

تطوير عمليات التخلص من

النفايات البلدية الصلبة



د. وليد بن محمد زاهد

قسم الهندسة المدنية - كلية الهندسة - جامعة الملك سعود

# محتويات العرض

- أهم التقنيات و العمليات الحديثة للتخلص من النفايات البلدية الصلبة:

- ◇ عمليات التحويل الحراري

- ◇ عمليات التحويل الحيوي

- ◇ الدفن الصحي

- أهم منتجات هذه العمليات و طرق استغلالها

- الاعتبارات البيئية و الهندسية و الاقتصادية المتعلقة

- بإمكانية تطبيق هذه التقنيات و تطويرها

# المبادئ الأساسية لطرق التخلص الحديثة

- الحد من التلوث البيئي
- استرداد / استرجاع الموارد
- المحافظة على الموارد الطبيعية

# أولاً: التحويل الحراري

- تحويل النفايات الصلبة إلى منتجات غازية و سائلة و صلبة  
بغرض تقليل حجم النفايات و استرجاع منتجات التحويل  
بواسطة:

- حرق النفايات
- مصدر حراري خارجي

# عمليات التحويل الحراري

- **الحرق:** حرق بوجود كمية من الأوكسجين كافية لأكسدة المواد
- **الانحلال الحراري (التقطير الإتلافي):** حرق بدون أوكسجين
- **التغويز:** حرق بوجود أوكسجين أقل من اللازم نظريا

# (١) الحرق

- أكثر عمليات التحويل الحراري استخداماً

- حرق النفايات الصلبة كما هي بعد فصل المكونات الكبيرة أو حرق المكونات العضوية بعد تقطيعها أو تشكيلها على هيئة مكعبات أو كريات صغيرة

- متطلبات الاحتراق الكامل:

هواء بكمية كافية + خلط جيد + حرارة كافية

- درجة حرارة الحرق:

□ ٧٨٠ م ° للحد من انبعاث الروائح

□ ٩٨٠ م ° للحد من انبعاث الغازات الخطرة

□ ١٦٥٠ م ° لتحويل الحديد و الزجاج إلى رماد

## • منتجات الحرق:

### ١- طاقة حرارية:

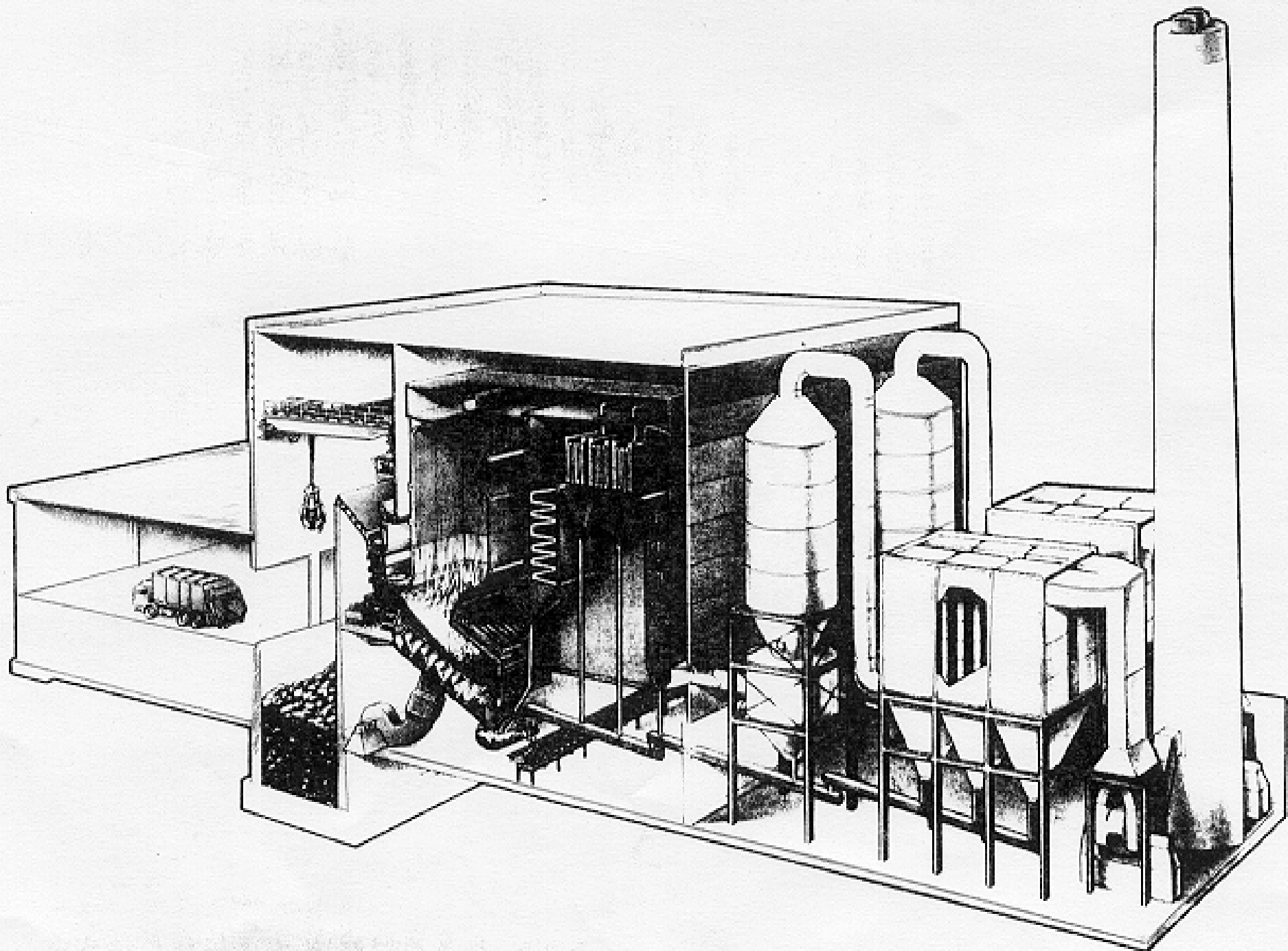
- تسخين الماء للتدفئة
- إنتاج البخار للتدفئة و توليد الكهرباء

