحرارة الجافة إلى حرارة تساوي 180°م لمدة 2-3 ساعة لضمان التثبيت الكامل للميكروبات و حويصلاتها. بينما يحتاج التعقيم الرطب إلى 15 دقيقة فقط عند درجة حرارة 115°م وضغط 15 /بوصة مربعة. قام كثير من الباحثين بدراسة أنواع عديدة من الكائنات المسببة للأمراض خلال بيئة السماد العضوي ووجدوا أن 70°م لمدة 30 دقيقة تعتبر كافية لتحطيم هذه الميكروبات الممرضة في حمأة الصرف الصحي والجدول (5-1) يوضح هذه العلاقة.

جدول (6-1): علاقة الوقت مع درجة الحرارة لتحطيم الميكروبات. المصدر:

Microbe	Temperature (°C)	Time (min)
Salmonella typhosa	55- 60	30
	60	20

Salmonella sp.	55	60
	60	15-20
Shigella sp.	55	60
Escherichia Coli	55	60
	60	15-20

من هذه البيانات يتضح أن عملية التثبيط الحراري عبارة عن علاقة عكسية بين درجة الحرارة والوقت، فكلما زادت درجة الحرارة ينخفض الوقت اللازم لعملية التثبيط. فدرجة حرارة عالية لمدة زمنية قصيرة أو درجة حرارة أقل لمدة زمنية أطول لها نفس الدرجة من التأثير والمنحنيات التالية توضح هذه العلاقة لميكروبات مختلفة:



شكل (1-6): التثبيط الحراري لميكروبات مختلفة. المصدر:

أما بالنسبة لدرجة الحرارة الدنيا المحددة بواسطة USEPA (50°م)، فقد بينت بعض الدراسات أن كثافة بيوض الاسكارس انخفضت بمقدار دورتين لوغاريتميتين (2 log<sub>10</sub>) في حوالي 5 دقائق عند 55°م و انخفضت بمقدار دورتين لوغاريتميتين في 60 دقيقة عند 51°م ولكن لم يحدث انخفاض ملحوظ بعد 2 ساعة عند 47°م.

ولضمان حدوث عملية التثبيط، يجب أن تكون درجة الحرارة في مستوى أعلى من الحد الأدنى والذي تم تحديده من قبل الهيئة الأمريكية لحماية البيئة (USEPA) ليكون 50°م.

### 3-6- نماذج حركية التثبيط الحراري:

#### 1-3-6- نموذج التحطيم من الدرجة الأولى:

من المؤلف أن نشاهد خط مستقيم (أو شبه مستقيم) من خلال رسم درجة حرارة الوسط على أوراق شبه لوغاريتمية (يكون المحور السيني الأفقي خطياً بينما يكون المحور الصادي العامودي لوغاريتمياً). وبالتالي فإن حركية التثبيط ستكون معادلة من الدرجة الأولى أو رياضياً كما يلي:

$$\frac{dn}{dt} = -K_d n \quad (1)$$

حيث:

$$n = \text{تركيز الخلية الحية} \quad K_d = \text{معامل التثبيط الحراري.}$$

وتسمى معادلة (1) عادة بقانون تشيك (Chick's law) والذي كتب في عام 1908م عن ظاهرة الموت للميكروبات والذي يحدث حسب علاقة أسية ولا تزال هذه المعادلة تستخدم على نطاق واسع لنمذجة حركية التثبيط للخلايا الميكروبية وحوصلاتها. وهناك بعض العلاقات غير الأسية الأقل انتشاراً ولكن لا تغطي في هذا الكتاب.

يعتمد قانون تشيك على أساس أن معدل التثبيط الأسي للميكروبات يتناسب عكسياً مع تركيز الميكروبات الحية المتبقية بمعامل ثابت يسمى معامل التثبيط الحراري ( $K_d$ ) عند درجة حراره ثابتة. عند اجراء التكامل على المعادلة (1) أعلاه من تركيز الخلايا الابتدائي  $n_0$  إلى  $n_t$  عند زمن  $t$  ينتج:

$$\int_{n_0}^{n_t} \frac{dn}{n} = -k_d \int_{t_0}^{t_t} dt$$

$$[\ln n_t - \ln n_0] = -k_d [t_t - t_0]$$

$$\ln n_t = \ln n_0 - k_d t_t$$

$$n_t = e^{\ln n_0} \times e^{-k_d t_t}$$

$$n_t = n_0 e^{(-k_d t)} \quad (2)$$

وعند أخذ اللوغاريتمات للطرفين وبعد الترتيب ينتج ما يلي:

$$\ln n_t = \ln n_0 + \ln e^{(-k_d t)}$$

$$\ln n_t - \ln n_0 = \ln e^{(-k_d t)}$$

$$\ln \frac{n_t}{n_0} = -k_d t$$

$$t = \frac{\ln \left( \frac{n_0}{n_t} \right)}{K_d} \quad (3)$$

وبالتحويل إلى الأساس 10 (لوغاريتم الأساس 10) وباعتبار خفض لوغاريتم واحد في تركيز الخلايا (خفض 90%)، نحصل على ثابت الخفض العشري:

Microbial death time constant ( $D_r$ )

$$t_{90} = D_r = \frac{2.303}{k_d} \quad (4)$$

حيث  $D_r$  هو ثابت الخفض العشري للميكروبات وهو عبارة عن الوقت المطلوب بالدقيقة لتحقيق خفض في عدد الميكروبات الحية بمعدل عشرة أضعاف تركيزها (عددتها) الابتدائي، والجدول (2-6) يعطي قيم  $D_r$  المسجلة في الأبحاث لأنواع مختلفة من الميكروبات. جدول (2-6): عامل الخفض العشري لأنواع مختلفة من الميكروبات. المصدر:

Microbes	$D_r$ (min)	
	55°C	60°C
Adenovirus, 12 NIAID	11	0.17
Poliovirus, type 1	1.8	1.5
Ascaris ova	-	1.3
Histolytica cysts	44	25
Salmonella	80	7.5
Bacteriophage f2	267	47

#### 6-4-2- علاقة معامل التثبيط الحراري ( $K_d$ ) مع درجة الحرارة:

عندما تتغير درجة الحرارة، تتغير تبعاً لها قيمة معامل التثبيط الحراري  $K_d$ . إلا أن هذا التغير يتبع نمطاً غير خطي و يحسب من خلال معادلة أرهينيس المشهورة :

$$K_d = Ce^{(-E_d/RT_k)} \quad (5)$$

حيث:

$T_k$  = درجة الحرارة المطلقة بالكلفن (درجة الحرارة بالكلفن = درجة الحرارة بالسيلسيوس + 273.15)

$E_d$  = طاقة التثبيط (كيلو كالوري/ مول)

$R$  = ثابت الغازات العالمي ( $1.986 \times 10^{-3}$  كيلو كالوري/ مول. كلفن) (المصدر: مور وآخرون 2008).

وتقدر الطاقة اللازمة للتثبيط لفئات الميكروبات المختلفة من 50 – 100 كيلو كالوري/ مول. وهذا يدل على أن التثبيط الحراري للميكروبات أكثر حساسية لدرجة الحرارة من معظم التفاعلات الكيميائية الأخرى.

ويمكن تحويل هذه المعادلة إلى الصورة الخطية لتسهيل الحصول على كل من الثابت ( $C$ ) والطاقة اللازمة للتثبيط ( $E_d$ ) بأخذ اللوغاريتم لطرفي معادلة (5) ينتج:

$$\text{Log}_{10}K_d = \text{Log}_{10} C - (E_d / R)(1/T_k) \quad (6)$$

وبالتالي يمكن أن نقوم برسم لوغاريتم معامل التثبيط الحراري ( $K_d$ ) مقابل معكوس درجة الحرارة المطلقة ( $1/T_k$ ) لتحديد كلا من الثابت  $C$  (من تقاطع الخط المستقيم الناتج مع محور الصادات) والطاقة اللازمة للتثبيط ( $E_d$ ) من ميل الخط الناتج من المعادلة الخطية أعلاه.

#### مثال 6-1:

حدد قيم معامل التثبيط الحراري  $K_d$ ، وطاقة التثبيط  $E_d$  لميكروب *A. Lumbricoides* من المعلومات المعطاة في الجدول التالي:

Temperature (°C)	$n_t/n_0$	Time t (min)
50	0.001	270
60	0.001	45
70	0.001	7.5

### الحل:

يمكن حساب قيمة معامل التثبيت الحراري ( $K_d$ ) باستخدام المعادلة التالية:

$$K_d = \frac{\text{Ln}\left(\frac{n_0}{n_t}\right)}{t}$$

عند درجة الحرارة 50 °م:

$$K_d = \frac{\text{Ln}\left(\frac{1}{0.001}\right)}{270} = 0.0256 \text{ min}^{-1}$$

عند درجة الحرارة 60 °م:

$$K_d = \frac{\text{Ln}\left(\frac{1}{0.001}\right)}{45} = 0.1535 \text{ min}^{-1}$$

عند درجة الحرارة 70 °م:

$$K_d = \frac{\text{Ln}\left(\frac{1}{0.001}\right)}{7.5} = 0.9210 \text{ min}^{-1}$$

يمكن حساب قيمة  $K_d$  عند درجات الحرارة الأخرى بنفس الطريقة. ثم يتم رسم

العلاقة بين  $K_d$  و  $1/T_k$  من الجدول التالي:

Temp. (°C)	$n_t/n_0$	Time (t min)	$K_d$ (min <sup>-1</sup> )	$(1/T_k) \cdot 10^{-4}$
50	0.001	270	0.0256	30.96
60	0.001	45	0.1540	30.49
70	0.001	7.5	0.9210	30.03

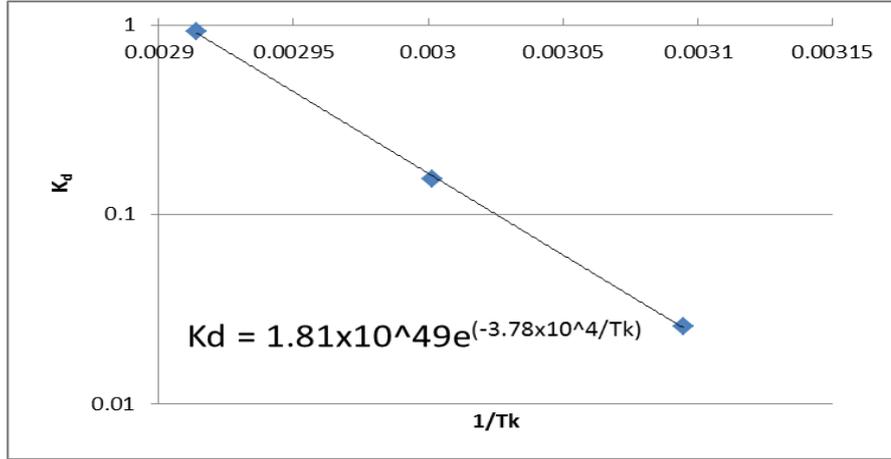
يظهر من الرسم علاقة خطية بين معامل التنشيط الحراري و معكوس درجة الحرارة.

نوجد

$E_d$  (طاقة التنشيط)

$E_d = 75$  كيلو كالوري / مول.

$C = 1.81 \times 10^4$ .



### مثال 2-6:

في المثال السابق, أحسب ثابت الخفض العشري (Microbial death time constant) ( $D_r$ ) عند درجات الحرارة المختلفة.

### الحل:

نحتاج لحساب قيمة ( $D_r$ ), المعادلة التالية:

$$t_{90} = D_r = 2.303/K_d$$

فتكون قيم  $D_r$  كما يلي:

Temp. (°C)	$K_d$ (min <sup>-1</sup> )	$D_r$ (min)
50	0.0256	90.0
60	0.1540	15.0
70	0.9210	2.50

## أسئلة وتمارين

- 1- حدد قيم معامل التثبيط الحراري  $K_d$ ، وطاقة التثبيط  $E_d$  لميكروب في كومة من المخلفات العضوية من المعلومات المعطاة في الجدول التالي:

Temperature (°C)	$n_0/n_t$	Time t (min)
55	1000	150
65	1000	25
72	1000	6

- 2- اذا علمت أن ثابت الخفض العشري  $D_r$  لميكروب في كومة مخلفات عضوية عند درجة حراره  $50^\circ \text{م} = 0.3$  دقيقة. احسب:
- الزمن اللازم بالدقيقة لتخفيض عدد الميكروبات من 100000 (الأبتدائي) الى أقل من ميكروب واحد (القضاء على الميكروبات نهائيا).
  - معامل التثبيط الحراري ( $K_d$ ).
- 3- لماذا يحتاج التعقيم الرطب الى وقت أقل من التعقيم الجاف لإعطاء نفس نتيجة التعقيم؟
- 4- ما هي درجة الحرارة و الزمن اللازمين للتعقيم خلال عملية إنتاج السماد العضوي من كومة مخلفات عضوية ساكنة ذات تهوية؟ لماذا تختلف عن درجة الحرارة و الزمن اللازمين للتعقيم خلال عملية إنتاج السماد العضوي في حاوية محكمة؟
- 5- وضح كيف يؤدي ارتفاع الحرارة الى موت الخلايا الحية؟ ما هي العوامل الأخرى التي تؤدي أيضا الى موت الخلايا الحية؟ لماذا تعتبر الحرارة أهم هذه العوامل؟

# الفصل السابع

## نظام إنتاج السماد العضوي العام

### General composting production system

مقدمة:

#### 1-7- أنظمة إنتاج السماد العضوي:

في هذا الجزء سوف نتعرض إلى أهم الأنواع المختلفة المتاحة لإنتاج السماد العضوي، مع إعطاء نبذة قصيرة عنها.

#### 1-1-7- طريقة أندور Indore Method

إن أول نظام حقيقي لإنتاج السماد العضوي على مستوى المزرعة في العصر الحديث ينسب للسيد البرت هوارد (Sir Albert Howerd) – عالم محاصيل بريطاني في معهد أندور (1905 – 1934) في الهند حيث لاحظ أن التربة يجب أن تكون خصبة لإنتاج نبات صحي مقاوم للأمراض، والخصوبة ترتبط بدرجة كبيرة مع كمية السماد العضوي (Humus) فيها.

بعد ذلك حرص السيد البرت على إيجاد طريقة عملية لرفع محتوى المادة العضوية في الترب الزراعية، ومن هذا المنطلق وضع أول نظام مقنن في العصر الحديث لإنتاج السماد العضوي عرف فيما بعد بطريقة أندور.

تتلخص طريقة أندور لإنتاج السماد العضوي بالخطوات التالية:

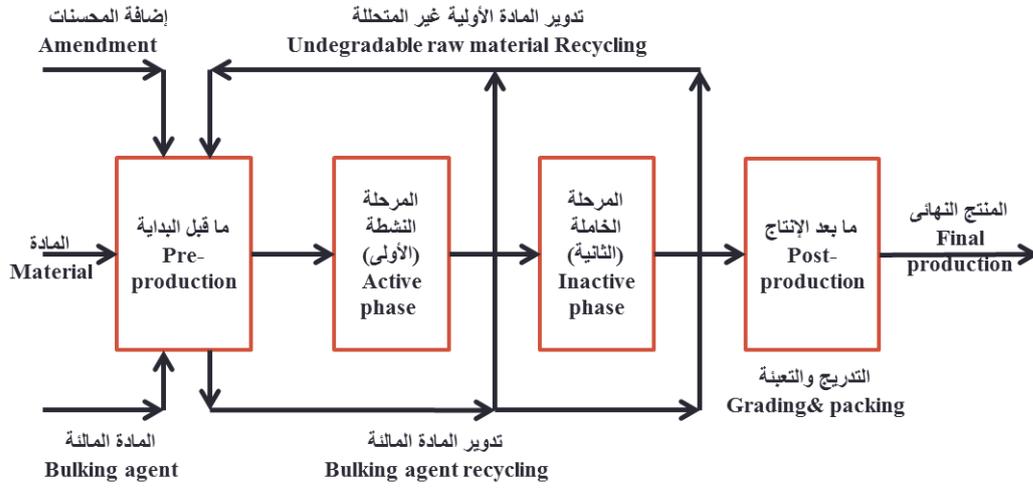
1. توضع طبقة من نشارة الخشب أو القش أو القصاصات النباتية على الأرض لكي تكون القاعدة ولا يهيم سمكها ولكن المهم أن تكون قادره على امتصاص الماء الزائد والسماح بمرور الهواء.
  2. بعد ذلك يتم بناء هيكل الكومة (Pile) على شكل طبقات، الطبقة الأولى على سمك 15 سم من المادة الخضراء (كمخلفات الأشجار) ، ثم 5 سم طبقة أخرى من المخلفات الحيوانية، ثم طبقة خفيفة من الحجر الجيري (Lime Stone) ويلاحظ أن نسبة المادة الخضراء إلى المخلفات الحيوانية تساوي 3:1 على الترتيب.
  3. يعاد تكرار تكديس الطبقات السابقة على نفس الترتيب حتى يصل ارتفاع الهيكل (الكومة) إلى 1.5 متر.
  4. تقلب الكومة (تخلط) كل 6 أسابيع ولمدة 3 أشهر.
- نجحت طريقة أندور بسبب:

- النوعية الجيدة للسماد العضوي الناتج، حيث ترتفع درجة الحرارة بدرجة كافية لقتل معظم الأمراض النباتية (الكائنات المسببة) وبذور الحشائش.
- إضافة إلى ذلك فإن انبعاث الروائح المزعجة يكون محدوداً بشكل كبير. ولذلك انتشرت هذه الطريقة بسرعة في الإمبراطورية البريطانية آنذاك، حيث استطاع المزارعون استغلال المخلفات الزراعية والتي كانت تحرق في السابق لإنتاج سماد عضوي جيد النوعية .

**وتعتبر هذه الطريقة الخطوة الأولى لتطوير الأنظمة الحديثة لسببين:**

- أولاً:** أعطت (حددت) وصفاً محدداً للمخلوط الأولى والتي لم تكن متبعه في السابق، حيث أعطت نتائج هذا النظام مؤشرات أفضل من اقتصار الإنتاج على استخدام مادة أولية واحدة، لذلك دخل مصطلح تهيئة المخلوط الأولى Feed Conditioning في مفهوم إدارة المخلفات الزراعية.

