المحاضرة الثالثة
مقرر حماية البيئة – السنة الخامسة

Solid Waste Treatment

معالجة النفايات الصلبة

2023-2024

DAMASCUS UNIVERSITY
CIVIL ENGINEERING FACULTY
Sanitary and environmental engineering department
Prof. Dr. Eng. Bassam Al Aji

METHODS OF SOLID WASTE TREATMENT (SANITARY LANDFILL - COMPOSTING - INCINERATION METHOD), HAZARDOUS SOLID WASTES

طرائق معالجة النفايات الصلبة

METHODS OF SOLID WASTE DISPOSAL

يمكننا تصنيف طرائق معالجة النفايات الصلبة البلدية كما يأتي:

1-طرائق بدائية في التخلص من النفايات الصلبة.

2-طرائق تقليدية لمعالجة النفايات الصلبة.

3-طرائق حديثة لمعالجة النفايات الصلبة.

الطرائق البدائية في التخلص من النفايات الصلبة

تقوم هذه الطرائق بالتخلص من النفايات الصلبة بشكل غير مدروس ومن دون الانتفاع بعناصرها أو بمنتجات معالجتها. تُعد الطرائق البدائية بمجملها مرفوضة، ولم تعد تُعتمد في الوقت الحالي؛ نظراً لمشكلاتها البيئية والصحية المختلفة، ولم تستخدم هذه الطرائق قديماً لجميع أنواع النفايات الصلبة. ونذكر من هذه الطرائق:

A. **المقالب غير المراقبة المكشوفة أو المغلقة:**

تعتمد هذه الطريقة على تجميع النفايات الصلبة من دون رص أو عزل في مواقع غير مراقبة هندسياً فوق الأرض أو داخل التراب، ومن دون أن يتم الانتفاع المنظم من عناصر هذه النفايات أو منتجات معالجتها.

لهذه الطريقة مساوئ كثيرة نذكر منها:

- انتشار الأوبئة والأمراض في منطقة المقلب نظراً لانتشار نواقل المرض المختلفة.
- تجمع الحيوانات الضالة في منطقة المقلب.
- تلوث البيئة المحيطة بمنتجات تحلل النفايات الصلبة كتلوث الهواء بالغازات الناتجة عن عمليات تخمر النفايات الصلبة أو الناتجة عن الاحتراقات المحتملة، وتلوث المسطحات المائية السطحية والجوفية بعصارة التحلل الناتجة عن عملية التخمر للنفايات الصلبة، والتي تصل إلى هذه المسطحات مع مياه الرشح الناتجة عن الغسل المستمر لمياه الأمطار لهذه المواقع، أضف إلى ذلك تلوث الترب بالملوثات الموجودة في كتلة النفايات الصلبة.

B. **إلقاء النفايات الصلبة في المجاري المائية والبحار:**

حُرّمت هذه الطريقة من قبل المنظمات الدولية المسؤولة عن البيئة، ووضعت قوانين صارمة تمنعها، إلا أنه لا تزال تجري عمليات خرق هذه القوانين من قبل بعض الشركات الصناعية، وخصوصاً في المناطق الساحلية التي تفتقر إلى المساحات الكافية الرخيصة من الأراضي لردم النفايات الصلبة، ولذلك تقوم هذه الشركات بنقل النفايات إلى البحر بواسطة سفن خاصة ليتم إلقائها في المناطق البعيدة عن الشاطئ والتي تزيد الأعماق فيها عن 25 m . لا يمثل إلقاء النفايات الصلبة في البحار أو المحيطات تخلصاً حقيقياً من هذه النفايات فكثير من المواد الخفيفة الموجودة ضمن كتلة النفايات الصلبة تعود إلى الشواطئ بفعل الرياح والأمواج مسببةً كثير من المضايقات للمدن الساحلية ولشواطئ الاصطياف وتسبب خطراً كبيراً على التوازن البيئي في الأوساط البحرية ويؤدي اتهام بعض الأحياء البحرية للنفايات البوليميرية (وخصوصاً أكياس النايلون) إلى موت هذه الأحياء.