### ٢- ملوثات:

- رماد + بقايا غير محترقة + غازات  
(حرق طن واحد -- ٢٥٠ - ٣٥٠ كجم رماد)

## • أنواع المحارق:

- محارق صغيرة جاهزة الصنع (١٥ - ١٠٠ طن/يوم)
- محارق كبيرة مزودة بأنظمة لاسترجاع الطاقة (٢٠٠ - ٧٥٠ طن/يوم)





## (٢) الانحلال الحراري

تسخين المكونات العضوية للنفايات الصلبة بمعزل عن الهواء باستخدام مصدر حرارة خارجي لتفصل خلال عمليات تكسير حرارية و تفاعلات تكثيفية إلى سوائل و غازات و مواد صلبة

## منتجات الانحلال الحراري:

- **سوائل (٦٠% بالوزن):** قطران أو زيوت تحتوي على حمض الاسيتيك و الميثانول والاسيتون و هيدروكربونات تعالج لانتاج وقود لادارة المحركات أو تحرق لانتاج البخار و الكهرباء (٩٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية/قدم<sup>٣</sup>)

- **غازات** تتكون من الهيدروجين، أول و ثاني أكسيد الكربون، الميثان (٧٠٠ وحدة حرارية بريطانية/قدم<sup>٣</sup>)

- **فحم كربوني و رماد**

- **لم تستخدم بشكل كبير في التخلص من النفايات البلدية الصلبة**
  - \* التكاليف العالية (مصدر حرارة خارجي)
  - \* طبيعة العملية المعقدة
  - \* مشاكل تشغيل أنظمة الانحلال الحراري (نسبة رطوبة عالية في الزيوت الناتجة مما يقلل من محتواها الحراري)

## (٣) التغويز

حرق المكونات العضوية للنفايات الصلبة جزئياً بوجود كمية من الأكسجين أقل من اللازم للاحتراق الكامل لتحويلها إلى غازات قابلة للاحتراق

## منتجات التغويز:

- غازات تتكون من الهيدروجين ، أول و ثاني أكسيد الكربون ، الميثان و النتروجين تستخدم كوقود لإدارة المحركات و التوربينات أو تحرق لإنتاج البخار و الكهرباء ( ١٥٠-٣٢٠ وحدة حرارية بريطانية/قدم<sup>٣</sup> )
- كمية بسيطة من سوائل شبيهه بتلك الناتجة من الانحلال الحراري
- كمية بسيطة من الفحم الكربوني (مسامية عالية) و الرماد
- مستخدمة منذ القرن التاسع عشر في تغويز الفحم و الخشب و بعض المواد السليولوزية كوقود في التصنيع و للحافلات و السيارات و الزوارق.
- تستخدم في معالجة بعض النفايات الصناعية و التجارية الصلبة المتجانسة التكوين
- لم تستخدم بشكل تجاري للنفايات البلدية الصلبة