**ثانياً:** أدخلت طريقة أندور مفهوم تسلسل العمليات (Procedure) وأهميتها في إنتاج السماد العضوي. ويوضح الشكل (1-7) النظام العام لإنتاج السماد العضوي.



**شكل (1-7):** النظام العام لإنتاج السماد العضوي. المصدر:

## 2-7- الفرق بين المحسنات Amendments والمادة المائنة Bulking Agents

يقصد بالمحسنات أي مادة تضاف للمادة الأولية بقصد تحسين خصائصها الرطوبية

أو الحرارية، وهناك نوعان منها:

- مادة محسنة بقصد التجفيف (تخفيض المحتوى الرطوبي الى حد معين).
- مادة محسنة بقصد رفع المحتوى الحراري (الطاقة) للمخلوط الأولي.

أما المادة المائنة فهي أي مادة عضوية (كقطع الخشب) أو غير عضوية (الحجر أو قطع الكفريات) تضاف إلى المادة الأولية بقصد تحسين مواصفاتها الفيزيائية، كتحسين القوام للحصول على مسامية كافية تسمح بتكوين الجيوب الهوائية لتسهيل مرور الهواء خلال كتلة المادة العضوية.

## 3-7- مراحل الإنتاج:

بالعودة الى مخطط النظام العام لإنتاج السماد العضوي شكل (1-7) ، يمكن تقسيم

مراحل الإنتاج إلى مرحلتين:

### 1-3-7- المرحلة الأولى:

وتسمى المرحلة النشطة (Active phase) وتتميز باستهلاك معدل عالي من الأوكسجين، حرارة عالية (أكبر من 45°م)، انخفاض عالي في المادة الصلبة المتطايرة القابلة للتحلل

(Volatile Solid) واحتمالية عالية لانبعاث الروائح المزعجة. يستخدم في هذه المرحلة أنظمة الإنتاج ذات الصفوف الهوائية (Windrows System) مع التقليب الميكانيكي، أو نظام الصفوف الهوائية ذات التهوية الميكانيكية أو غير الميكانيكية أو نظام الحاويات (Bioreactors or Closed systems).

### 7-3-2- المرحلة الثانية:

يطلق عليها المرحلة غير النشطة (Inactive phase) أو المعالجة (Curing phase) ولا يوجد في العادة حد فاصل بين المرحلة الأولى والثانية. وقد يستخدم فيها صفوف ذات تهوية أو ساكنة (بدون تهوية) أو حتى حاويات. وتتميز هذه المرحلة بدرجات حرارة أقل، معدل استهلاك للأكسجين منخفض، وكذلك احتمالية منخفضة لانبعاث الروائح المزعجة.

في هذه المرحلة (المرحلة الثانية أو مرحلة المعالجة أو مرحلة النضوج) يتوفر الوقت اللازم:

- 1- لتحلل المواد العضوية الصعبة.
- 2- للتغلب على التحلل البطيء نتيجة محدودية بعض العناصر الغذائية المتوفرة للميكروبات.
- 3- إعادة تكوين مستعمرات الكائنات الحية الدقيقة المحبة لدرجات الحرارة المتوسطة، والتي تفيد في نضوج الدبال والتي تعتبر مفيدة عند استعمال السماد لتحسين خواص وخصوبة التربة.

تعتبر المرحلة الأولى (النشطة) من مراحل الإنتاج الأكثر أهمية في عملية إنتاج السماد العضوي والتي تحتاج الى تطبيق مفاهيم العلوم الهندسية وعمليات التحكم وذلك للحاجة لتقليل انبعاث الروائح المزعجة، توفير معدلات التهوية اللازمة لتوفير الأوكسجين وللتحكم بدرجة الحرارة. أما مرحلة النضوج فقد حظيت باهتمام أقل من الجانب الهندسي، وغالباً لا تستحوذ على الاهتمام الأكبر أثناء عملية تصميم نظم إنتاج السماد العضوي. وهذا طبعاً يحتاج الى إعادة النظر حيث أن التصميم الأمثل يجب أن يأخذ بالاعتبار كلا المرحلتين.

### 7-4- تصنيف أنظمة إنتاج السماد العضوي

هناك عدة تصنيفات لأنظمة إنتاج السماد العضوي، فمن هذه التصنيفات الشائعة:

- نظم ميكانيكية. - نظم مغلقة.

- حاويات. - نظم مفتوحة.

غير أن مثل هذه التصنيفات لا تعطي في الغالب صورة صحيحة حول طبيعة النظام المستخدم بسبب وجود تداخل ولبس بين هذه المسميات. فهناك على سبيل المثال نظم ميكانيكية مفتوحة وأخرى مغلقة. وللتخلص من هذه الإشكالية سوف نعتمد التصنيفات المستخدمة في أمريكا الشمالية وعلى النحو التالي:

• نظام المفاعل (حاوية) Reactor Process

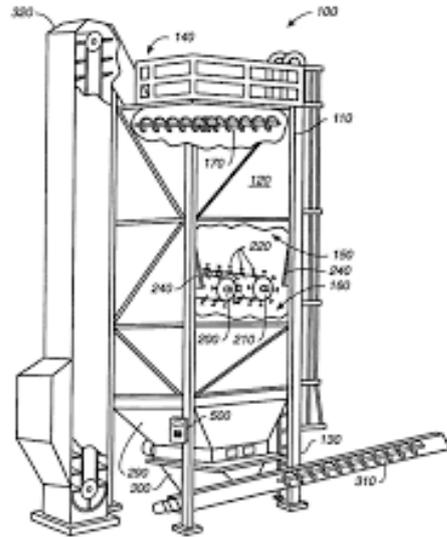
• نظام من غير مفاعل (غير حاوية) Non-Reactor Process

وجميعها قد تزود بأنظمة ميكانيكية، وكذلك قد تكون مغطاه بمظلة أو غير ذلك، وبالتالي تمكن هذا التصنيف أن ينهي مسألة التداخل بين الأنظمة المختلفة.

#### 1-4-7- نظام المفاعل (حاوية) Reactor Process



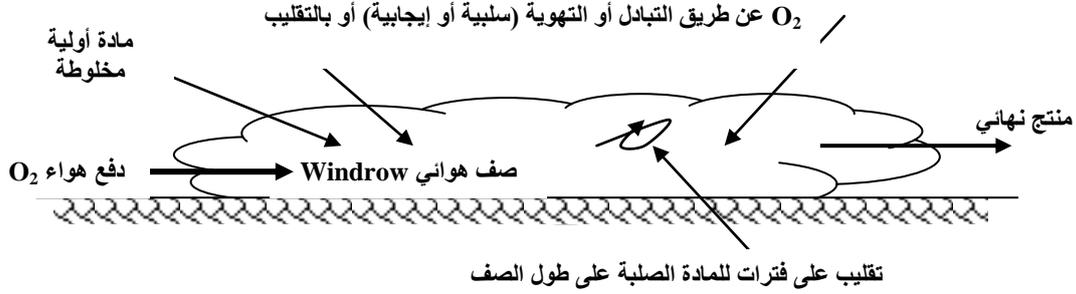
**شكل (2-7):** الكومبوستر الدوراني الأفقي. المصدر:



**شكل (3-7):** الكومبوستر الميكانيكي الرأسى. المصدر:

## 2-4-7- أنظمة الإنتاج بغير الحاويات Non – Reactor Process

يوضح الشكل (4-7) نظام من أنظمة الإنتاج بغير الحاويات (المكشوفة):



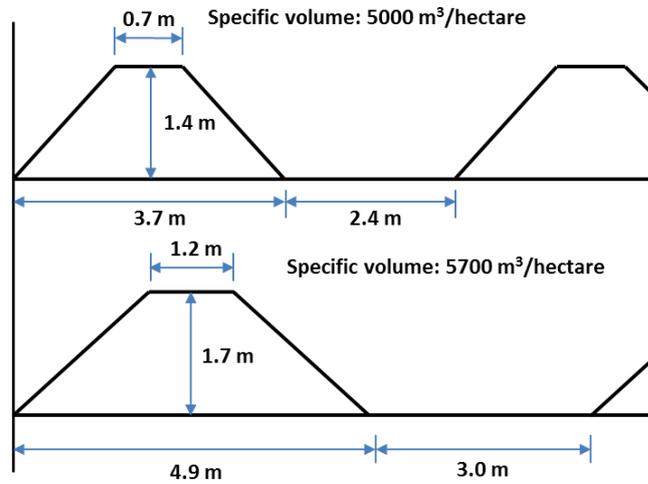
شكل (4-7): نظام من أنظمة الإنتاج المفتوحة (المكشوفة). المصدر:

وتنقسم هذه الأنواع (المفتوحة) إلى: أنظمة ذات أرضيات متحركة، وأنظمة ذات أرضيات ساكنة. وتعني الأولى أن كتلة المادة المستخدمة في إنتاج الدبال تتحرك خلال عملية الإنتاج إما دورياً أو بأي طريقة أخرى من طرق التقليب.

### 3-4-7- أنظمة إنتاج السماد العضوي بصفوف هوائية مع التقليب (التحريك)

تعتبر هذه الطريقة من أكثر أنواع الأنظمة المفتوحة شيوعاً. عادة توضع المادة الأولية المخلوطة في صفوف معرضة للهواء الخارجي وتقلب (أو تحرك) دورياً، ويتم ذلك عادة بواسطة أجهزة ميكانيكية. يختلف طول وعرض وارتفاع الكومة (الصف الهوائي windrow) بالاعتماد على طبيعة المادة الأولية وأنواع أجهزة التقليب المتاحة (المستخدمة). ويتم تزويد الميكروبات النافعة (التي تقوم بتحليل المادة العضوية) بالأوكسجين أساسياً عن طريق التهوية الطبيعية الناتجة عن حركة الغازات الحارة في داخل المادة العضوية إلى الخارج، وجزئياً عن طريق التقليب.

أما في أنظمة التهوية الميكانيكية، فيتم إما سحب الهواء (تهوية سالبة) أو دفعه (تهوية موجبة) قسرياً خلال كتلة المادة الأولية بواسطة مراوح (Blowers). ويتم استخدام مصطلح التهوية القسرية بغض النظر عن كونها سالبة أو موجبة. وعلى أية حال يجب أن يصاحب هذا النوع من أنظمة التهوية نوعاً من التقليب لإعادة بناء هيكل الكومة، كما ويجب التنويه على أن عملية الخلط تتم في مقطع الصف الهوائي (بعرض وارتفاع الكومة) ولكن لن يحدث بشكل كافي خلط (تجانس) على طول الصف. يوضح الشكل (5-7) هذا النوع من الأنظمة:



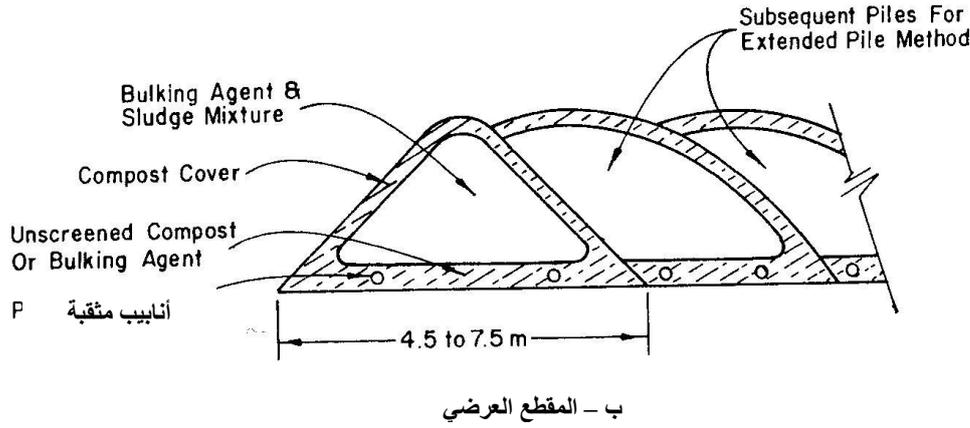
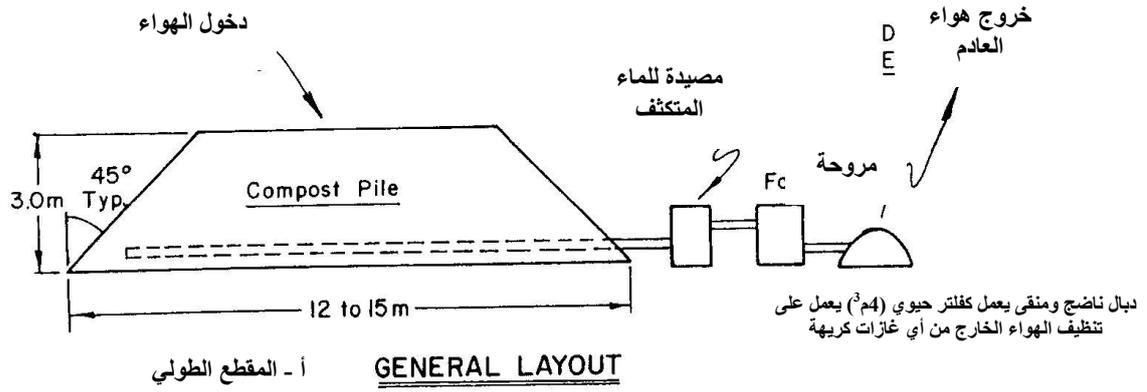
شكل (5-7): نظم التهوية الميكانيكية للصفوف. المصدر:

وتختلف أبعاد نظام إنتاج السماد العضوي باختلاف أبعاد معدات التقليب وعادة تنفذ هذه الأنظمة على عدة مستويات، تدرج من أنظمة ذات تكنولوجيا منخفضة الى متوسطة وأخيراً عالية التقنيه، وذلك حسب الميزانية المتاحة والقرب من المدن وكذلك نوعية المنتج النهائي (السماد العضوي) والمدة المتاحة لإنتاجه.

#### 7-4-4- أنظمة إنتاج السماد العضوي بصفوف هوائية ساكنة Static Windrow (System)

تعتبر أنظمة الإنتاج بصفوف ساكنة ذات تهوية من الأمثلة الشائعة أيضاً في شمال أمريكا وخاصة لمعالجة المادة الأولية الرطبة (كالحمأة)، حيث تخلط الحمأة (المادة الأولية) بمادة مالئة (Bulking Agent) كقطع الخشب، وتشكل على هيئة كومة كبيرة (Pile). حيث توفر المادة المالئة الهيكل المسامي المستقر وتسمح بوجود فراغات بينية لتزويد الكائنات الحية النافعة بالأكسجين بدون الحاجة إلى تحريك أو تقليب دوري. كذلك يلحق بهذا النوع من الأنظمة عادة نظام توزيع للهواء لكي يسمح بالتوزيع الهوائي الإيجابي (الدفء)، أو السلبي (السحب) ولا يلزم أن يزود هذا النوع من أنظمة الإنتاج بأي نوع من معدات التقليل، حيث تُشكل الصفوف الهوائية على أساس تغذية على هيئة دفعات (Batch System).

بعض الأنظمة الحديثة من هذا النوع تستخدم نوع محدود من التقليل بهدف خلط المادة لتفكيك الكتل الكبيرة ثم إعادة تشكيلها على هيئة صفوف لإتمام عملية التحلل وبهذا يصبح هذا النوع من الأنظمة شبيهه بالنوع السابق (أنظمة إنتاج السماد العضوي بصفوف هوائية مع التقليل) إلا أن التحريك هنا يتم بصورة أقل من التقليل الدوري المستخدم في النظام السابق. يوضح الشكل (6-7) مقطع طولي وآخر عرضي لنظام إنتاج بصفوف هوائية ساكنة.



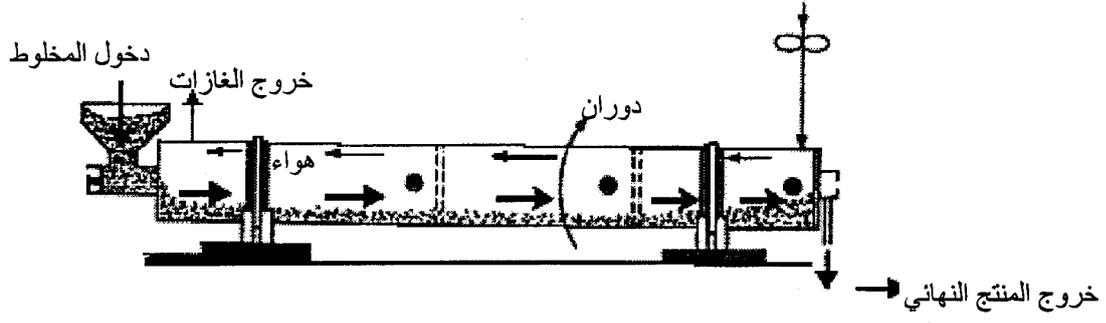
شكل (6-7): مقطع طولي وآخر عرضي لنظام إنتاج بصفوف هوائية ساكنة. المصدر:

#### 5-4-7- أنظمة إنتاج السماد العضوي باستخدام المفاعلات Reactors أو الحاويات

تصنف هذه الأنواع أولاً حسب دخول المخلوط الأولي إليها: أفقية أو عمودية التغذية، فالأفقية تتضمن الكثير من الأجهزة المختلفة حيث يميل الجهاز (المفاعل) قليلاً عن المستوى الأفقي لحدث المخلوط على الحركة في الاتجاه المعاكس (لنقطة التفريغ) كما هو موضح بالشكل (7-7):

والأنواع الأفقية عبارة عن أسطوانة معدنية ذات ميل بسيط يطلق عليها (الكومبوستر الدوراني) تدار بسرعة منخفضة (4-6 لفة/د) عن طريق محرك وصندوق تروس. الأسطوانة لها مدخل لوضع المخلفات في بدايتها ومخرج لخروج السماد في نهايتها وتحتوى من الداخل على زوائد حديدية في الجدران تساعد في عملية التقليب.

يتم ضخ الهواء الى الأسطوانة عن طريق ماسورة في منتصفها تقريبا لامداد الكائنات الحية بالأكسجين.