C. **الحرق العشوائي للنفايات الصلبة:**

لا يجري في هذه الطريقة الاستفادة من الطاقة الناتجة عن عملية الاحتراق، وتؤدي طريقة الحرق العشوائي إلى تلوث كبير للبيئة المحيطة، وخصوصاً تلوث الهواء بالغازات الناتجة عن عملية الاحتراق، مما حد بشكل كبير من انتشار هذه الطريقة؛ بل وضعت القوانين الصارمة للحد من استخدامها.

الطرائق التقليدية في معالجة النفايات الصلبة

تقسم الطرائق التقليدية في معالجة النفايات الصلبة بحسب المبدأ التكنولوجي المعتمد إلى طرائق حرارية كيميائية وبيولوجية وميكانيكية. ويمكن للطرائق التقليدية المتبعة أن تعتمد أكثر من مبدأ تكنولوجي واحد من المبادئ السابقة ،وأكثر الطرائق انتشاراً في الاستخدام في أغلب دول العالم هي:

- التخلص من النفايات الصلبة في مواقع الردم الصحي(تخلص بيولوجي ميكانيكي).
- الحرق المنظم للنفايات الصلبة –ترميد (تخلص حراري).
- تحويل النفايات الصلبة إلى كومبوست (تخلص بيولوجي).

i. طرائق الردم الصحي:

هناك عدد من طرائق الردم الصحي نذكر منها:

a) **طريقة الفرش السطحي (طريقة المساحة**– Area Method):

تعتمد هذه الطريقة عندما تكون منطقة موقع الردم الصحي غير صالحة للحفر وإنشاء الخنادق فيها. تفرش النفايات الصلبة في هذه الطريقة على مقاطع طولية فوق سطح الأرض، تجري تغطيتها اليومية بطبقة عزل ترابية تُجلب من أراض مجاورة بواسطة آليات نقل التربة. يتراوح عرض الخلية اليومية من 2.5-6 m ، بينما يتعلق طولها بالعمق المقترح لها.

b) **طريقة الخنادق**(Trench Method):

تستخدم هذه الطريقة في المناطق التي تتوافر فيها مادة العزل الترابية بعمق مناسب بعيداً عن المستوى الأعظمي للمياه الجوفية. يمكن تجميع النفايات الصلبة على أحد أطراف الخندق لتشكل حاجزاً ثم ترمى في الخندق وترص، أو أن يجري استقبال النفايات الصلبة مباشرةً من سيارات الجمع إلى الخندق المحفور. يجري الاستفادة من تربة الخندق نفسه لأغراض العزل المرحلي والنهائي للموقع ،ويفضل الاحتفاظ بالتربة الزراعية العلوية للخنادق لاستخدامها كتربة عزل نهائي للموقع.

c) **طريقة الميل** (Ramp Method):

تستخدم هذه الطريقة وسيلة للجمع بين طريقتي المساحة والخنادق في تنفيذ مواقع الردم الصحي، وذلك في حالات توقع الحصول على تربة العزل من الموقع ذاته وضرورة إعادة تشكيل تضاريس منطقة الموقع.

d) **طريقة المنخفضات** (Canyon / Depression Method):

تستخدم هذه الطريقة لردم النفايات الصلبة في منخفضات طبيعية كالأودية، أو في منخفضات محفورة مسبقاً لأغراض غير ردم النفايات الصلبة كالمحاجر والمناجم ...الخ. وتختلف طريقة التعامل مع مواقع الردم الصحي المنفذة بهذه الطريقة تبعاً للخواص المحلية لهذه المواقع.

e) **الردم الصحي في المناطق الرطبة** (Landfills in wetland areas):

ويقصد بالمناطق الرطبة المستنقعات، والسبخات، والبحيرات الضحلة، ومناطق المد والجزر...الخ. ويتم تقسيم هذه المواقع عادةً إلى برك صغيرة منفصلة بمساحات لا تتجاوز 1 هكتار، وذلك بإنشاء سدود من النفايات الخاملة بين هذه البرك. ثم تسحب المياه من هذه البرك وتردم كما في الطرائق السابقة. تُعد كلف تشغيل المناطق الرطبة عالية جداً مع الصعوبات الكبيرة في حماية البيئة المحيطة من التلوث المحتمل الناجم عن تراكم النفايات الصلبة في هذه المواقع.