# أهم قضايا التحويل الحراري

- تلوث الهواء: ملوثات غازية و عوالق -- تتطلب أجهزة تنقية و إزالة مكلفة
- التخلص من المخلفات الصلبة: رماد مطاير و مترسب و مواد صلبة من أجهزة التحكم في التلوث -- الدفن
- المخلفات السائلة: مياه ملوثة من أجهزة التحكم في الملوثات -- تتطلب معالجة للتخلص منها
- الموقع: البعد و القرب من التجمعات السكانية
- التكاليف العالية:
  - متوسط التكلفة الرأسمالية للمحارق الكبيرة المستخدمة لحرق النفايات البلدية الصلبة تتراوح ما بين ٧.٥ - ١٢.٥ مليون دولار/١٠٠ طن + تكلفة التشغيل و الصيانة
  - المحارق الصغيرة: ٣ - ٥ مليون دولار/١٠٠ طن

# ثانياً: التحويل الحيوي

تفكيك النفايات الصلبة العضوية بواسطة كائنات دقيقة إلى مواد صلبة و سائلة و غازية

## عمليات التحويل الحيوي:

- هضم هوائي
- هضم لاهوائي

## - تجهيز النفايات الصلبة للتحويل الحيوي:

- فصل المكونات التي لا تحلل حيويًا أو بطيئة التحلل
- تقطيع المكونات العضوية
- إضافة الماء و العناصر الغذائية

## (١) الهضم الهوائي (التسميد)

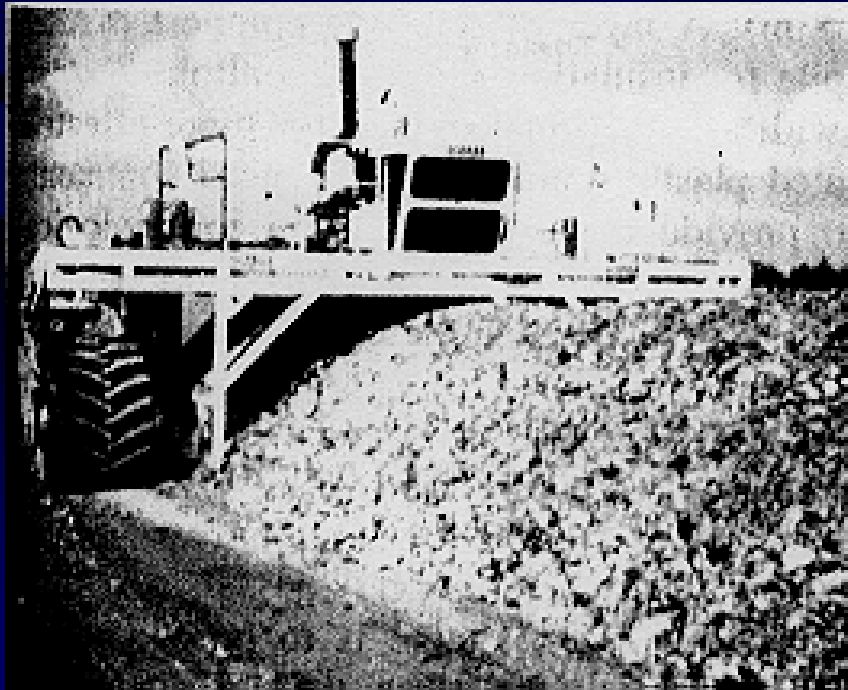
• مواد عضوية + هواء + مغذيات + كائنات دقيقة □ كمبوست + ماء + حرارة

• "المواد المحسنة للتربة" أو "الكمبوست" تستعمل لاستصلاح الأراضي الزراعية

# طرق الهضم الهوائي

## (١) طريقة الأكوام:

- أكوام بارتفاع ١-٢ م و عرض ٤-٥ م
- تقليب ١-٢ مرة في الأسبوع لمدة شهر أو أكثر
- تثبيت لمدة شهر أو أكثر قبل التجهيز و التسويق
- الفترة الزمنية للحصول على الكمبوست: ٤-٦ شهور
- تتأثر بالأحوال الجوية