**شكل (7-7):** رسم تخطيطي يوضح كومبوستر لإنتاج الدبال باستخدام التغذية الأفقية. المصدر:

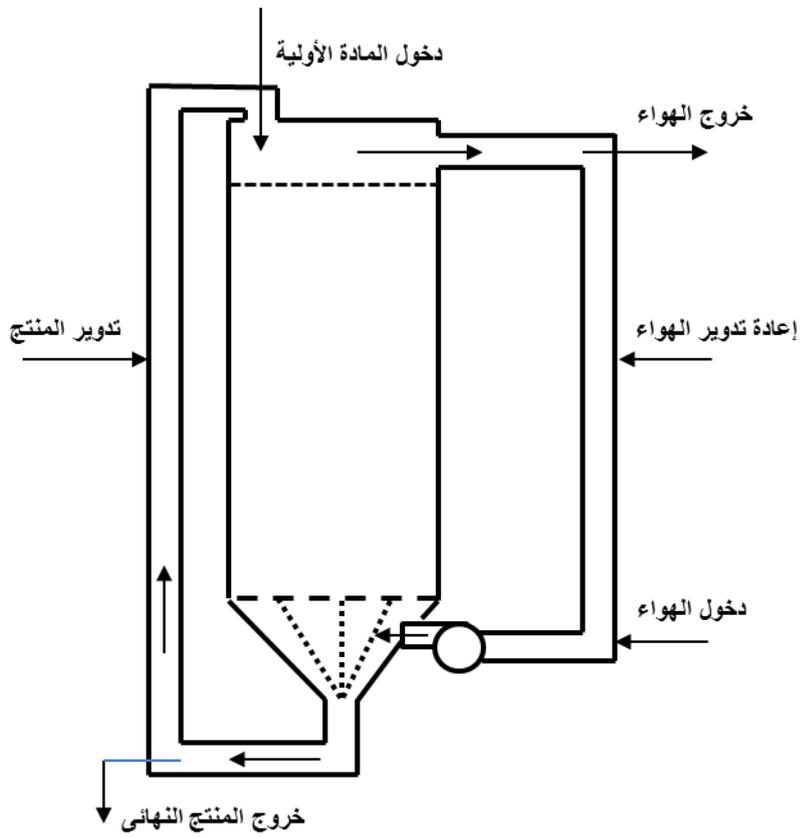
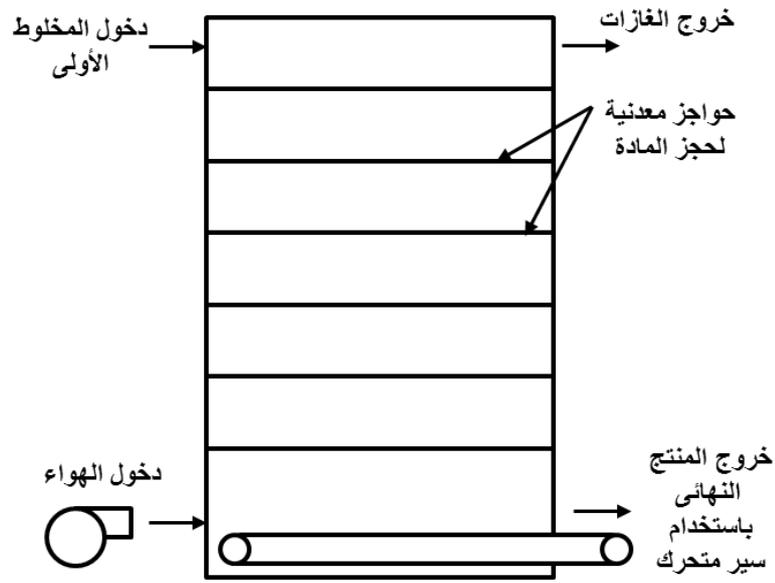




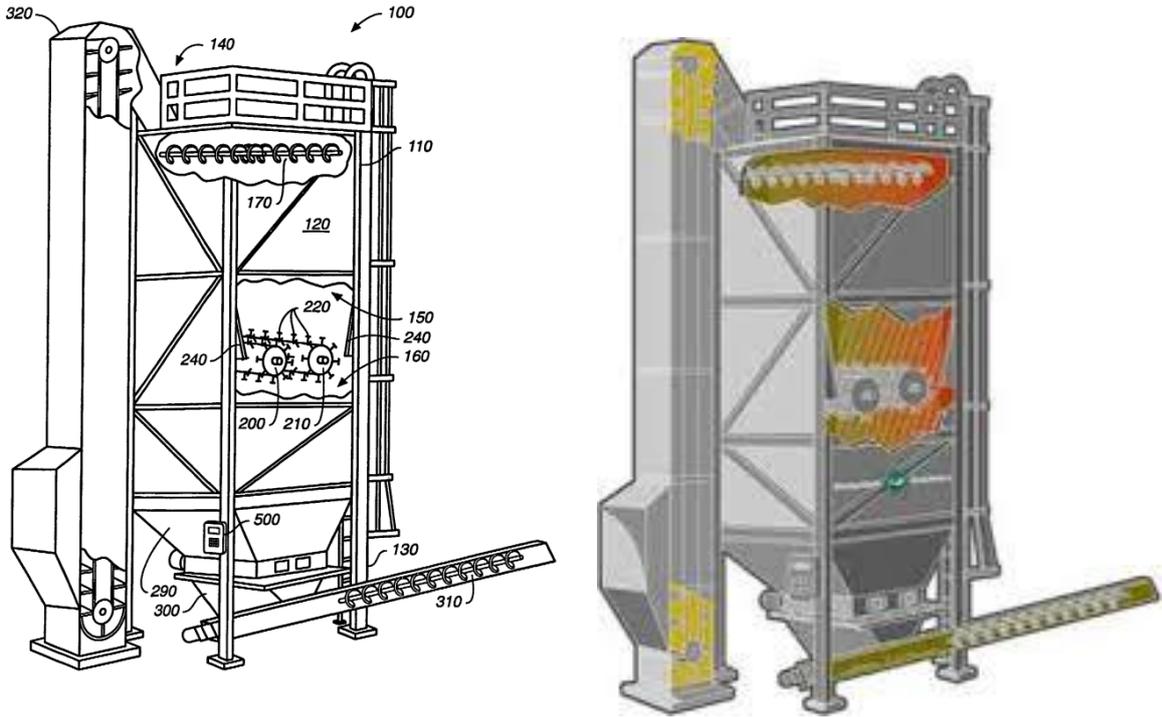
**شكل (7-8):** نماذج مختلفة من الكومبوستر الدوراني الأفقي. المصدر:

وقد تزود هذه الأنظمة بسيور نقل لتفريغ وتعبئة الجهاز، وعملية التقليل للمادة تتم عن طريق إدارة الجهاز كامل. وهناك العديد من هذه الأنظمة تتم تغذيتها بنظام الدفعات (Batches). حيث يتم تحميل الجهاز بالمخلوط الأولي بعد إتمام العمليات الأولية عليه ويترك داخل الجهاز لمدة 7-14 يوماً لإتمام مرحلة الإنتاج النشطة. وفي الغالب يتم تزويد هذه الأنظمة بتهوية ميكانيكية متحكم بها عن طريق درجة الحرارة. ونظام التهوية إما أن يكون إيجابي أو سلبي أو بالتعاقب، ويتم تفريغ الجهاز لإتمام مرحلة النضوج في نظم صفوف هوائية لعدة شهور.

أما بالنسبة لنظم الحاويات ذات التغذية العمودية فيوجد منها أنواع مختلفة نذكر منها الشكل (7-9)، (7-10) والذي يمثل نظم الحاويات ذات التغذية العمودية الأكثر شيوعاً:



شكل (9-7): نظم الحاويات ذات التغذية العمودية. المصدر:

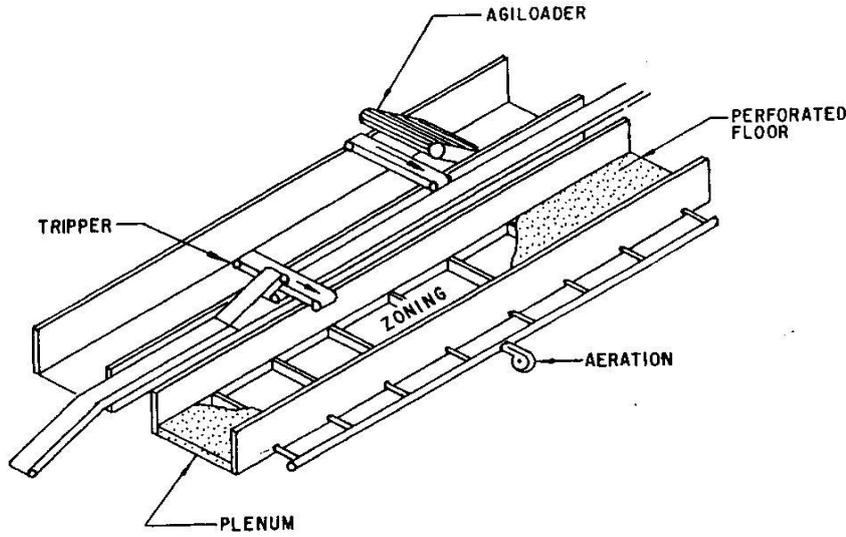


شكل (7-10): نظم أخرى للحاويات ذات التغذية العمودية. المصدر:

وتحديداً هناك نوع يسمى (Biocell) أو الخلية الحيوية: وهذا النوع صمم في ألمانيا بواسطة شركة Dambach، يتكون الجهاز من برج رأسي يحتوي على 8 – 10 أرضيات (أجزاء) فوق بعضها البعض. أرضية كل جزء عبارة عن شرائح من الألمنيوم متحركة، يمكن تحريكها للوضع الأفقي (غلق) أو الوضع الرأسي (الفتح) ليتحرك المخلوط الأولي من الأعلى إلى الأسفل طبقة واحدة. ويتوفر الأوكسجين في هذا النظام عن طريق التهوية القسرية. يوضع المخلوط الأولي بالطبقة الأولى من الأعلى بعمق 1 متر، ثم تحجز لمدة 3 أيام بعدها تتحرك إلى الطبقة التي أسفل منها، ثم تعبأ الأولى بمخلوط جديد من المادة الأولية، وهكذا لكي يمر المخلوط خلال الطبقات كلها فإن ذلك تستغرق حوالي شهر (30 يوم) إذا كان النظام عبارة عن 10 أدوار، وبذلك يكون أنهى مرحلة التحلل السريع أو المنشط (active phase) بعدها ينقل المخلوط النهائي لمرحلة المعالجة النهائية.

#### 7-4-6- International Process Systems العالمية

الشكل (7-11) يوضح هذا النوع (نظام الإنتاج العالمي IPS) حيث يتكون من مجاري أو أنفاق يتم التحكم بطولها.



شكل (11-7): نظام الإنتاج العالمي. المصدر:

تدخل المادة (المخلوط) الأولي من طرف ويقلب يومياً في الاتجاه المقابل (الخروج) من الطرف الآخر على شكل خطوات كل خطوة عبارة عن 10-12 قدم من طول النفق (Bay)، ويصمم طول النفق ليعطي وقت كافي لتحلل المادة العضوية. في المرحلة النشطة (active) التي تمتد غالباً من 18-24 يوماً وتكون التهوية قسرية موجبة من أسفل النفق عن طريق موزعات. أما أجهزة التقلاب فتكون أوتوماتيكية بالكامل. وعادة يصمم 12 نفق في النظام الواحد.

ومن الأمثلة على هذا النوع ما يلي:

المشروع (سنة التنفيذ)	المكان	نوع المادة الأولية	حجم المادة الأولية	عدد الأنفاق	طول النفق
Fair Field, 89	Connecticut كنكتكت/ أمريكا	حماة صرف + أغصان مقطوعة + أوراق شجر	4000 طن رطب/سنة + 16000 يارد <sup>3</sup> /سنة	6	220 قدم
Anheuser- Buscg, 89	N.Y نيو يورك/ أمريكا	حماة + محسن (كمبوست ناتج أو بودة خشب)	60 طن رطب/ يوم	12	200 قدم

## 7-5- تصميم وحدة إنتاج السماد العضوي

إن تصميم وحدة إنتاج السماد العضوي (الدبال) يمر بالعديد من الخطوات الرئيسية

كما يلي:

- أولاً: تحديد مصدر البقايا المستهدف (مزرعة، منزل، مجمع،... الخ).
- ثانياً: اختيار الموقع المناسب.
- ثالثاً: تحديد المساحة المطلوبة.
- رابعاً: اختيار مواصفات النظام المستعمل في عملية إنتاج السماد العضوي.
- خامساً: تحديد احتياج العمالة.
- سادساً: تحديد الاحتياج من الأدوات.

وبعد تحديد الخطوات السابقة، يجب أن ينتج لدينا ما يلي:

1. خريطة للموقع الرئيسي وعلاقته بالمحيط الخارجي (شكل رقم 7-8).
  2. خريطة تفصيلية لتوزيع المناطق داخل الوحدة نفسها (شكل رقم 7-9).
  3. تصميم تفصيلي لنظام الإنتاج المتبع داخل الوحدة (شكل رقم 7-10).
  4. جدول تفصيلي لكميات المواد المطلوبة وأسعارها التقريبية (جدول رقم 7-1).
- وسيتم شرح كل خطوه من الخطوات الستة الرئيسية بشكل تفصيلي.

### أولاً: تحديد مصدر البقايا المستهدف

هناك ثلاث مصادر رئيسية يتم عادة بناء التصميم على أساسها وهي المفردة،

المجموعة والمجمع، و فيما يلي توضيح لكل نوع منها:

#### 1- المفردة:

ويقصد بها المنشأة التي تولد كميات قليلة من البقايا، حيث يتم استخدام المنتج النهائي في نفس الموقع. ومثال على ذلك بقايا المحاصيل في مزرعة واحدة أو منزل واحد عندما يتم تحويلها إلى سماد عضوي في نفس الموقع، ثم يستخدم المنتج النهائي على المحاصيل المزروعة بنفس المزرعة أو في حديقة المنزل.

#### 2- المجموعة:

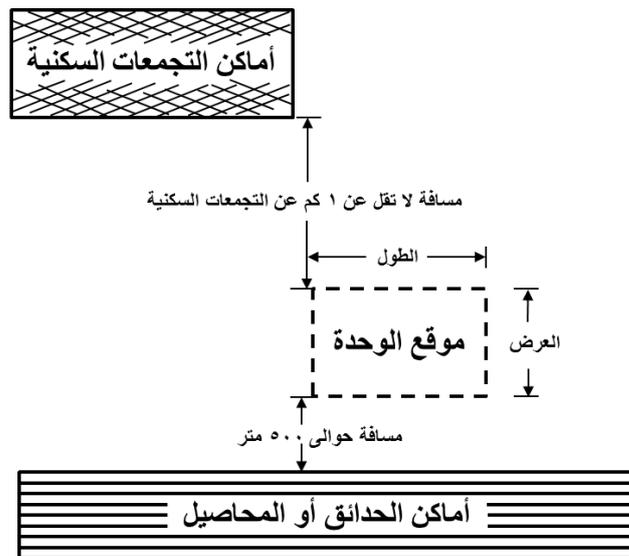
ويقصد بها مجموعة المنشآت التي تولد كميات أكبر من البقايا، عدة مزارع أو منازل أو قرية بأكملها تعالج البقايا ويتم تحويلها إلى سماد عضوي يتم استخدامه بواسطة نفس المجتمع المتعاون، ويكون التشغيل للمنشأة بالتعاون بين أفراد المجتمع نفسه.

### 3- المجمع:

ويقصد بها مجموعة المنشآت التي تولد بقايا أكبر من المجموعة الواحدة وتتاسب المجمعات الكبيرة، ويتم تشغيل هذه الوحدة بواسطة عمالة مدفوعة الأجر، والسماد العضوي الناتج أما أن يستخدم بواسطة المجمعات المساهمة أو يتم بيعه.

### ثانياً: اختيار الموقع المناسب لإنشاء وحدة إنتاج السماد عضوي "الكمبوست"

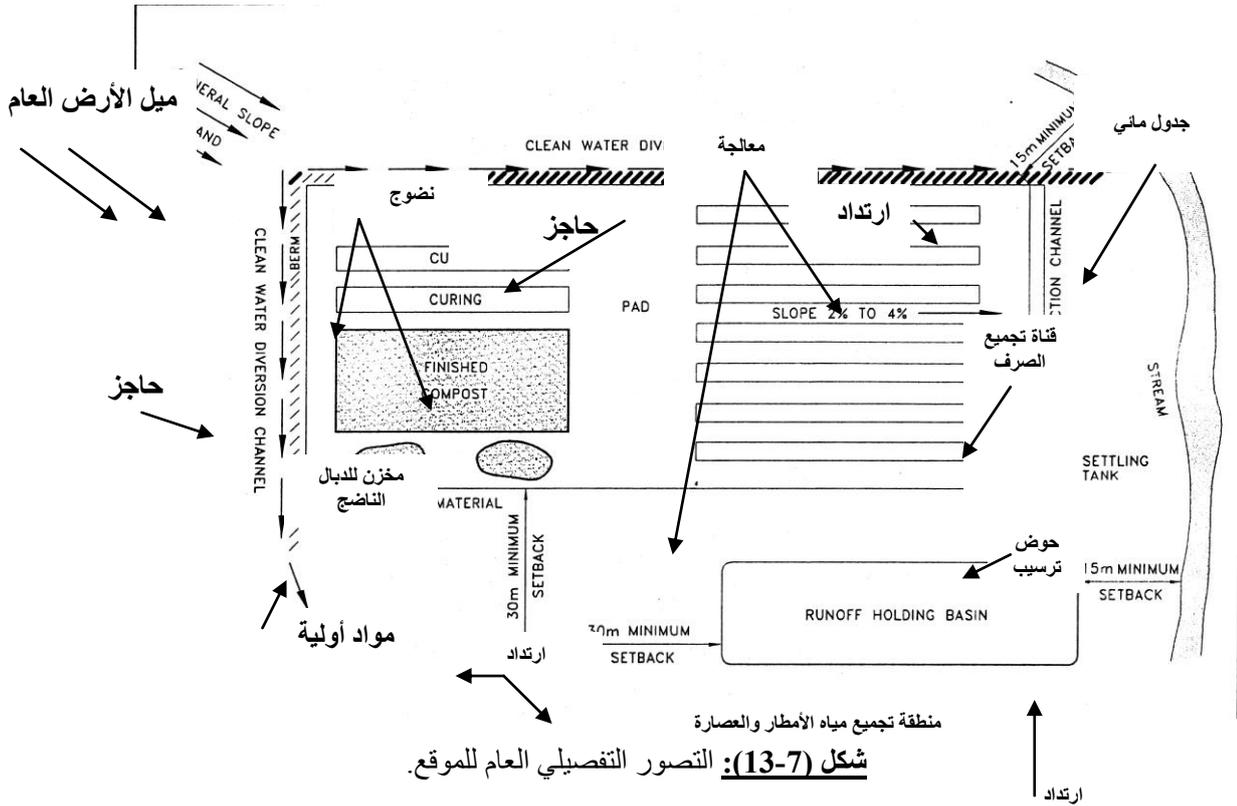
من المعروف إنه من غير المجدي اقتصادياً نقل المواد الأولية ذات القيمة المنخفضة (التي يتم بيعها بسعر رخيص) من داخل المزرعة. وبالتالي يجب التقليل من تكاليف النقل بقدر الإمكان، وذلك بإنشاء موقع لإنتاج السماد العضوي يكون قريباً من مصدر البقايا الصلبة في المزرعة نفسها. إن اختيار الموقع المناسب يعتمد على عوامل عدة من أهمها: المساحات المتاحة في المزرعة، الآلات اللازمة لإنتاج السماد العضوي كآلات التقليب، عملية التداول وشاحنات النقل التي تحتاج إلى مكان واسع، وكذلك يجب أن يختار المكان بحيث لا يتعارض مع العمليات الأخرى داخل المزرعة (المشروع)، كما ويجب دائماً الأخذ بالاعتبار التوسع المستقبلي. يوضح الشكل رقم (7-12) التصور العام للموقع.