## (٢) طريقة الأكوام المهواه

- أكوام على شبكة أنابيب مثقبة لتوفير الهواء
- تغطي الأكوام بطبقة من الكمبوست لعزلها و للحد من الروائح
- هضم لمدة شهر تقريبا و تثبيت لمدة شهر آخر
- المدة الزمنية للحصول على المنتج: ٢-٤ شهور

## (٣) طريقة الحاويات (الهاضمات)

- أبراج رأسية أو اسطوانات دوارة أو حاويات مستطيلة الشكل...
- تفكيك لمدة ١-٢ أسبوع مع الخلط و توفير الهواء
- تثبيت لمدة ١-٢ شهر على شكل أكوام
- الفترة الزمنية للحصول على الكمبوست: ٢-٣ شهور

# ابتكارات في استعمال الكمبوست

- المعالجة الحيوية للتربة الملوثة بالمعادن الثقيلة و المبيدات و المواد البترولية
- معالجة التربة الملوثة بالمواد المتفجرة
- الحد من بعض أمراض النباتات التي تسببها بعض الكائنات الدقيقة و الديدان
- إزالة الملوثات من مياه الأمطار الجارية (مرشحات الكمبوست)
- إزالة المواد العضوية المتطايرة من بخاخات و حاويات الدهانات و المنظفات و المذيبات قبل التخلص منها

## (٢) الهضم اللاهوائي

- مواد عضوية + مغذيات + كائنات دقيقة
- أحماض عضوية و كحولات
- ميثان + ثاني أكسيد الكربون + ماء + حرارة + حمأة

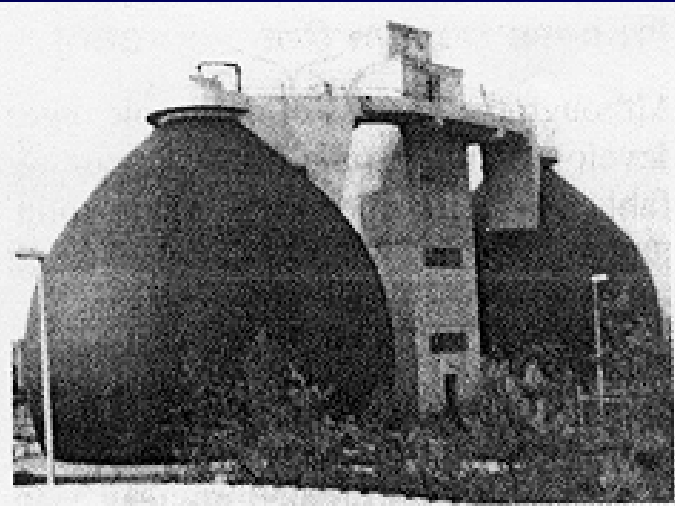
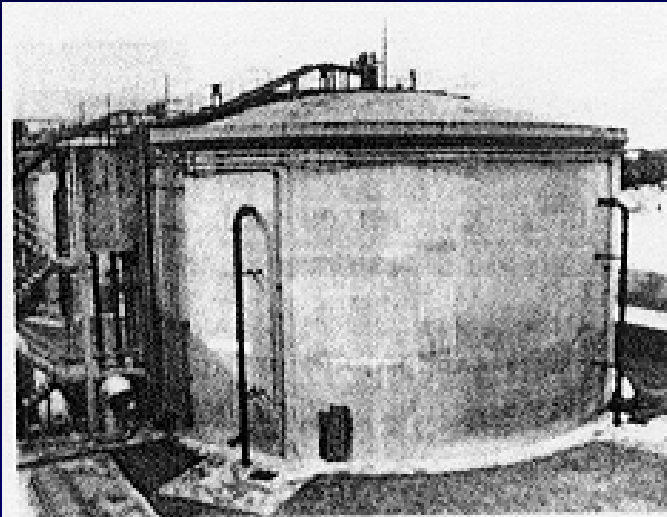
- الميثان: يستخدم لإنتاج الطاقة

- الحمأة: تستخدم كمواد محسنة للتربة و صناعة الأسمدة العضوية

## طرق الهضم اللاهوائي

(١) هضم لمحتوى منخفض من المواد الصلبة (٤%-٨%):

- حاويات اسطوانية أو بيضاوية الشكل محكمة الغلق
- تحلل لمدة ٢-٣ أسابيع عند رقم هيدروجيني ٦.٥-٧.٥ و درجة حرارة ٥٥-٦٦ م° مع الخلط الجيد
- الغاز الناتج: ٠.٥ - ٠.٧٥ م<sup>٣</sup>/كجم (٥٥% ميثان و ٤٥% ثاني أكسيد الكربون)
- الحمأة: نزع الماء منها قبل التخلص أو الاستفادة منها
- مستخدمة بشكل تجاري لانتاج الطاقة من النفايات الزراعية



## (٢) هضم لمحتوى عالي من المواد الصلبة (٢٢%-٣٥%)

- فترة الهضم: ٣-٤ أسابيع
- الغاز الناتج: ٠.٦ - ١.٠ م<sup>٣</sup>/كجم
- الحمأة: تحتوي على كمية ماء أقل
- أكثر حساسية لظروف التشغيل (نسبة المواد الصلبة العالية)
- تقنية جديدة

## (٣) هضم لاهوائي-هوائي

- هضم لاهوائي لمدة ٤ أسابيع لإنتاج الميثان
- هضم هوائي للحمأة لاستخدامها كمواد محسنة للتربة أو كوقود بعد تجفيفها و تشكيلها على هيئة قطع صغيرة أو خلطها مع وقود اخر

# أهم قضايا التحويل الحيوي

- انبعاث الروائح الكريهة (تخزين النفايات العضوية - قصر فترة التحلل - التقليل غير الجيد):  
- اختيار الموقع - التصميم و التشغيل - محطات مغلقة للهضم الحيوي

- الجراثيم الممرضة: التحكم في درجة الحرارة أثناء عملية الهضم

- المعادن الثقيلة و المواد الخطرة: فصل المكونات العضوية للنفايات عن المكونات الخطرة

- جودة المنتج النهائي:

- الكمبوست : - نسبة العناصر الغذائية (نتروجين، فسفور، بوتاسيوم،..)
  - نسبة المواد العضوية
  - نسبة المعادن الثقيلة و الأملاح
  - درجة التحلل
  - وجود جراثيم ممرضة - درجة خشونة الحبيبات
- الغاز الحيوي: - نسبة الميثان و الشوائب

- التكاليف:

- تختلف باختلاف الطريقة المستخدمة
- التكلفة الرأسمالية لطريقة الأكوام : ٤٠٠ - ٤٥٠ دولار/طن منتج (دون قيمة الأرض)
- تكلفة عمليات الهضم اللاهوائي أعلى بنسبة ٢٠%-٢٥%

## ثالثاً: الدفن الصحي

- المدفن الصحي: مرفق مصمم هندسياً تدك فيه النفايات على شكل طبقات و تغطى بطبقة ترايبية في نهاية العمل اليومي.
- وسيلة للتخلص النهائي من النفايات