شكل (7-12): خريطة الموقع العام. المصدر:

### ثالثاً: تحديد المساحة الإجمالية لوحدة إنتاج السماد العضوي

تعتمد المساحة الكلية المطلوبة للوحدة على حجم البقايا المتوقعة، معدل إنتاجها، وقت إنتاجها، والمناخ السائد. فلذلك يصعب تحديدها بشكل دقيق لأنها تختلف بدرجة كبيرة من مكان إلى آخر إلا بعد التشغيل الفعلي للمنشأة. ولكن بوجه عام يمكن توفير 10م<sup>2</sup>/ شخص يستعمل الوحدة. فعلى سبيل المثال: منزل به خمسة أشخاص، يحتاج إلى وحدة مساحتها 50 متر مربع ( 5×10م<sup>2</sup>). وكذلك قرية أو مجتمع مكون من 1000 شخص يحتاج إلى (1000 × 10م<sup>2</sup>) = 10.000 متر مربع. بعد اختيار الموقع وتحديد المساحة الكلية يتم رسم الخريطة التفصيلية للموقع العام كما في الشكل رقم (7-13).



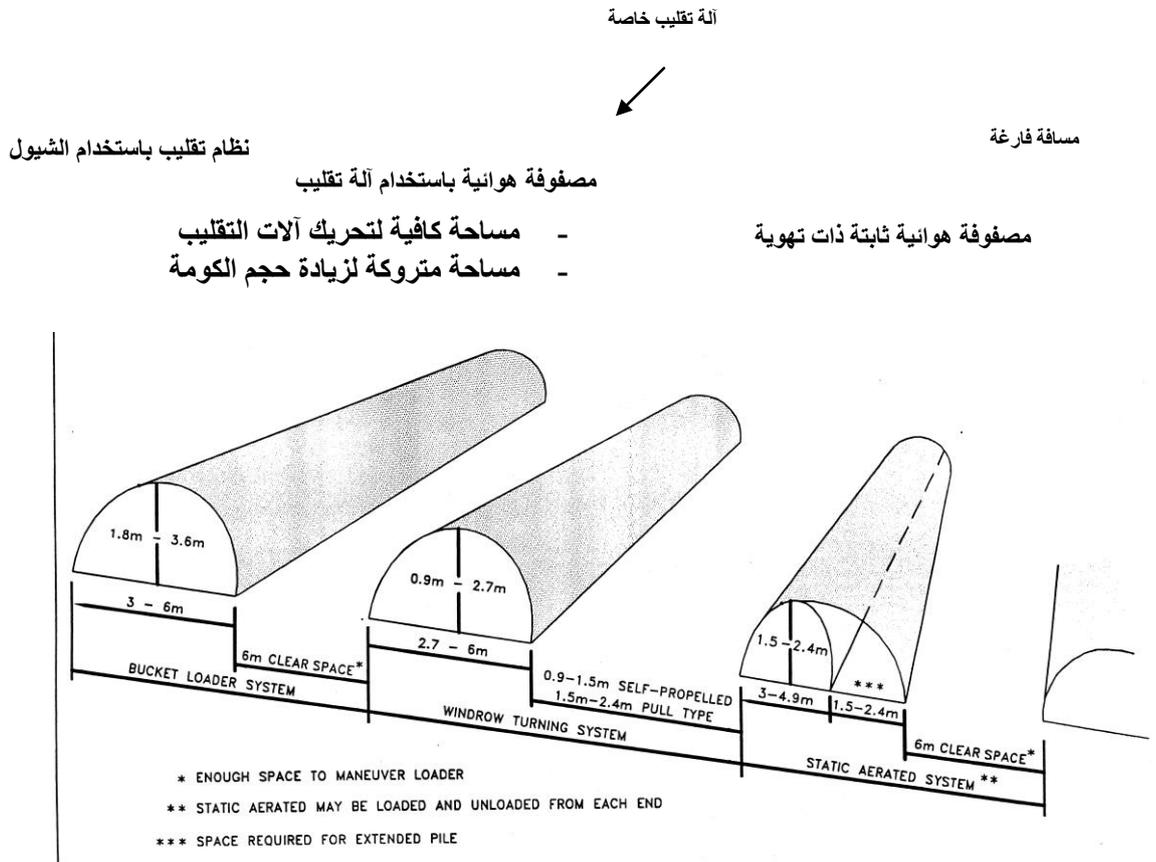
### رابعاً: اختيار نظام الإنتاج:

يتم اختيار نظام الإنتاج المراد إتباعه حسب درجة الجودة المطلوبة للسماد العضوي المنتج (الكمبوست) والوقت المسموح به لعملية الإنتاج حسب ما تم شرحه في الجزء الخاص

بأنواع الأنظمة المستخدمة في إنتاج السماد العضوي. علماً بأن المكونات الأساسية لوحدة الإنتاج هي: منطقة المعالجة، منطقة النضوج، منطقة التخزين كما يلي:

### 1 - منطقة المعالجة:

المساحة المطلوبة لإتمام عمليات إنتاج السماد العضوي تعتمد أساساً على كمية البقايا العضوية المتوقعة، وكذلك كمية المادة المائلة المطلوبة لإتمام عملية الإنتاج. وكقاعده عامة، يحتاج كل 1 م<sup>3</sup> من المادة الأولية إلى 0.8 م<sup>2</sup> من المساحة الأرضية من الصفوف الهوائية. والشكل رقم (7-13) يوضح الأبعاد القياسية لأشكال مختلفة من الصفوف الهوائية.



شكل (7-13): أشكال مختلفة من الصفوف الهوائية

### شروط منطقة المعالجة:

- يجب رصف الموقع إما بخرسانة أو أسفلت لمنع تلويث المياه السطحية والجوفية. كما أن الأرضية المرصوفة تمنع دخول المواد الغريبة إلى المخلوط الأولي، ويسهل من خلالها تصريف مياه الأمطار. علماً بأن الأرضية الخرسانية أكثر تكلفة من الإسفلت، إلا أن الإسفلت يتدهور بسرعة أكبر.

- عند إنشاء الأرضية يجب الأخذ بالاعتبار تصريف مياه الأمطار وكذلك العصاراة الناتجة من التحلل البيولوجي للمادة الأولية، وتحويلها إلى أماكن الجمع شكل رقم (7-10) (الأرضية بميل 2-4 %).
- يجب أيضاً التفكير في إضافة غطاء وخاصة على منطقة الصفوف الهوائية في المناطق الممطرة أو المشمسة، فالغطاء يقلل من حجم تجمع مياه الأمطار والعصاراة الناتجة ويحمي المخلوط من الجفاف السريع في المناطق المشمسة.
- إذا كان المخلوط رطب جداً (بسبب تساقط الأمطار) فالسائل الغني بالمادة الغذائية قد يتسرب من الكومة إلى الخارج. يجب تجميع هذا السائل بطريقة مناسبة لمنع وصوله إلى مصادر المياه في الحقل ويوضح الشكل رقم (7-10) السابق مخططاً عاماً لنظام تجمع هذا السائل. هذا النظام مناسب لوحدات الإنتاج المكشوفة في مناطق معدل سقوط المطر السنوي فيها أقل من 600 ملم، كما ويمكن إعادة تطبيق هذا السائل الغني بالعناصر على الكومة.
- أما إذا أصبح المخلوط المجهز لإنتاج الدبال جاف (نتيجة إلى تبخر الماء)، فيجب إضافة الماء لتعديل المحتوى الرطوبي للمخلوط، ويؤخذ بالاعتبار توزيع الماء المناسب على جميع أجزاء الكتلة وتستخدم الرشاشات لهذا الغرض.

## 2- منطقة النضوج

نحتاج تقريباً لنفس المساحة المحجوزة لعملية المعالجة كمنطقة تترك فيها كتلة السماد العضوي للوصول إلى المرحلة المستقرة (النضوج).

**اشتراطات منطقة النضوج:**

- يجب أن تكون منطقة النضوج مغطاة.
- يجب أن تكون منطقة النضوج مرصوفة.
- كذلك تحجز منطقة تعبئة كافية لجهاز التعبئة ومخزن مؤقت.

### 3- منطقة التخزين:

يؤخذ بالاعتبار إنشاء مخزن للدبال الناضج بعد مرحلة النضوج أو بعد التعبئة على أن يكون كافياً لإنتاج الوحدة لمدة 9 أشهر على الأقل على شكل كومة بارتفاع حتى 2.5 متر، ويجب أن تكون مرصوفة ومغطاة.

### خامساً: اختيار العمالة

مراقبة الموقع أمر ضروري، أما العمالة المطلوبة والمسؤولة عن استقبال وتجهيز وتشكيل ثم تقليب وغرلة وتعبئة المنتج النهائي فهي تعتمد الى حد كبير على التقنية المتاحة في الموقع وكذلك حجم المنتج النهائي المتوقع. وكمثال لوحدة كبيرة غير مجهزة بأنظمة ميكانيكية، فيتم تقدير احتياج العمالة بافتراض أن العامل الواحد يستطيع أن ينجز 3.5 م<sup>3</sup>/يوم.

### سادساً: اختيار الأدوات

بالنسبة للأدوات المطلوبة في الوحدة لقلب الدبال والتعبئة، فيمكن أن تشمل ما يلي:

- شوك بأسنان طويلة Pitchforks.
  - أمشاط بذراع طويل Rakes.
  - شياول Shovels.
  - مجارف Hoes.
  - عربات نقل.
  - جوارب وبساطير وأدوات سلامة.
  - شبك يفصل منطقة استقبال المادة الأولية وتجهيزها عن منطقة المعالجة.
- وعندما يتم تحديد العمالة والأدوات اللازمة، يتم إعداد جدول كميات للمواد المطلوبة وأسعارها المتوقعة و حساب السعر الإجمالي كما يلي:

جدول (1-7): كميات المواد المتوقعة

البند	الوصف	الكمية	التكلفة المتوقعة (ريال)
عمالة	مشرف عام	1	-
	عمال	3	-
أدوات	شوك	2	-
	شياول	4	-
	-	-	-
	-	-	-
	-	-	-
	-	-	-
	-	-	-
التكلفة الإجمالية المتوقعة			-

وختاماً، لتنفيذ وحدة إنتاج سماد عضوي، فإن المنفذ يتوقع منك أربعة أشياء وهي:

- 1- خريطة الموقع العام شكل (7-8).
- 2- خريطة تفصيلية للوحدة شكل (7-9).
- 3- مخطط النظام المجمع شكل (7-10).
- 4- جدول كميات المواد جدول (7-1).

### مثال 7-1:

قدّر المساحة المطلوبة لإنشاء وحدة إنتاج سماد عضوي من نوع الصفوف الهوائية ذات التقليب لإنجاز 38 طن / أسبوع من المخلفات الصلبة الحيوانية؟  
معطى:

- الكثافة الحجمية للمخلفات الحيوانية الصلبة = 700 كجم/ م<sup>3</sup> (0.7 طن/م<sup>3</sup>)
  - نحتاج إلى حجم مماثل من المادة المألثة لتصحيح نسبة الكربون : النيتروجين.
  - نسبة الانكماش للمخلوط بعد نهاية مرحلة المعالجة = 50%.
  - 6 أسابيع مطلوبة لإتمام المرحلة النشطة (المعالجة).
- الكومة لها قاعدة 3.7 متر بارتفاع 1.20 متر ويحكم ذلك أبعاد جهاز التقليب، وبالتالي فإن حجم الكومة في مرحلة المعالجة لكل واحد متر طولي  $v$

$$v = \frac{(3.7/2) \times 1.2 \times 3.14}{2} = 3.5 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m} = 3.5 \text{ m}^3$$

- فأن الحجم لكل واحد متر طولي = 3.5م<sup>3</sup> . بأفترض أن مقطع الكومة نصف دائرة .
- 4 أسابيع مطلوبة لإتمام مرحلة النضوج بعد مرحلة المعالجة.
  - الكومة المخصصة للنضوج دائماً تكون أكبر حجماً من المعالجة وأبعادها عادة 5.5 م قاعدة، 1.8 متر ارتفاع ( ويكون الحجم لوحدة الطول = 7.8 متر<sup>3</sup>/متر طولي)
  - مخزن إضافي متوقع لسماد عضوي ناضج لمدة 9 أسابيع باستخدام صفوف هوائية بارتفاع 2.4 متر.

### الحل:

أولاً: حساب حجم الصفوف الهوائية لمرحلة المعالجة "النشطة"

$$\text{حجم البقايا الصلبة المتداولة خلال أسبوع} = 38 \text{ طن/أسبوع} / 0.7 \text{ "طن/م}^3 = 54.3 \text{ م}^3$$

$$\text{حجم المادة المحسنة المألثة المطلوبة} = \text{حجم المخلفات الصلبة} = 54.3 \text{ م}^3$$

$$\text{الحجم الكلي للمخلفات الصلبة والمألثة} = 54.3 + 54.3 = 108.6 \text{ م}^3$$

الطول المطلوب لاستيعاب هذا الحجم باستخدام معلومات أبعاد الصفوف الهوائية السابقة =

$$108.6 \text{ م}^3 / 3.5 \text{ "م}^3/\text{متر طولي} = 31.0 \text{ متر طولي}$$

وهذه الكومة كافية لاستيعاب حجم البقايا المنتج أسبوعياً. وبما أن الفترة (المرحلة) النشطة تتطلب 6 أسابيع فنحتاج إلى 6 صفوف هوائية طول كل منها 31.0 متر.

ثانياً: حساب حجم الصفوف الهوائية المطلوبة لمرحلة النضوج " المرحلة الخاملة"

$$\text{الحجم الكلي الداخل لمرحلة النضوج أسبوعياً} = 108.6 \times 0.50 \text{ (نسبة الانكماش)} = 54.3 \text{ م}^3/\text{أسبوع}$$

$$\text{حجم الكومة "الصفوف الهوائية"} = 4 \text{ أسابيع} \times 54.3 \text{ م}^3 = 217.2 \text{ م}^3$$

$$\text{طول الكومة} = 217.2 \text{ م}^3 / 7.8 \text{ متر}^3/\text{متر طولي} = 27.85 \text{ متر تقريباً (28متر)}$$

كومة واحدة لمرحلة النضوج بطول 28 متر أو كومتين بطول 14.0 متر مناسبتين

لاستيعاب المادة المتحللة بعد المرحلة النشطة للمدة المطلوبة " 4 أسابيع".

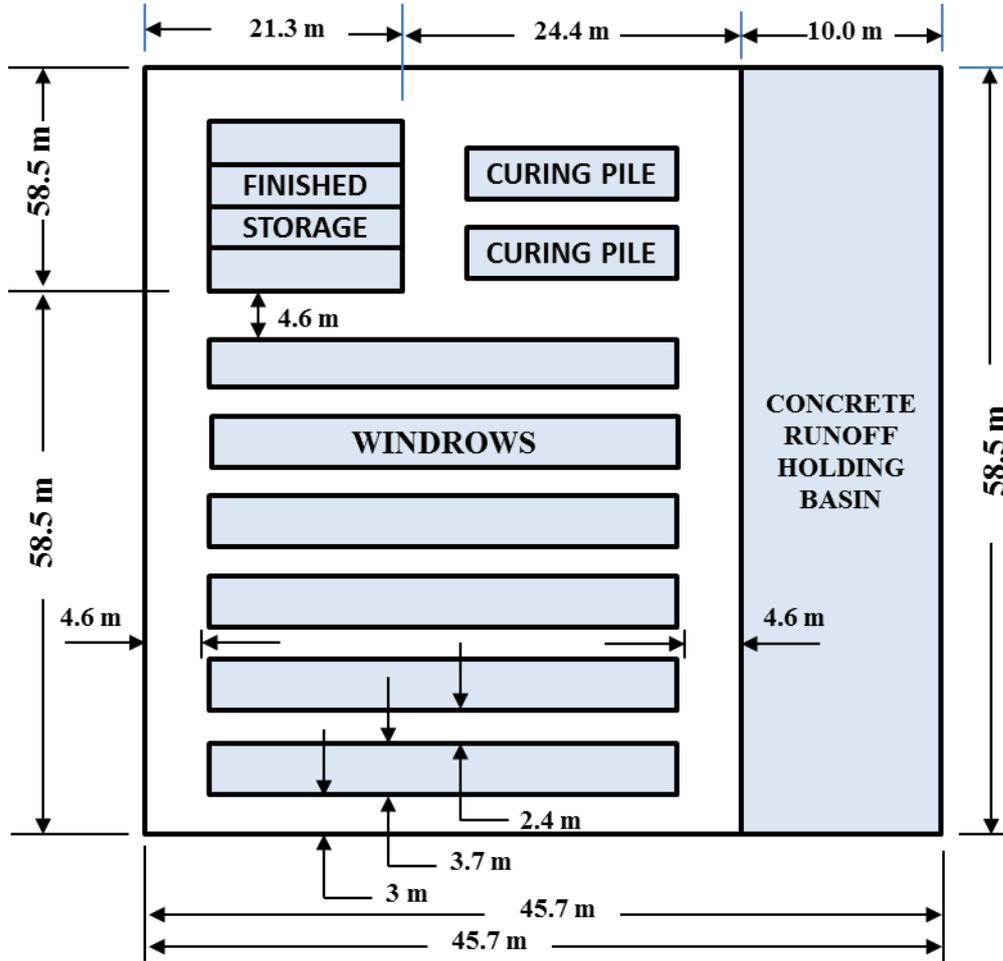
ثالثاً: حجم منطقة التخزين

$$\text{حجم الدبال الناتج المتوقع خلال أسبوع بعد مرحلة النضوج} = 54.3 \text{ متر}^3/\text{أسبوع}$$

- حجم الكومة المطلوبة لتجميع الدبال لمدة 9 أسابيع =  $54.3 \times 9 = 488.7$  م<sup>3</sup>/أسبوع = 488.7 م<sup>3</sup>.