# أهم قضايا الدفن الصحي

## • التأثيرات البيئية:

- الروائح و تجمع الطيور و تكاثر الحشرات و القوارض

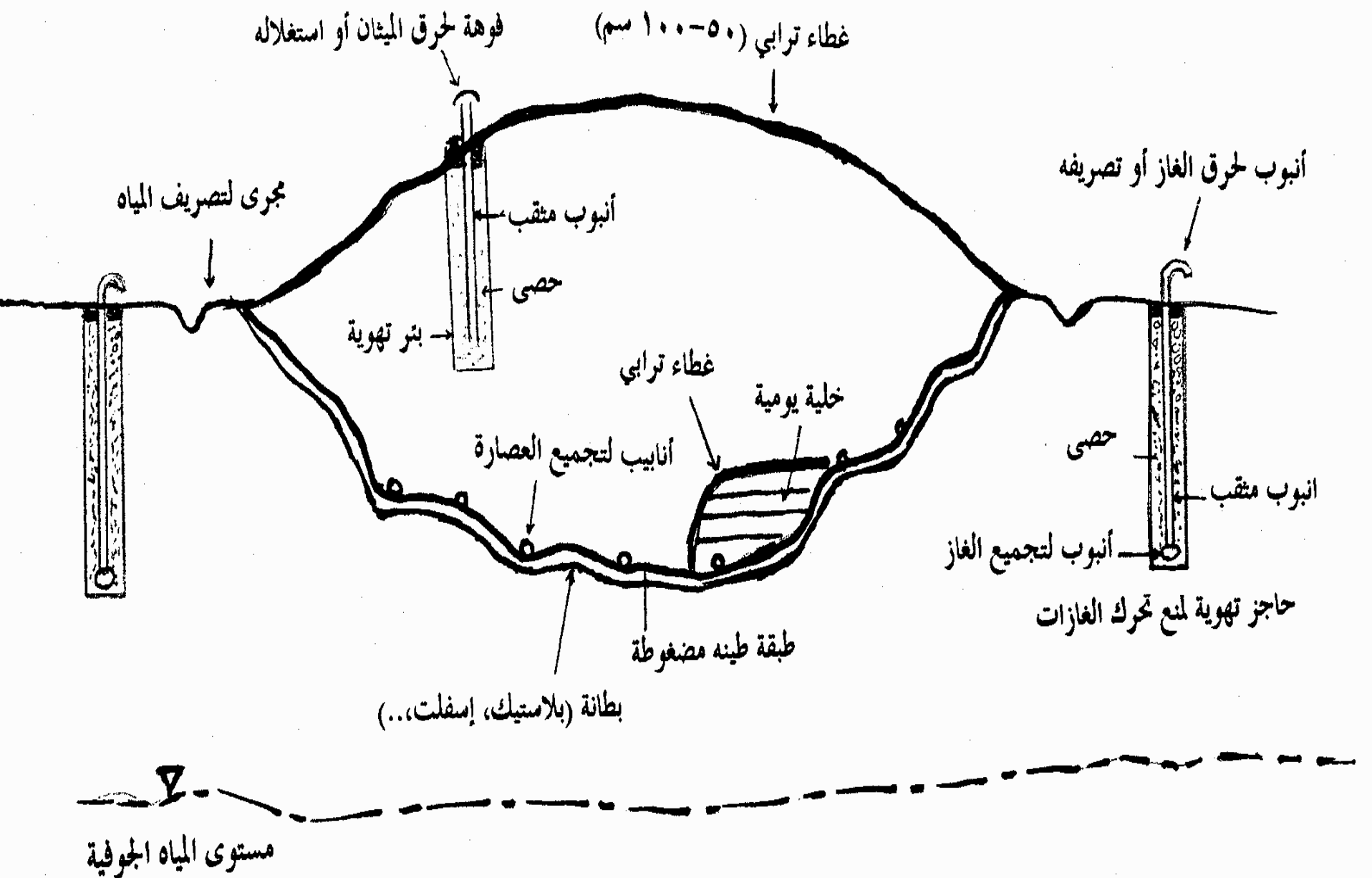
- غازات المدفن

الميثان: غاز قابل للانفجار عندما تصل نسبته في الهواء إلى ٥%-١٥%

ثاني أكسيد الكربون: زيادة نسبة الأملاح و العسر في المياه الجوفية

- عصارة النفايات: تلوث التربة و المياه الجوفية





## قطاع في مدفن صحي

## • اختيار موقع المدفن:

• الطاقة الاستيعابية للمدفن:

- المساحة اللازمة سنوياً لدفن نفايات ٢٥.٠٠٠ شخص : ١٠,٠٠٠ م<sup>٢</sup>  
(على افتراض أن معدل إنتاج الفرد = ٢ كجم/يوم ، متوسط عمق الدفن =  
٤ م ، و متوسط كثافة النفايات عند دكها = ٤٥٠ كجم/م<sup>٣</sup>)

- الطاقة الاستيعابية لا تقل عن ٥ سنوات و المفضل ١٠-٢٥ سنة

- المسافة إلى الموقع و إمكانية الوصول إليه
- الخصائص الجيولوجية و الهيدروجيولوجية
- مجاري المياه السطحية
- طبوغرافية الأرض و خصائص التربة السطحية
- البعد عن المناطق المطورة
- الأحوال الجوية
- المحددات البيئية
- استعمال المدفن بعد اغلاقه

## ● استغلال الغاز الحيوي كمصدر للطاقة:

- يشكل الميثان نسبة ٤٠%-٦٠% من الغازات الناتجة
- قيمته الحرارية: ١٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية/قدم<sup>٣</sup>
- كمية الميثان الناتجة من تحلل واحد كجم من النفايات خلال ٢٥-٣٠ سنة = ٢٠٠ - ٢٧٠ لتر
- ثلث هذه الكمية يمكن استرجاعها بعد خمس سنوات من الدفن

## ● التكاليف:

- ارض عمليات التخلص باستثناء قيمة الأرض