- المساحة المطلوبة للتخزين =  $488.7 / 2.4 = 204$  متر<sup>2</sup>.

المخطط في الشكل (14-7) يوضح توزيع محتمل (ممكن) للمكونات الأساسية لوحدة إنتاج الدبال المطلوبة.



شكل (14-7): توزيع محتمل (ممكن) للمكونات الأساسية لوحدة إنتاج الدبال المطلوبة

## تمارين على الفصل السابع

- 1- وضح الفرق بين المحسنات Amendments والمادة المألثة Bulking Agents ؟
- 2- يتم إنتاج السماد العضوي في مرحلتين، المرحلة النشطة و غير النشطة. أكتب الفروق بين المرحلتين على شكل جدول؟
- 3- كيف يتم تزويد الميكروبات التي تقوم بتحليل المادة العضوية بالأوكسجين الضروري؟
- 4- يوجد نوعين من أنظمة التهوية الميكانيكية. ما الفرق بينهما؟ وضح بالرسم الفرق بينها؟
- 5- أرسم نظام إنتاج السماد العضوي بصفوف هوائية ساكنة ووضح الأجزاء؟
- 6- أحسب المساحة المطلوبة لتصميم وحده لمعالجة مخلفات عضوية نباتية من نوع الصفوف الهوائية ذات التقلب لإنتاج سماد عضوي بمعدل 50 طن / أسبوع من المخلفات الصلبة النباتية بالأعتماد على المعطيات التالية:  
المعطيات:

- الكثافة الحجمية للمخلفات النباتية الصلبة = 450 كجم/م<sup>3</sup> (0.45 طن/م<sup>3</sup>)
- نحتاج إلى نصف هذا الحجم من المادة المألثة لتصحيح نسبة الكربون : النيتروجين.
- نسبة الانكماش للمخلوط بعد نهاية مرحلة المعالجة = 40%.
- 6 أسابيع مطلوبة لإتمام المرحلة النشطة (المعالجة).
- الكومة لها قاعدة 3.5 متر بارتفاع 1.10 متر ويحكم ذلك أبعاد جهاز التقلب.
- 4 أسابيع مطلوبة لإتمام مرحلة النضوج بعد مرحلة المعالجة.
- الكومة المخصصة للنضوج دائماً تكون أكبر حجماً من المعالجة وأبعادها عادة 5.5 م قاعدة، 1.8 متر ارتفاع.
- مخزن إضافي متوقع لسماد عضوي ناضج لمدة 9 أسابيع باستخدام صفوف هوائية بارتفاع 2.4 متر.

# الملحقات

## ملحق 1 الدروس العملية Lab Sections

### الدرس العملي الأول

#### المحتوى الرطوبي

#### مقدمة

الماء ضروري في عمليات التمثيل الغذائي للكائنات الحية في الكمبوست، ويتراوح مستوى المحتوى الرطوبي المطلوب للكمبوست بين 50 و 60 %.

#### تعريف المحتوى الرطوبي:

يعرف المحتوى الرطوبي بأنه كمية الرطوبة (أو الماء) الموجودة داخل مسام العينة وحول سطح حبيباتها منسوبة الى الكتلة الرطبة ويطلق عليه في هذه الحالة محتوى رطوبي على أساس رطب أما إذا نسب الى الكتلة الجافة فيطلق عليه المحتوى الرطوبي على أساس جاف.

$$\text{M.C. (wet base\%)} = (w_2 - w_3) \times 100 / (w_2 - w_1)$$

$$\text{M.C. (dry base\%)} = (w_2 - w_3) \times 100 / (w_3 - w_1)$$

#### الاجهزة والادوات:

العينة المدروسة	ميزان حساس	علبة نظيفة فارغة	فرن كهربائي
-----------------	------------	------------------	-------------

#### طريقة العمل

يتم حساب المحتوى الرطوبي حسب الخطوات التالية:-

- 1- توزن العلية فارغة ويسجل الوزن (w1).
- 2- توضع كمية من العينة المراد تقدير محتواها الرطوبي في العلية ثم يؤخذ الوزن.
- 3- مرة اخرى ( وزن العلية + العينة الرطبة ) وتسجل القيمة (w2).
- 4- توضع العلية مع العينة في فرن كهربائي مضبوط على درجة حرارة 105 درجة مئوية ويغلق.
- 5- الفرن وتترك العينة للتجفيف لمدة ٢٤ ساعة او حتى ثبات الوزن.
- 6- نخرج العينة بعد التجفيف وتوزن على ميزان حساس ( وزن العلية + العينة الجافة تماما ) وهو (w3).

7- نحسب المحتوى الرطوبي للعينة المدروسة (Mc) من المعادلة التالية:

$$\text{Mc (wb\%)} = (w_2 - w_3) / (w_2 - w_1)$$



.....  
.....  
.....

ملحوظة / يسلم التقرير بعد إجراء الحسابات المطلوبة في العملي القادم كحد اقصى ، علماً بأن تأخير تسليم هذا التقرير سيترب عليه عدم الحصول على الدرجة المحسوبة لهذا التقرير.

## الدرس العملي الثاني

### المادة الصلبة المتطايرة و الرماد

#### مقدمة

الرماد هو المادة التي نتحصل عليها بعد حرق العينة الجافة في الفرن والجزء المفقود بعد الحرق هو المادة الصلبة المتطايرة.

#### الاجهزة والادوات:

العينة المدروسة	ميزان حساس	علبة نظيفة فارغة	فرن كهربائي
-----------------	------------	------------------	-------------

#### طريقة العمل

يتم حساب نسبة الرماد والمادة الصلبة المتطايرة حسب الخطوات التالية:-

- 1- توزن العلبة فارغة ويسجل الوزن (w1)
- 2- توضع كمية من العينة المراد تقدير نسبة الرماد والمادة الصلبة المتطايرة لها في العلبة ثم يؤخذ الوزن مرة اخرى ( وزن العلبة + العينة الجافة) وتسجل القيمة (w2)
- 3- توضع العلبة مع العينة الجافة في فرن كهربائي مضبوط على درجة 550 °C ويغلق الفرن وتترك العينة للتجفيف لمدة ساعتين.
- 4- نخرج العينة بعد الحرق وتوزن على ميزان حساس ( وزن العلبة + العينة المحروقة تماما "الرماد") وهو (w3)
- 5- نحسب نسبة الرماد "Ash" والمادة الصلبة المتطايرة "Vs" للعينة المدروسة من المعادلات التالية:

$$Ash (\%) = \frac{(w3 - w1)}{(w2 - w1)}$$

$$Vs (\%) = \frac{(w3 - w2)}{(w2 - w1)}$$

#### الحسابات

.....

.....

.....

.....

## النتائج والتعليق

الانحراف المعياري (Sd)	المادة الصلبة المتطابرة (VS%)	الانحراف المعياري (Sd)	نسبة الرماد (Ash%)	W3	W2	W1	رقم العينة
							1
							2
							3

ملحوظة / يسلم التقرير بعد إجراء الحسابات المطلوبة في العملي القادم كحد اقصى، علماً بأن تأخير تسليم هذا التقرير سيترتب عليه عدم الحصول علي الدرجة المحسوبة لهذا التقرير.

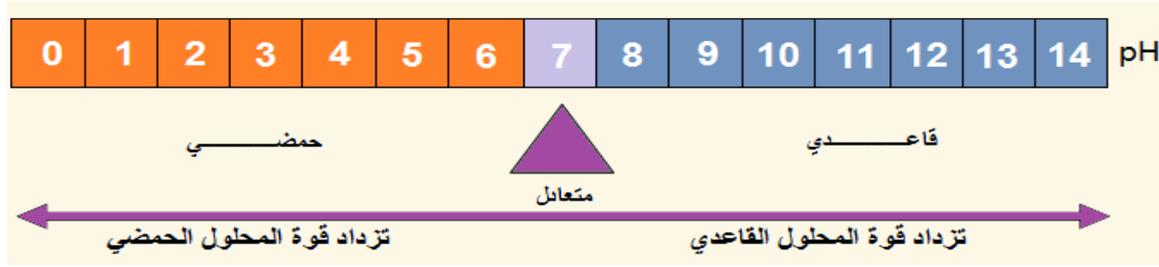
## الدرس العملي الثالث

### قياس درجة الحموضة (pH)

#### مقدمة

درجة الحموضة هي مقياس لتحديد تركيز أيونات الهيدروجين ويرمز له بالرمز (pH) وتعرف أيضا بالرقم الهيدروجيني.

درجة الحموضة مقياس مدرج من 0 الى 14 ويعبر عن تركيز أيونات  $H^+$  في المحلول – OH



#### الاجهزة والادوات:

هزاز	كأس زجاجي	جهاز قياس درجة الحموضة (pH meter)
------	-----------	-----------------------------------

#### طريقة العمل

تحضر عينة مشبعة للكمبوست مكونة من (5جم من العينة + 50جم من الماء المقطر) تخلط جيدا في كأس زجاجي وتوضع لمدة 30 دقيقة في هزاز. ويتم معايرة عداد درجة الحموضة (pH meter) لدرجة حموضة 7 pH ودرجة حموضة 10 pH قبل تحديد درجة حموضة العينة.

#### القراءات

اليوم	التاريخ/الوقت	درجة حرارة القنينة °C	درجة الحرارة المحيطة (°C)	فرق درجات الحرارة °C
اليوم الاول				
اليوم الثاني				
اليوم الثالث				
اليوم الرابع.. الخ				

ملحوظة / يسلم التقرير بعد إجراء الحسابات المطلوبة في العملي القادم كحد اقصى، علماً بأن تأخير تسليم هذا التقرير سيترتب عليه عدم الحصول على الدرجة المحسوبة لهذا التقرير.

## الدرس العملي الرابع تقدير مسامية التربة سعة التشبع المائي القصوى للتربة

### مقدمة:

تعتبر التربة ذات نظام مسامي معقد حيث يتخلل حبيباتها المختلفة فراغات تختلف حسب احجام حبيباتها فاذا اخذت عينة متماسكة من التربة بحالتها الطبيعية فأن جزء من حجمها يشغله حبيبات التربة ,والجزء الاخر يتمثل في المسافات البينية التي يملأها الهواء او الماء او كلاهما ويسمى هذا الجزء من الفراغات او المسافات البينية مسامية التربة. وبناء على ذلك فاننا نجد للتربة بحالتها الطبيعية كثافتان يعتمد تقدير المسامية عمليا عليها وهي:

- 1- **الكثافة الحقيقية** : هي نسبة كتلة التربة الى حجمها الحقيقي الذي يتمثل في حجم حبيبات التربة وهي ثابتة لكل انواع التربة
- 2- **الكثافة الظاهرية**: وهي تمثل نسبة كتلة من التربة الى حجمها الظاهري الذي يتمثل في الحجم الكلي لكل من حبيبات التربة والمسافات البينية المحصورة بينها.

### طرق تقدير الكثافة الحقيقية للتربة

#### استخدام المخبر المدرج :

يتم فيها قياس حجم السائل المزاح عند غمس عينة التربة الجافة هوائيا والمعلومة الوزن الجاف بـ.

#### طريقة العمل:

- دورق معياري سعة 250 مل - مخبر مدرج سعة 50 مل - تربة - ماء - ميزان .
- طريقة العمل :
- تجمع عينة تربة باستخدام اسطوانة نحاسية معلومة الحجم وليكن ح = 25 سم<sup>3</sup>.
- توزن التربة جافة ، وليكن وزنها = 38.66 جم = 25 سم<sup>3</sup>.
- نضيف التربة إلى الدورق ثم يضاف الماء حتى يصل للتدرج المعلوم له.
- يحسب حجم الماء المضاف بالمخبر المدرج.
- $\text{حجم التربة بدون مسام} = \text{حجم الدورق} - \text{حجم الماء المضاف}$
- $\text{حجم الفراغات المسامية} = \text{حجم التربة} - \text{حجم التربة بدون مسام}$
- $\text{النسبة المئوية لمسامية التربة} = \frac{\text{حجم الفراغات}}{100} \times \text{الحجم الأصلي}$

## الدرس العملي الخامس

### اختبار ديوار (التسخين الذاتي) DEWAR self-heating test

#### مقدمة

يعتبر هذا المقياس احد الطرق الشائعة لتقييم جودة السماد العضوي (الكمبوست)، ومن خلال الفرق بين درجة الحرارة المحيطة ودرجة الحرارة داخل الاسطوانة يمكن معرفة درجة النضج اذا كانت اقل من  $6^{\circ}C$  يعتبر ناضج واذا كان بين  $25^{\circ}C$ - $5^{\circ}C$  يعتبر نشط واذا كان بين  $50^{\circ}C$ - $25^{\circ}C$  يعتبر نشط جداً بمعنى لم يكتمل نضوجه بعد.

#### الاجهزة والادوات:

اسطوانة ديوار (Dewar).

#### طريقة العمل

- 1- تخلط كومة السماد جيداً ثم تؤخذ من (7-12) عينة ممثلة منها.
- 2- تصحح رطوبة العينة الممثلة لتكون 60% تقريباً
- 3- توضع العينة الممثلة والمصححة داخل اسطوانة ديوار
- 4- يوضع السلك الحراري داخل العينة بحيث لا يصل نهاية الاسطوانة
- 5- تغلق الاسطوانة وتؤخذ درجة حرارة المعمل ( $T_0$ ) ودرجة حرارة الاسطوانة ( $T_i$ )
- 6- يتم متابعة تغير درجات الحرارة لمدو 5-9 ايام
- 7- استكمل الجدول التالي في القراءات
- 8- حدد جودة السماد بناءً علي قراءة فرق درجات الحرارة

#### القراءات

اليوم	التاريخ/الوقت	درجة حرارة الاسطوانة $T_i$ ( $^{\circ}C$ )	درجة الحرارة المحيطة $T_0$ ( $^{\circ}C$ )	فرق درجات الحرارة $^{\circ}C$
اليوم الاول				
اليوم الثاني				
اليوم الثالث				
اليوم الرابع.. الخ				



## الدرس العملي السادس

### اختبار سولفيتا- Solvita test

#### مقدمة

يعتبر هذا المقياس أيضا أحد الطرق التي تستخدم لتقييم نضوج واستقرارية السماد العضوي (الكمبوست)، ومن خلال مستويات الالوان يمكن تحديد حالة استقرارية او نضج السماد بمقارنة اللون المتحصل عليه مع اللون علي المخطط او من خلال قارئ سولفيتا لمزيد من الدقة للحصول علي قيم ثاني اكسيد الكربون  $CO_2$  (النضوج) و الامونيا  $NH_3$  (الاستقرار)



#### الاجهزة والادوات:

- 1- جهاز قياس سولفيتا (Solvita Test).
- 2- وعاء (علبة)
- 3- ريشة  $NH_3, CO_2$

#### طريقة العمل

- 9- تخلط كومة السماد جيدا ثم تؤخذ من (7-12) عينة ممثلة منها.
- 10- تصح رطوبة العينة الممثلة لتكون 60% تقريبا.
- 11- توضع العينة الممثلة والمصححة داخل الوعاء حتى الخط المحدد على العلبة.
- 12- توضع الريشتان داخل العينة.
- 13- يغلق الوعاء ويترك لمدة 4 ساعات في درجة حرارة المعمل.
- 14- يتم مقارنة لون العينة المتحصل عليه مع الالوان الموجودة في المخطط لمعرفة حالة السماد أو استخدام قارئ سولفيتا.
- 15- نحدد حالة السماد بناءً علي قراءة الجهاز أو الالوان في المخطط.

#### 8- القراءات والتعليق

.....

.....

.....

.....

.....  
.....  
.....  
.....

ملحوظة / يسلم التقرير بعد إجراء الحسابات المطلوبة ف العملي القادم كحد اقصى، علماً بأن تأخير تسليم هذا التقرير سيترتب عليه عدم الحصول علي الدرجة المحسوبة لهذا التقرير.

## الدرس العملي السابع

### تقدير الكثافة الظاهرية والحقيقية

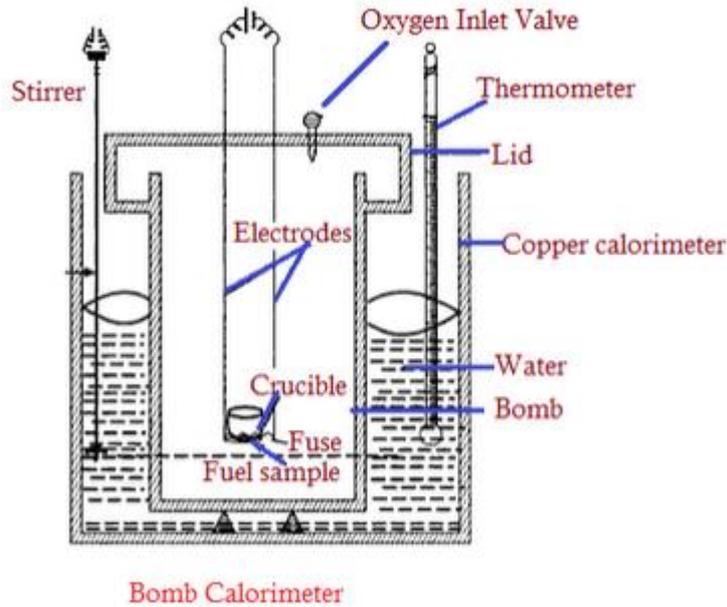
## الدرس العملي الثامن

### تقدير القيمة الحرارية للوقود

مقدمة:

القيمة الحرارية لوقود معين هي خاصية لهذا الوقود وتقدر بكمية الطاقة المحررة لكل كيلوجرام من الوقود المحترق. والوقود يوجد على ثلاثة حالات الصلب والسائل والغاز.

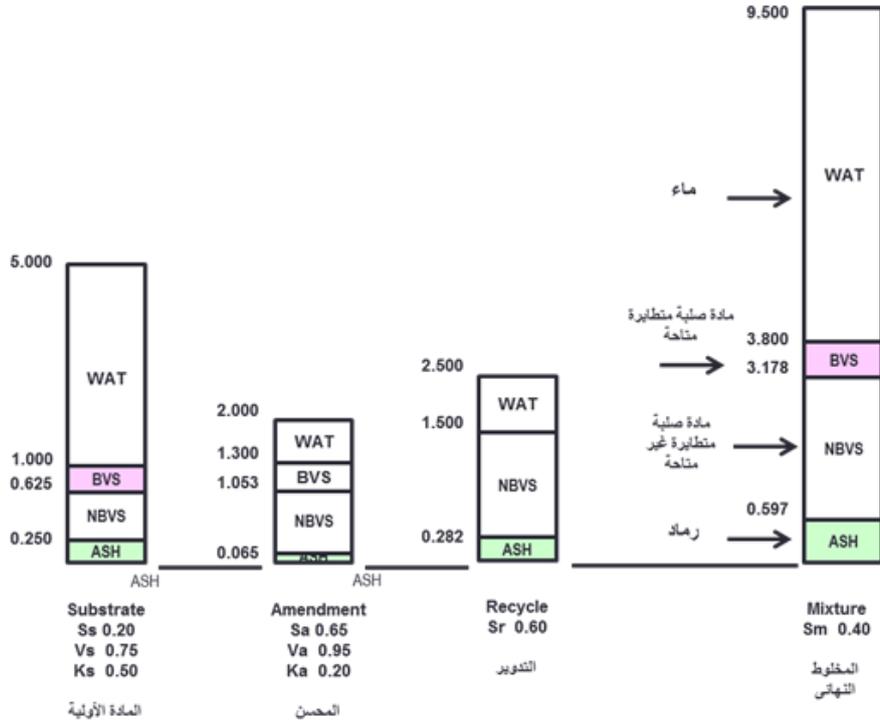
يستخدم جهاز **Junker' calorimeter** لقياس القيمة الحرارية للوقود الغازي.



## الدرس العملي التاسع

### متطلبات التهوية للتحكم بدرجة الحرارة

1- مائة طن متري من الحمأة (عند 80% محتوى رطوبي) يراد إدخالها في إنتاج دبال، هذه الحمأة تم خلطها مع نشارة خشب (عند 35% محتوى رطوبي) لتحسين قوامها وتخفيف محتواها الرطوبي كذلك تم أيضاً إضافة محسن آخر من السماد العضوي الناضج المعاد استخدامه بنسب كما هو موضح بالشكل التالي: (حدد كمية الهواء المطلوب لتلبية احتياجات التحلل؟).



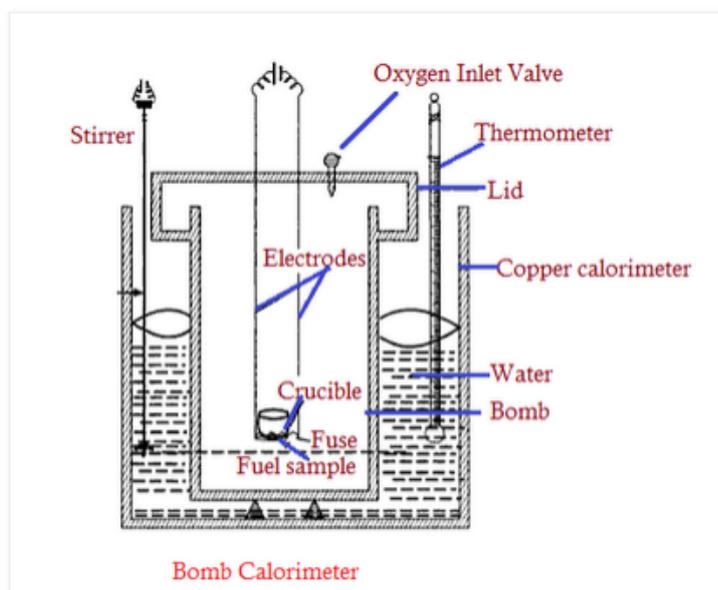
قدّر متطلبات التهوية لإزالة الحرارة الناتجة "المنبعثة" في المثال السابق (الحمأة مع نشارة الخشب)، وذلك بعد افتراض أن درجة الحرارة الخارجية 25°م والهواء الخارجي عند 75% رطوبة نسبية (محتوى رطوبي 0,0113 جرام ماء/ جرام هواء جاف) ودرجة حرارة الغاز الخارج من الجهاز 55°م هواء مشبع. (بمحتوى رطوبي 0,1147 جرام ماء/ جرام هواء جاف).

## Bomb Calorimeter for determination of Calorific Value of solid and liquid fuel

Calorific value (CV) of a fuel is a characteristic of fuel which is defined as the energy liberated per kg of fuel burnt. Fuels are found in three phase viz. solid, liquid and gaseous. Junker's calorimeter is used to measure the CV of gaseous fuels.

### Bomb Calorimeter experiment to measure calorific value of fuel:

- It is used to measure the calorific value (CV) of solid as well as liquid fuel. But to determine the CV of gas, one need to choose Junker's calorimeter.
- A calorimeter contains thick walled cylindrical vessel and it consists of the lid which supports two electrodes which are in contact with fuse and fuel sample of known weight.
- The lid also contains oxygen inlet valve through which high-pressure oxygen gas (at about 25 to 30 atm) is supplied.
- Entire lid with fuel sample is now held in a copper calorimeter containing known weight of water. A mechanical stirrer is provided to stirred well for uniform heating of water.
- A thermometer is also provided to measure the change in temperature of water due to combustion of fuel in Lid.



### Procedure of bomb calorimeter experiment

- A known quantity of fuel sample is added in the crucible.
- Start the stirrer and note the initial temperature of water.
- Start current through the crucible and let fuel sample to burn in presence of oxygen.
- Heat release during combustion of fuel is taken by water and temperature of it rises.
- Note final steady state temperature of water.

$$\text{Higher Calorific Value of fuel} = (m_1 + m_2) \times (T_c + T_1 - T_2) \times C_w / m_f$$

Where,

$m_1$  and  $m_2$  are the mass of water in the copper calorimeter and water equivalent of bomb calorimeter respectively.

$m_f$  is the mass of fuel sample whose calorific value is to be determined.

$T_1$  and  $T_2$  are the final and initial temperature of the water sample.  $T_c$  is temperature correction for radiation losses.

$C_w$  is specific heat of water

**Water equivalent of bomb calorimeter** can be found out for particular bomb calorimeter by first by doing an experiment based on known fuel sample whose calorific value is already known. It depends on the manufacturer of the Bomb calorimeter.

**Practical applications of Bomb Calorimeter:** Bomb Calorimeter is used for the measurement of the calorific value of fuel oils, gasoline or petrol, coke, coal, combustion waste, foodstuffs and building materials etc. A bomb calorimeter is also used for energy balance study in ecology and study of Nano-material, ceramics, zeolite. The bomb calorimeter is helpful to study the thermodynamics of common combustible materials.

## تمارين ومسائل عملية

1- مشروع دواجن لديه 50 طن من فرشة الطيور، أخذت عينة منها تقدر بـ 100 جرام من المخلوط المتجانس وكانت نتائج التحليل كما يلي:

- وزن الإناء فارغ = 10 جرام.
- وزن الإناء بالعينة قبل التجفيف = 110 جرام.
- وزن الإناء بالعينة بعد التجفيف = 75 جرام.
- وزن الإناء بالعينة بعد الحرق = 40 جرام.

أحسب ما يلي:

- المحتوى الرطوبي للفرشة %
- نسبة المواد الصلبة المتطايرة %
- نسبة الرماد %.

2- لنفس السؤال السابق إذا كانت قراءة:

- نسبة الكربون في العينة 40% - نسبة النيتروجين في العينة 2%.

احسب:

- نسبة الكربون : النيتروجين في الفرشة.
- كم يجب أن تكون هذه النسبة في المخلوط الأولي؟
- ماذا تفعل لتصحيح ذلك؟

3- خليط من بقايا نباتات مع مخلفات حيوانية له المواصفات التالية:

نوع المادة	الكمية (طن)	المحتوى الرطوبي (%)	الكربون (%)	النيتروجين (%)
بقايا نباتات	1	85	47	1,5
مخلفات حيوانية	2	40	40	1,2

احسب:

- المحتوى الرطوبي النهائي للمخلوط.
- نسبة الكربون : النيتروجين
- هل هذا المخلوط جيد كمادة أولية من ناحية المحتوى الرطوبي ونسبة الكربون : النيتروجين المحسوبين؟ ولماذا.

4- اكتب بما لا يقل عن نصف صفحة ولا يزيد عن صفحة عن: ما هي أهم الغازات المهددة للبيئة؟ وما دور الزراعة في خفض بعض منها؟



2- في وحدة إنتاج سماد عضوي يتم إدخال (10) طن جاف من المادة الأولية في اليوم، ليخرج كتلة تقدر ب 5 طن جاف من السماد العضوي/ يوم. وتقدر المادة الصلبة المتطايرة في المخلوط الأولي 80%. وفي المنتج النهائي 60%. حدد معامل قابلية المادة للتحلل ( $K_m$ ) للمخلوط الأولي؟

4- في وحدة إنتاج سماد عضوي يتم إدخال 20 طن جاف من المادة الأولية في اليوم ليخرج سماد عضوي كمنتج نهائي كتلته تساوي 12 طن جاف في اليوم، احسب كم تكون نسبة المادة الصلبة المتطايرة في المخلوط الأولي إذا علمت أن معامل قابلية المادة للتحلل  $K_m$  للمخلوط الأولي يساوي 0,65 وأن نسبة المادة الصلبة المتطايرة في المنتج النهائي تساوي 36%.

5- أخذت عينة من سماد عضوي ناتج من وحدة الإنتاج فوجد أن نسبة المادة الصلبة المتطايرة في المنتج النهائي تساوي 55% والذي كتلته تساوي 10 طن جاف من السماد العضوي في اليوم، فإذا كان معامل قابلية المادة للتحلل يساوي 0,7، احسب كمية المادة الأولية الجافة التي يتم إدخالها لوحدة الإنتاج في اليوم.

6- خمسة طن من المخلوط الأولي تم تجهيزه، في بداية التجربة أخذت بعض القياسات

عند محتوى رطوبي ابتدائي 60%

$$V_{s0} = 87.2\% \quad Ash_0 = 12.8\%$$

وبعد مرور شهر (30 يوماً) من بداية التجربة اخذت نفس القياسات وكانت عند محتوى رطوبي نهائي 45% وكانت كالآتي:

$$V_{s30} = 71.1\% \quad Ash_{30} = 28.9\%$$

حدد:

- كتلة  $V_{sm0}$  عند بداية التجربة.
- ما هي كمية المادة الصلبة  $V_{sm30}$  المتبقية بعد مرور شهر من التجربة.
- ما هي نسبة الفقد في المادة الصلبة المتطايرة  $V_{s30}$  بعد مرور شهر.
- ما هي كتلة المادة الصلبة الكلية المتوقعة بعد مرور شهر  $T_{sm30}$ .
- ما هي نسبة الانخفاض في المحتوى الرطوبي بعد مرور شهر  $M.C$  %.

2- لنفس السؤال السابق أخذت عينات في فترات مختلفة خلال مدة التجربة وكانت النتائج كما يلي:

Ash (%)	M.C (%)	Vs (%)	المدة (يوم)
12.8	60	87.2	صفر
20.7	55	79.3	10
25.5	50	74.5	20
28.9	45	71.1	30

باستخدام برنامج إكسيل، احسب ما يلي:

- تغير كتلة المادة الصلبة المتطايرة مع الزمن  $V_{smt}$ .
- تغير كتلة المادة الصلبة الكلية مع الزمن  $T_{smt}$ .

7- قَدِّر المساحة المطلوبة لإنشاء وحدة إنتاج سماد عضوي من نوع الصفوف الهوائية ذات

التقليب لإنجاز 38 طن / أسبوعياً من المخلفات الصلبة الحيوانية؟ معطى:

- الكثافة الحجمية للمخلفات الحيوانية الصلبة = 700 كجم/م<sup>3</sup> (0.7 طن/م<sup>3</sup>)
- نحتاج إلى حجم مماثل من المادة المألثة لتصحيح نسبة الكربون : النيتروجين.
- نسبة الانكماش للمخلوط بعد نهاية مرحلة المعالجة = 50%.
- 6 أسابيع مطلوبة لإتمام المرحلة النشطة (المعالجة).
- الكومة لها قاعدة 3.7 متر بارتفاع 1.20 متر ويحكم ذلك أبعاد جهاز التقليب.
- 4 أسابيع مطلوبة لإتمام مرحلة النضوج بعد مرحلة المعالجة.
- الكومة المخصصة للنضوج دائماً تكون أكبر حجماً من المعالجة وأبعادها عادة 5.5 م قاعدة، 1.8 متر ارتفاع (ويكون الحجم لوحدة الطول = 7.8 متر<sup>3</sup>/متر طولي)
- مخزن إضافي متوقع لسماد عضوي ناضج لمدة 9 أسابيع باستخدام صفوف هوائية بارتفاع 2.4 متر.

2- قَدِّر المساحة المطلوبة لإنشاء وحدة سماد عضوي من نوع الصفوف الهوائية ذات

التقليب لإنجاز 76 طن/ شهرياً من المخلفات الصلبة الحيوانية. إذا علمت أن:

- الكثافة الحجمية للمخلفات الحيوانية الصلبة = 700 كجم/م<sup>3</sup>.
- حجم المادة المألثة يساوي حجم المخلفات الحيوانية الصلبة.
- نسبة الانكماش للمخلوط بعد نهاية مرحلة المعالجة = 50%.
- 6 أسابيع مطلوبة لإتمام المرحلة النشطة (المعالجة).
- الكومة لها قاعدة 4.9 متر وارتفاع 1.8 متر.
- 4 أسابيع مطلوبة لإتمام مرحلة النضوج بعد مرحلة المعالجة.
- الكومة لمرحلة المعالجة أبعادها 6 متر قاعدة ، 2.2 متر ارتفاع.
- المخزن بارتفاع 3.0 متر.

## متطلبات الأوكسجين للتخلص من الكربون

1- بقايا عضوية تتكون من الآتي ( $C_{10}H_{19}O_3N$ ) احسب متطلبات الأوكسجين للتخلص من الكربون.

2- نشارة الخشب تتكون في معظمها من سليلوز ( $C_6H_{10}O_5$ ) حدد احتياجات الأوكسجين لإتمام عملية التحلل.

3- بقايا مواد عضوية مخلوطة مع نشارة خشب كمادة أولية مطلوب تحديد متطلبات التهوية اللازمة لإتمام عملية التحلل بافتراض كل المادة الصلبة المتطاير سيتم تحللها، وإذا علمت أن البقايا العضوية لها المواصفات التالية:

المواد الصلبة المتطايرة = 75%.

إتاحة المادة تحت ظروف التحلل = 50%.

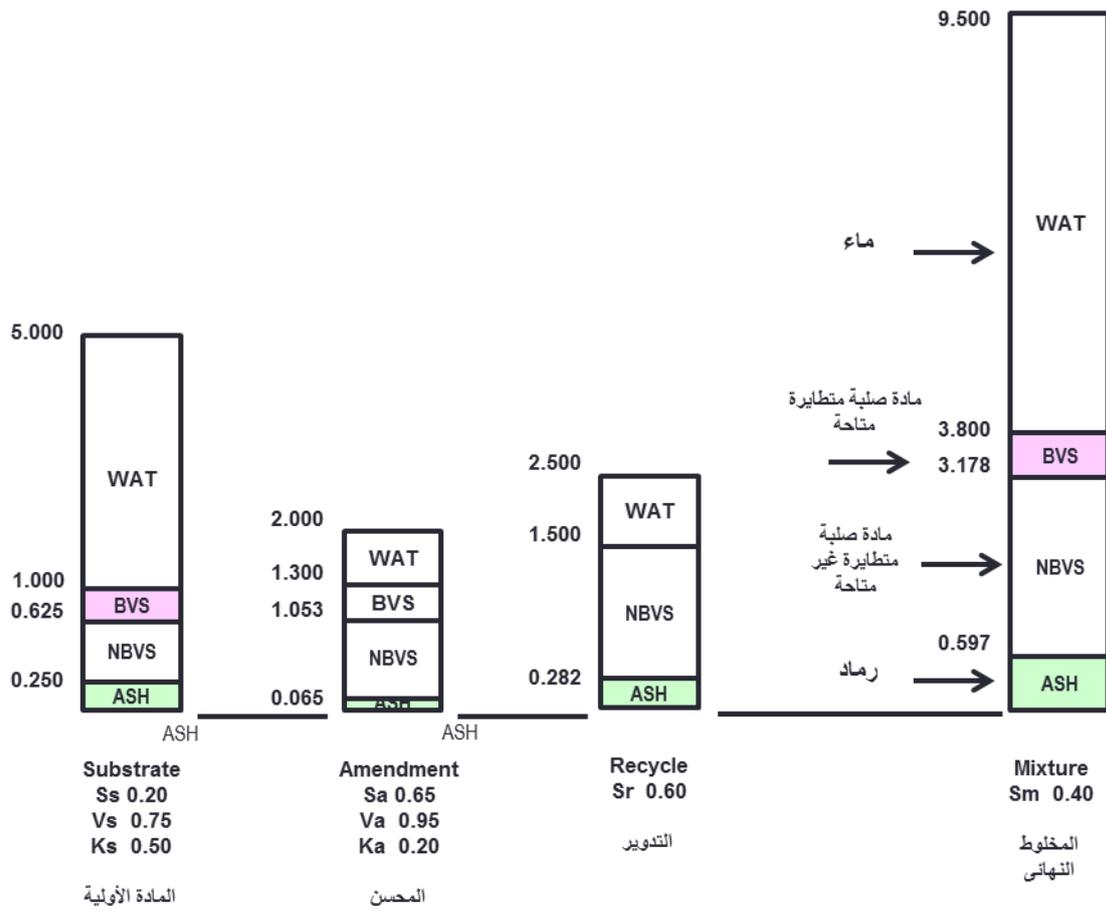
الجزء القابل للتحلل من البقايا العضوية =  $0.375 = 0.5 \times 0.75$

المواد الصلبة المتطايرة للخشب = 95%.

إتاحة المادة تحت ظروف التحلل للخشب = 20%.

الجزء القابل للتحلل من نشارة الخشب =  $0.19 = 0.2 \times 0.95$

4- مائة طن متري من الحمأة (عند 80% محتوى رطوبي) يراد إدخالها في إنتاج دبال، هذه الحمأة تم خلطها مع نشارة خشب (عند 35% محتوى رطوبي) لتحسين قوامها وتخفيف محتواها الرطوبي كذلك تم أيضاً إضافة محسن آخر من السماد العضوي الناضج المعاد استخدامه بنسب كما هو موضح بالشكل التالي: (حدد كمية الهواء المطلوب لتلبية احتياجات التحلل؟).



5- أجريت تجربة معملية لإنتاج السماد العضوي على مادة أولية تتكون من  $(C_{31}H_{50}O_{26}N)$  كما أوضحت الدراسة أن 1000 كجم من المادة الأولية الصلبة تم خفضها إلى 200 كجم وزن جاف بعد إتمام عملية الإنتاج، فإذا كانت مكونات المنتج النهائي (السماد العضوي) هي  $(C_{11}H_{14}O_4N)$ . حدد كمية الأوكسجين ( $O_2$ ) المطلوب لإتمام عملية التحلل الهوائي اللازم لـ 1000 كجم من المادة الأولية (وزن جاف)؟

## متطلبات التهوية للتحكم بالمحتوى الرطوبي

1- مادة عضوية رطبة ( $C_{10}H_{19}O_3N$ ) نسبة المواد الصلبة 25% نحتاج لتحويلها إلى سماد عضوي مع تجفيفها لتصل إلى محتوى صلب 65%، نسبة المادة الصلبة المتطايرة فيها 75% والنهائية المتوقعة 45%، درجة الحرارة المحيطة 25°م ورطوبة نسبية 75%، والضغط الابتدائي الكلي 760 ملم زئبق، والهواء الخارج عند درجة حرارة 55°م - حدد وزن وحجم الهواء المطلوب وكذلك EAR نسبة زيادة الهواء لإزالة الرطوبة المطلوبة؟

# الملحقات

## ملحق 2 خصائص المخلفات الزراعية Agricultural residues characteristics

جدول 1- أ: تعريف مصطلحات وصف المخلفات الزراعية (الخواص الطبيعية)

المصطلح	الاختصار	وحدات القياس	التعريف	طريقة القياس
الوزن	Wt	رطل (باوند)	كمية أو كتلة	الميزان
الحجم	Vol	قدم <sup>3</sup> ، غالون	الحجم الذي تشغله وحدة الحجم	يوضع في وعاء ذات حجم معروف
المحتوى الرطوبي	MC	%	الجزء من المخلفات الذي يتبخر على درجة حرارة 103°م	تسخين المادة على درجة حرارة 103°م لمدة 24 ساعة أو حتى يثبت الوزن
المواد الصلبة الكلية	TS	%	وزن المادة المتبقية بعد تبخر كل الماء في العينة.	يتم قياس الوزن المتبقي بعد تبخير الماء كاملاً
المواد الصلبة المتطايرة	TVS, VS	%	الجزء المتطاير من المادة عند تسخينها على درجة حرارة 600°م	وضع المادة في فرن على درجة حرارة 600°م لمدة ساعة واحدة على الأقل
المواد الصلبة الثابتة أو الرماد	FS, TFS	%	الجزء الباقي من المادة بعد تسخينها على درجة حرارة 600°م	وزن المادة الباقية بعد الاحتراق على درجة حرارة 600°م لمدة ساعة
المواد الصلبة الذائبة	DS, TDS	%	وزن المادة الجاف الذي يمر خلال غشاء في عملية الفصل بالأغشية (الترشيح)	يتم إمرار مادة محددة الوزن خلال غشاء بقطر 0.45 ميكرومتر ثم يجفف ويسجل وزن المادة
المواد الصلبة المعقدة	SS, TSS	%	وزن المادة الجاف الذي يتم إزالته من فوق فلتر الترشيح	يحسب كنتاج الفرق في الوزن بين المواد الصلبة الكلية والمواد الصلبة الذائبة

جدول 1- ب: تعريف مصطلحات وصف المخلفات الزراعية (الخواص الكيميائية)

المصطلح	الاختصار	وحدات القياس	التعريف	طريقة القياس
الأمونيا الكلية أو (نيتروجين الأمونيا)	NH <sub>3</sub> -N	ملجم/لتر ميكروجرام/لتر	مركبات النيتروجين في الأمونيا (NH <sub>3</sub> ) والأمينوم (NH <sub>4</sub> ) (في الحالة الغازية)	الطرق المختبرية المعروفة والتي تتضمن الهضم، الأكسدة، الاختزال لتحويل كافة أشكال النيتروجين إلى أمونيا يمكن قياسها
نيتروجين الأمونيوم	NH <sub>4</sub> -N	ملجم/لتر ميكروجرام/لتر	أيونات نيتروجين الأمونيا الموجبة	-
نيتروجين كدال الكلي	TKN	ملجم/لتر ميكروجرام/لتر	مجموع النيتروجين العضوي ونيتروجين الأمونيا	عملية الهضم التي تحول جميع النيتروجين العضوي إلى أمونيا
نيتروجين النترا	NO <sub>3</sub> -N	ملجم/لتر ميكروجرام/لتر	أيونات النيتروجين السالبة عالية الحركة	-
النيتروجين الكلي	TN, N	%، رطل (باوند)	مجموع النيتروجين الكلي من جميع مصادره	-
الفسفور	SRP, TP P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , P	ملجم/لتر رطل (باوند)	TP الفسفور الكلي هو جميع أشكال الفسفور الذائب وغير الذائب. SRP: الفسفور الذائب المتفاعل هو الجزء الذي يمتصه النبات P: الفسفور كعنصر P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : السماد الفسفوري	الاختبارات العملية القائمة على الهضم أو الاختزال لتحويل الفسفور إلى مركبات ملونة، النتائج تقاس عن طريق المحلل الطيفي الضوئي Spectrophotometes أو البلازما Inductive couples الثنائية الحثية plasma
متطلبات الأوكسجين الكيميائي والحيوي لخمسة أيام BOD5 متطلبات الأوكسجين الكيميائي COD	BOD <sub>5</sub>	باوند أكسجين		يتم حقن عينة المخلفات بماء يحتوي أكسجين مذاب لمدة 5 أيام ويتم قياس كمية الأكسجين المذاب المستهلك
	COD	باوند أكسجين	مقياس لاستهلاك المخلفات العضوية وغير العضوية للأوكسجين	يتم استخدام الكيمياء المؤكسدة مع الحرارة لأكسدة المواد العضوية في المخلفات الصلبة

جدول 2: تحويل العناصر الغذائية الى العناصر المكافئة

أضرب	في	لتحصل على
الأمونيا	NH <sub>3</sub>	N
الأمونيوم	NH <sub>4</sub>	N
النترا	NO <sub>3</sub>	N
النيتروجين	N	NH <sub>3</sub>
النيتروجين	N	NH <sub>4</sub>
النيتروجين	N	NO <sub>3</sub>
الفوسفات	PO <sub>4</sub>	P
خامس أكسيد الفوسفور	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P
الفسفور	P	PO <sub>4</sub>
الفسفور	P	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
أكسيد البوتاسيوم	K <sub>2</sub> O	K
البوتاسيوم	K	K <sub>2</sub> O

جدول 3: كثافة بعض مواد الفرشة<sup>(1)</sup> (Bedding materials)

المادة	سائب	مقطع (رطل/قدم <sup>3</sup> )
قش البقوليات	4.3	6.5
قش غير البقوليات	4.0	6.0
قش	2.5	7.0
نشارة خشب خشنة	9.0	
نشارة خشب ناعمة	12	
تراب	75	
رمل	105	
حجر طباشيري	95	

<sup>(1)</sup> منقول من ASAE D384.2 مارس 2005.

جدول 4: مخلفات الأبقار والعجول – الروث الطازج

أ – الأبقار والعجول (وحدة لكل يوم لكل حيوان)<sup>(1)</sup>

الخاصية	الوحدة	الأبقار في المزارع	عجول التسمين في المزارع (450- 750 رطل)
الوزن (M)	رطل/يوم/حيوان	125	50
الحجم (V)	قدم <sup>3</sup> /يوم/حيوان	2.0	0.8
المحتوى الرطوبي (MC)	أساس رطب %	88	88
المواد الصلبة الكلية (TS)	رطل/يوم/حيوان	15	6.0
المواد الصلبة المتطايرة (VS)	رطل/يوم/حيوان	13	5.0
متطلبات الأوكسجين (BOD)	رطل/يوم/حيوان	3.0	1.1
النيتروجين N	رطل/يوم/حيوان	0.42	0.29
الفسفور P	رطل/يوم/حيوان	0.097	0.055
البوتاسيوم K	رطل/يوم/حيوان	0.30	0.19

<sup>(1)</sup> القيم للحم البقر خلال فترة عدم الرضاعة والستة أشهر الأولى من الحمل. (معدل من الاصدار 1992 لـ AWMFH)

ب - الأبقار والعجول (وحدة لكل يوم لكل 1000 رطل من وزن الحيوان)<sup>(1)</sup>

عجول التسمين في المزارع (450-750 رطل) <sup>(3)</sup>	الأبقار في المزارع <sup>(2)</sup>	الوحدة	الخاصية
77	104	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الحيوان	الوزن (M)
1.2	1.7	قدم/3يوم/ 1000 رطل من وزن الحيوان	الحجم (V)
88	88	أساس رطب %	المحتوى الرطوبي (MC)
9.2	13	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الحيوان	المواد الصلبة الكلية (TS)
7.7	11	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الحيوان	المواد الصلبة المتطايرة (VS)
1.7	2.5	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الحيوان	متطلبات الأوكسجين (BOD)
0.45	0.35	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الحيوان	النيتروجين (N)
0.08	0.08	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الحيوان	الفسفور (P)
0.29	0.25	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الحيوان	البوتاسيوم (K)

<sup>(1)</sup> القيم للحم البقر خلال فترة عدم الرضاعة والستة أشهر الأولى من الحمل.

<sup>(2)</sup> تساوي قيم الجدول (4-8) × (1000 رطل/1200 رطل وزن).

<sup>(3)</sup> تساوي قيم الجدول (4-8) × (1000 رطل/650 رطل وزن).

جدول 5: خصائص مخلفات الدواجن – الروث الطازج

أ – الدواجن البيضاء (وحدة / يوم / طائر)<sup>(1)</sup>

دواجن بيضاء	الوحدة	الخاصية
0.19	رطل/يوم/حيوان	الوزن (M)
0.0031	قدم <sup>3</sup> /يوم/حيوان	الحجم (V)
% 75	على أساس رطب	المحتوى الرطوبي (MC)
0.049	رطل/يوم/حيوان	المواد الصلبة الكلية (TS)
0.036	رطل/يوم/حيوان	المواد الصلبة المتطايرة (VS)
0.011	رطل/يوم/حيوان	متطلبات الأوكسجين (BOD)
0.0035	رطل/يوم/حيوان	النيتروجين (N)
0.0011	رطل/يوم/حيوان	الفسفور (P)
0.0013	رطل/يوم/حيوان	البوتاسيوم (K)

<sup>(1)</sup> منقول من ASAE D384.2 مارس 2005.

ب – الدواجن البيضاء (وحدة / يوم / 1000 رطل من وزن الطائر)

الدواجن البيضاء <sup>(1)</sup>	الوحدة	الخاصية
57	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطائر	الوزن (M)
0.93	قدم <sup>3</sup> /يوم/ 1000 رطل من وزن الطائر	الحجم (V)
75	أساس رطب %	المحتوى الرطوبي (MC)
15	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطائر	المواد الصلبة الكلية (TS)
11	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطائر	المواد الصلبة المتطايرة (VS)
3.3	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطائر	متطلبات الأوكسجين (BOD)
1.1	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطائر	النيتروجين N
0.33	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطائر	الفسفور P
0.39	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطائر	البوتاسيوم K

<sup>(1)</sup> القيمة × (1000 رطل/3 رطل وزن متوسط) × 0.9

ج - الدواجن اللاحمة (وحدة / طائر ناضج)<sup>(1)</sup>

الأوز	أنثى الرومي	ذكر الرومي	الدجاج	الوحدة	الخاصية
14	38	78	11	رطل/طائر ناضج	الوزن (M)
0.23	0.61	1.3	0.17	قدم <sup>3</sup> /طائر ناضج	الحجم (V)
74	74	74	74	أساس رطب %	المحتوى الرطوبي (MC)
3.7	9.8	20	2.8	رطل/طائر ناضج	المواد الصلبة الكلية (TS)
2.2	7.8	16	2.1	رطل/طائر ناضج	المواد الصلبة المتطايرة (VS)
0.61	2.4	5.2	0.66	رطل/طائر ناضج	متطلبات الأوكسجين (BOD)
0.14	0.57	1.2	0.12	رطل/طائر ناضج	النيتروجين (N)
0.047	0.16	0.36	0.035	رطل/طائر ناضج	الفسفور (P)
0.068	0.25	0.57	0.068	رطل/طائر ناضج	البوتاسيوم (K)

<sup>(1)</sup> منقول من ASAE D384.2 مارس 2005.

د - الدواجن اللاحمة (وحدة/ يوم / 1000 رطل من وزن الطائر)

الأوز <sup>(4)</sup>	أنثى الرومي <sup>(3)</sup>	ذكر الرومي <sup>(2)</sup>	الدجاج <sup>(1)</sup>	الوحدة	الخاصية
102	48	34	88	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطيور	الوزن (M)
1.7	0.77	0.57	1.4	قدم <sup>3</sup> /3 1000 رطل من وزن الطيور	الحجم (V)
74	74	74	74	أساس رطب %	المحتوى الرطوبي (MC)
27	12	8.8	22	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطيور	المواد الصلبة الكلية (TS)
16	9.8	7.1	17	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطيور	المواد الصلبة المتطايرة (VS)
4.5	3.0	2.3	5.3	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطيور	متطلبات الأوكسجين (BOD)
1.0	0.72	0.53	0.96	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطيور	النيتروجين (N)
0.35	0.20	0.16	0.28	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطيور	الفسفور (P)
0.50	0.31	0.25	0.54	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطيور	البوتاسيوم (K)

<sup>(1)</sup> القيمة × (1000 رطل/ 2.6 رطل وزن متوسط) / 48 يوم تغذية <sup>(2)</sup> القيمة × (1000 رطل/ 17.03 رطل وزن متوسط) / 133 يوم تغذية <sup>(3)</sup> القيمة × (1000 رطل/ 7.57 رطل وزن متوسط) / 105 يوم تغذية <sup>(4)</sup> القيمة × (1000 رطل/ 3.51 رطل وزن متوسط) / 39 يوم تغذية

جدول 6: خصائص مخلفات الأغنام – الروث الطازج

الخراف	الوحدة	الخاصية
40	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطيور	الوزن (M)
0.63	قدم <sup>3</sup> / 1000 رطل من وزن الطيور	الحجم (V)
75	أساس رطب %	المحتوى الرطوبي (MC)
25	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطيور	المواد الصلبة الكلية (TS)
10	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطيور	
8.3	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطيور	المواد الصلبة المتطايرة (VS)
1.8	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطيور	الرماد (FS)
11	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطيور	متطلبات الأوكسجين الكيميائية (COD)
1.0	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطيور	متطلبات الأوكسجين البيوكيميائية (BOD)
0.45	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطيور	النيتروجين (N)
0.07	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطيور	الفسفور (P)
0.30	رطل/يوم/ 1000 رطل من وزن الطيور	البوتاسيوم (K)
10.0		نسبة الكربون إلى النيتروجين (C:N ratio)

جدول 7: خصائص مخلفات روث الخيل – الروث الطازج

أ – حصان / يوم - حيوان

نشط (1100 رطل)	غير نشط (1100 رطل)	الوحدة	الخاصية
57	56	رطل/يوم/حيوان	الوزن (M)
0.92	0.90	قدم <sup>3</sup> /يوم/حيوان	الحجم (V)
85	85	أساس رطب %	المحتوى الرطوبي (MC)
8.6	8.4	رطل/يوم/حيوان	المواد الصلبة الكلية (TS)
6.8	6.6	رطل/يوم/حيوان	المواد الصلبة المتطايرة (VS)
1.1	1.1	رطل/يوم/حيوان	متطلبات الأوكسجين (BOD)
0.34	0.20	رطل/يوم/حيوان	النيتروجين (N)
0.073	0.029	رطل/يوم/حيوان	الفسفور (P)
0.21	0.060	رطل/يوم/حيوان	البوتاسيوم (K)

جدول 8: خصائص روث الأرانب - الروث الطازج<sup>(1)</sup>

القيمة	الوحدة	الخاصية
0.86	أساس جاف %	المواد الصلبة المتطايرة (VS)
0.14	أساس جاف %	متطلبات الأوكسجين (BOD)
1.0	أساس جاف %	النيتروجين (N)
0.03	أساس جاف %	الفسفور (P)
0.02	أساس جاف %	البوتاسيوم (K)
16		نسبة الكربون إلى النيتروجين (C:N ratio)

<sup>(1)</sup> معدل من الاصدار 1992 لـ AWMFH

جدول 9: خصائص روث الأبقار المنتجة للحليب- الروث الطازج (الوحدة /يوم-حيوان<sup>(1)</sup>)

الأيقار الجافة <sup>(2)</sup>	الأيقار الصغيرة	العجول	العجول الرضيعة	الأيقار الحلابية <sup>(2)</sup>				الوحدة	الخاصية
				إنتاج الحليب باوند/ يوم					
	970 باوند	330 باوند	125 باوند	125	100	75	50		
85	54	27		179	164	148	133	باوند/يوم/ح	وزن الروث
1.4	0.87	0.44		2.9	2.6	2.4	2.1	قدم <sup>3</sup> /يوم/ح	حجم الروث
87	83	83		87	87	87	87	% أساس رطب	الرطوبة
11.0	8.3	3.0		23	21	19	17	باوند/يوم/ح	الواد الصلبة الكلية
9.3	7.1	3.0		20	18	16	14	باوند/يوم/ح	المواد الصلبة المتطايرة <sup>(3)</sup>
1.4	1.2						2.9	باوند/يوم/ح	متطلبات الأكسجين البيوكيميائي BOD5
0.50	0.26	0.14	0.017	1.11	1.04	0.97	0.90	باوند/يوم/ح	النيتروجين
0.07	0.04	0.02		0.21	0.19	0.17	0.15	باوند/يوم/ح	الفسفور
0.16	0.11	0.04		0.52	0.49	0.45	0.41	باوند/يوم/ح	البوتاسيوم

<sup>(1)</sup> منقول من ASAE D384.2 مارس 2005.

<sup>(2)</sup> يفرض 1.375 رطل أبقار حلابية و 1.660 رطل بقرة جاف.

<sup>(3)</sup> على أساس 85% من المادة الصلبة.

جدول 10: مخلفات تصنيع منتجات الألبان (1)

مياه الصرف الصحي		المنتج/العملية
الوزن باوند/باوند لبن مصنع	BOD <sub>5</sub> باوند / 1000 باوند لبن مستلم	
6.1	1.0	تداول اللبن الخام
4.9	5.2	تصنيع اللبن
4.9	1.5	الزبد
2.1	1.8	الجبن
1.9	4.5	لبن مكثف
2.8	3.9	لبن جاف (بودرة)
2.5	6.4	لبن، جيلاتي، جبنة
6.0	34	Cottage cheese
2.8	5.8	جيلاتي
1.8	3.5	لبن و Cottage cheese
1.8	2.5	مخلوط من المنتجات

(1) معدل من الاصدار 1992 لـ AWMFH

جدول 11: خواص مخلفات منتجات الألبان – عمليات مياه الصرف الصحي (1)

حمأة مياه صرف الجبنة	شرش اللبن		صناعة واسعة	الوحدة	الخاصية
	حمضى	سكرى			
98	93	93	98	%	المحتوى الرطوبي (MC)
2.5	6.6	6.9	2.4	% أساس رطب	المواد الصلبة الكلية (TS)
	6.0	6.4	1.5	% أساس رطب	المواد الصلبة المتطايرة (VS)
	0.60	0.55	0.91	% أساس رطب	الرماد (FS)
		1.3		% أساس رطب	متطلبات الأوكسجين الكيميائية (COD)
			2.0	% أساس رطب	متطلبات الأوكسجين البيوكيميائية (BOD5)
0.18		7.5	0.077	% أساس رطب	النيتروجين (N)
0.12			0.050	% أساس رطب	الفسفور (P)
0.05			0.067	% أساس رطب	البوتاسيوم (K)

(1) معدل من الاصدار 1992 لـ AWMFH

جدول 12 توصيف تجهيز مخلفات اللحوم - مياة الصرف الصحي<sup>(1)</sup>

اللحوم الحمراء				الوحدة	العنصر	
الفروج	الدواجن	تحويل	ربط			
	2.500		1.000	700	جالون/1000 باوند	الحجم (V)
95					%	الرطوبة (MC)
0.5					أساس رطب %	المواد الصلبة (TS)
	6.0	2.7	8.7	4.7	باوند/1000 باوند <sup>(2)</sup>	المواد الصلبة المتطايرة (VS)
					باوند/1000 باوند <sup>(2)</sup>	
4.3		19	14	6	باوند/1000 باوند <sup>(2)</sup>	الرماد (FS)
	8.5	5.7	12	5.8	باوند/1000 باوند <sup>(2)</sup>	متطلبات الأكسجين البيوكيميائي (BOD <sub>5</sub> )
0.30						النيتروجين (N)
0.084						الفسفور (P)
0.012						البوتاسيوم (K)

(1) تم التعديل من الاصدار 1992 لـ AWMFH

(2) الحصاد - الذبح، وتحضير الذبيحة للتحويل

(3) الربط، الذبح و تحضير الذبيحة للتحويل

(4) التجهيز: التقطيع، الطحن، التعبئة

(5) الكميات لكل 1000 رطل منتج

(6) جميع القيم % على أساس رطب

(7) لكل 1000 رطل محصول وزن حي

جدول 13 توصيف تجهيز مخلفات اللحوم- حمأة الصرف الصحي<sup>(1)</sup>

حمأة الصرف الصحي	الماشية	الخنزير	الدواجن	الوحدة	الخاصية
96	95	93	94	%	المحتوى الرطوبي MC
4.0	5.5	7.5	5.8	% على أساس رطب	المادة الصلبة الكلية TS
3.4	4.4	5.9	4.8	% على أساس رطب	المادة الصلبة المتطايرة VS
0.60	1.1	1.6	1.0	% على أساس رطب	المادة الصلبة المتبقية FS
			7.8	% على أساس رطب	متطلبات الأكسجين COD
0.20	0.40	0.53	0.41	% على أساس رطب	النيتروجين N
			0.17	% على أساس رطب	نيتروجين الأمونيوم NH <sub>4</sub> N
0.04			0.12	% على أساس رطب	الفسفور P

(1) تم التعديل من الاصدار 1992 لـ AWMFH

جدول 14 توصيف تجهيز مخلفات الخضر - مياة الصرف الصحي<sup>(1)</sup>

العنصر	الوحدة	قطع الفول	French style bean	البازلاء	البطاطس	الطماطم
الحجم (V)	قدم <sup>3</sup> /يوم/1000				270 <sup>(3)</sup>	
المواد الصلبة (TS)	باوند/1000 باوند <sup>(2)</sup>	15	43	39	53 <sup>(4)</sup>	130
المواد الصلبة المتطايرة (VS)	باوند/1000 باوند <sup>(2)</sup>	9	29	20	50 <sup>(4)</sup>	
الرماد (FS)	باوند/1000 باوند <sup>(2)</sup>	6	14	19	3 <sup>(4)</sup>	
متطلبات الأكسجين (COD)	باوند/1000 باوند <sup>(2)</sup>	14	35	37	71 <sup>(5)</sup>	96
متطلبات الأكسجين البيوكيميائي (BOD <sub>5</sub> )	باوند/1000 باوند <sup>(2)</sup>	7	17	21	32	55

<sup>(1)</sup> تم التعديل من الاصدار 1992 لـ AWMFH

<sup>(2)</sup> باوند/1000 باوند من المادة الأولية

<sup>(3)</sup> قدم<sup>3</sup>/باوند مجهز

<sup>(4)</sup> المواد الصلبة المعلقة الكلية

<sup>(5)</sup> نسبة المادة الصلبة الذائبة

جدول 15: خواص مخلفات الخضر والفاكهة- مخلفات صلبة (1)

البوتاسيوم	الفوسفور	النيتروجين	الرماد	مواد صلبة متطايرة	المواد الصلبة	المحتوى الرطوبي	فاكهة/خضر
		0.53	2.1	14	16	84	موز، طازج
		0.30			14	87	بروكلي، ورق
	0.034	0.14	1.0	8.6	9.6	90	كرنب، ورق
		0.38			10	90	كرنب، قلب
	0.03	0.42	2.4	14	16	84	جزر، جزء علوى
	0.04	0.25	1.3	11	13	87	جزر، جذر
	0.039	1.7	1.3	31	32	68	<b>Cassava، جذر</b>
		0.7	1.2	19	20	80	ذرة، سكرية، جزء علوى
	0.06	0.22	1.9	9.7	12	88	كرنب (kale)، جزء علوى
	0.027	0.05	0.9	4.5	5.4	95	خس، جزء علوى
	0.02	1.4	6.7	85	91	8.6	بصل، جزء علوى ناضج
		0.26	0.6	12	13	87	برتقال، لحم
		0.24	1.0	15	16	84	برتقال، لب
		0.47			24	76	جزر أبيض، جذر
		1.2	16	72	87	13	بطاطس، جزء علوى ناضج
1.9	0.25	1.6					بطاطس، درنة
	0.037	0.12	0.8	7.9	8.7	91	قرع، لحم
		0.20			11	89	<b>rhubarb</b>
		0.35			10	90	لفت أصفر، جزء علوى
		0.20			11	90	لفت أصفر، جذر
		0.07			6.5	94	سبانخ، ساق
0.30	0.03	0.15	0.6	5.2	5.8	94	طماطم، طازج
0.089	0.044	0.22	0.9	10	11	89	طماطم، مخلفات صلبة
	0.20				7.8	92	لفت، نبات علوى
		0.34				91	لفت، جذر

(1) تم التعديل من الاصدار 1992 لـ AWMFH

جدول 16 المدى النموذجي للتركيز المغذي لعصارة السيلاج<sup>(1)</sup>

العنصر	التركيز (باوند/قدم <sup>3</sup> )
النيتروجين الكلي	0.27-0.09
الفوسفور	0.04-0.02
البوتاسيوم	0.32-0.21

(1) تم التعديل بواسطة ستوارت وماك كلوف  
Adapted from Stewart and McCullough

جدول 17 انتاج العصارة على اساس نسبة المادة الجافة للسيلاج<sup>(1)</sup>

العصارة الناتجة من السيلاج	محتوى المادة الجافة للسيلاج %
50 - 100	أقل من 15
30 - 50	من 15 - 20
5 - 30	من 20 - 25
0 - 5	أكبر من 25

(1) تم التعديل بواسطة ستوارت وماك كلوف

جدول 18 خصائص الروث المنقول للاستعمال<sup>(1)</sup>

الحيوان	الوزن lb/hd/d	الرطوبة النسبية %wb	المواد الصلبة الكلية TS-%wb	المواد الصلبة المتطايرة Vs- %TS	النيتروجين الكلي TKN %wb	الامونيا الكلية NH <sub>3</sub> -N %wb	الفوسفور %wb	البوتاسيوم %wb
<b>الأبقار</b> (من أراضي ترابية)	17	33	67	30	1.2	0.10	0.50	1.3
<b>الدواجن</b> لوجهورن	-	65	40		2.1	0.85	1.0	1.1
دجاج بياض	0.066	59	40		1.9	0.88	1.2	1.3
دجاج لاحم	0.044	31	70	70	3.7	0.75	0.60	1.4
ديك رومي	0.24	30			2.2		0.33	1.2
<b>أبقار حلابة</b> روث من أراضي ترابية	77	54	46		0.70		0.25	0.67
روث من أراضي أسمنتية	88	72	25		0.53		0.13	0.40
برك روث	234	98	2	52	0.073	0.08	0.016	0.11
روث سائل	148	92	8	66	0.30	0.14	0.13	0.40
<b>الخيول</b> روث صلب	71	43	65	26	0.76		0.24	0.90
روث المساكن	101							
روث تجارى								
<b>الخنزير</b> Finisher-Slurry, wet-dry feeders	8.8-6.6	91	9.0		0.70	0.50	0.21	0.24
Slurry storage-dry feeders	9.9	94	6.1		0.47	0.34	0.18	0.24
نتاج تنظيف الحظيرة	35	98	2.0		0.20	0.14	0.07	0.17
Agitated solids and water		98	2.2		0.10	0.05	0.06	0.06
برك مياه سطحية		99.6	0.40		0.06	0.04	0.02	0.07
برك روث		90	10		0.26	0.07	0.25	0.07

(1) معدل ASAE D384.2 مارس 2005.

جدول 19: خصائص الروث المنقول للاستعمال - تكملة

الأمونيا NH <sub>3</sub> -N (lb/AU/d)	الأمونيا NH <sub>3</sub> -N (% wet basis)	إجمالي النيتروجين كيلدال (lb/AU/d)	إجمالي النيتروجين كيلدال (wt%)	المواد الصلبة المتطايرة (lb/AU/d)	المواد الصلبة المتطايرة (Vs- %TS)	المواد الصلبة الكليّة (lb/AU/d)	المواد الصلبة (الكليّة - TS) %wb)	الرطوبة النسبية (%wb)	الوزن (lb/AU/d) (wet basis)	نوع الانتاج
017	0.10	0.20	1.18	3.4	30.2	11	67	33	17	الأبقار (من أراضي ترابية)
15	0.88	0.31	1.85			6.6	40	30	17	الدواجن (لوجهورن)
13	0.75	0.63	3.73	8.3	70.0	12	70	31	17	روث الدجاج اللاحم
		0.51	2.18					30	23	روث الرومي اللاحم
		0.40	0.70			26	46	54	57	أرضيات حظائر انتاج الحليب
		0.34	0.53			16	25	72	65	أرضيات أسمنتية لحظائر انتاج الحليب
14	0.08	0.12	0.07	1.8	52.0	3.4	2	98	171	منتجات أحواض حظائر الحليب
15	0.14	0.32	0.30	5.7	66.0	8.7	8	92	108	
		0.49	0.70	11	26.3	4.2	65	43	64	
25	0.50	0.35	0.70			4.5	9	91	50	
077	0.34	0.11	0.47			1.4	6	94	23	
11	0.14	0.16	0.20			1.6	2	98	80	

المصدر: الولايات المتحدة الأمريكية - قسم الزراعة، خدمات الحفاظ على الموارد الطبيعية، إدارة المخلفات الزراعية (كتاب).

## المراجع العربية

- 1- ابراهيم، محمد حلمى- 2010 - هندسة النظم البيئية الحيوية – كلية الزراعة – جامعة الإسكندرية – جمهورية مصر العربية.
- 2- الحجار، صلاح محمود، ٢٠١١م - أسس وآليات التنمية المستدامة: إدارة المخلفات الصلبة البدائل - الابتكارات – الحلول - دار الفكر العربي - القاهرة .
- 3- عبدالنواب، معوض، ١٩٦٨ م - جرائم التلوث من الناحية القانونية والفنية - منشأة المعارف - الإسكندرية
- 4- صابر، محمد، ١٩٩٨ م - البيئة من حولنا دليل لفهم التلوث وآثاره - الجمعية المصرية لنشر المعرفة - القاهرة
- 5- محمد بن ابراهيم الدغيري - النفايات الصلبة تعريفها - أنواعها وطرق علاجها - المملكة العربية السعودية - جامعة الملك سعود - الجمعية الجغرافية السعودية سلسلة ثقافية جغرافية العدد (٣) .
- 6- سامح غرايبة، يحيى الفرحان - مدخل إلى العلوم البيئية دار الشروق للنشر والتوزيع الطبعة العربية الثالثة الكتوران.
- 7- أحمد فؤاد النجاوي - تكنولوجيا معالجة المياه والصرف الصناعي في الوحدات الإنتاجية - منشأة المعارف، جلال حذى وشركائه (الطبعة 2000).
- 8- مجلة بيتنتنا، إصدار سنة 2013 – الهيئة العامة للبيئة – العدد 40 – الهيئة العامة للبيئة، دولة الكويت.
- 9- سلطان بن محمد العيد، السماد المخمر (الكومبوست)، وزارة الزراعة مشروع تطوير الزراعة العضوية جي آي زد (مركز أبحاث الزراعة العضوية بمنطقة القصيم) القصيم ١١٤٣٢ صندوق بريد ٢٠٤ ٥١٩١١ عنيزة.

## المراجع الأجنبية

1. Animal, Agricultural and Food Processing Wastes: Proceedings of the Eighth International Symposium, October 9-11, 2000, Des Moines, Iowa. American Society of Agricultural Engineers Publication.

2. Compost Utilization In Horticultural Cropping Systems (2001). Peter J. Stoffella , Brian A. Kahn. Publication Date: January 31, 2001, ISBN-13: 978-1566704601. First Edition
3. Haug, R.T. 1993. *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishing, Boca Raton, Florida. Publication Date: September 30, 1993, ISBN-13: 978-0873713733. First Edition
4. Meek, B. L., Chesnison, L., Fuller, W., Miller, R., and Turner, D. " Guidelines for manure Use and Disposal in the Western Region, USA, "Bulletin 814, College of Agriculture Research Center, Washington State University, Pullman, WA (1975).
5. Practical Handbook of Compost Engineering (1993).
6. Suler, D. "Composting Hazardous Industrial Wastes," Compost Science (July/August 1979).
7. The Science of Composting, Eliot Epstein,1996. Publication Date: December 17, 1996 ISBN-13: 978-1566764780 First Edition.
8. Rashwan, M. A., H. A. Elsoury, A. I. A. Omara, 2013: Effect of total solids content on biogas production in a family scale biogas digester, Misr Journal of Agric. Eng., Vol. 30-No. (4) October 2013. pp.1195~1210.
9. Mohr, Peter J.; Taylor, Barry N.; Newell, David B. 2008: CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants, 2006. Rev. Mod. Phys. Bibcode 2008 Rv MP.80..633M. doi:10.1103/RevModPhys.80.633 80 (2): 633–730.
10. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Services, Agricultural Waste Management Field Handbook. Available at: [http://www.vt.nrcs.usda.gov/technical/engineering/AWMFH\\_VT.html](http://www.vt.nrcs.usda.gov/technical/engineering/AWMFH_VT.html)

مراجع من شبكة المعلومات الدولية

- 1- <https://ar.wikipedia.org/wiki/>
- 2- <http://www.bee2ah.com> المخلفات الصناعية

- 3- <http://www.mawdoo3.com/>
- 4- <http://www.homecompostingmadeeasy.com/carbonnitrogenratio.html>
- 5- [http://www.vt.nrcs.usda.gov/technical/engineering/AWMFH\\_VT.html](http://www.vt.nrcs.usda.gov/technical/engineering/AWMFH_VT.html)