– ***تحديد الهدف المحلي لمشاريع الردم الصحي:*** *Ultimate Use for Completed landfills*

يمكننا خلال تنفيذ مشاريع الردم الصحي، تحقيق أهدف ثانوية محلية، فضلاً عن الهدف الأساسي من إنشاء هذه المشاريع، ألا وهو التخلص من النفايات الصلبة، ومن تأثيرها الضار في البيئة المحيطة. تتعلق الأهداف الثانوية المحلية بظروف موقع الردم الصحي وبظروف المنطقة المحيطة به، ونذكر من هذه الأهداف:

أ- تعبئة المناجم والمحاجر القديمة التي تم الانتهاء من استثمارها.

ب- استصلاح المستنقعات بردم النفايات فيها.

ج- استصلاح الأراضي البور :حيث نتمكن من استثمار مواقع الردم الصحي المقامة على الأراضي البور بعد إغلاقها لبعض الأغراض الزراعية.

- ***اختيار موقع مشروع الردم الصحي***

يُعد اختيار موقع الردم الصحي من أكثر الأمور حساسيةً في مشاريع الردم الصحي، ويشترك في إجراءات هذا الاختيار ثلاثة أطراف:

1-مخططو استخدام الأراضي في المدن وإدارات التخطيط على مستوى الدولة: يقوم هؤلاء المخططون بتقديم قائمة بالمواقع المتاحة بما فيها المواقع التي يمكن تحسينها بالردم الصحي (المستنقعات، والمحاجر والمناجم القديمة ، والأراضي البور ...الخ) والتي تُعطى نسبياً درجة أولوية. يقرر هؤلاء المخططون استخدامات مواقع الردم الصحي بعد إغلاقها على المدى البعيد والمناسيب التي يجب أن يصل إليها الردم، وبالتالي التقدير الافتراضي لعمر مشروع الردم الصحي.

2-السلطات المسؤولة عن معالجة النفايات الصلبة: تقوم هذه السلطات بتقويم المواقع المختارة من حيث بعدها عن المدينة وحجمها وتوافر الطرق المؤدية إليها والقادرة على استيعاب حركة المرور الناجمة عن العمل في موقع الردم الصحي فضلاً عن مؤشرات كثيرة أخرى تؤثر في اختيار الموقع وطبيعة تشغيله.

3-السلطات المسؤولة عن المياه: تحال المواقع بعد اختيارها من قبل السلطات المسؤولة عن معالجة النفايات الصلبة إلى السلطات المسؤولة عن المياه لتقويمها من النواحي الجيولوجية والهيدروجيولوجية والهيدرولوجية.

وفي المرحلة الأخيرة يتم إجراء مقارنة للمؤشرات البيئية-الاقتصادية للمواقع المختارة، واختيار المكان الأمثل لتوضع موقع الردم الصحي آخذين بالحسبان عدم وقوع المطمر داخل المدينة بعد التوسع التنظيمي لها.

- ***العوامل التي تؤثر في اختيارنا لموقع الردم الصحي (Landfill Siting Consideration):***

توفر مساحات مناسبة من الأراضي (Available land Area):

يشترط في الموقع أن يكون ذا مساحة كبيرة ،وذلك لأن كلفة التشغيل النوعي للمواقع الكبيرة أقل منها في المواقع الصغيرة؛ لذلك يفضل أن يستوعب الموقع المختار النفايات المتولدة عن المنطقة المخدمة لمدة لا تقل عن خمس سنوات، ويمكن استخدام المواقع الصغيرة بشرط توفر المسوغات لذلك. تدخل المساحات التخديمية الملحقة بمنطقة المشروع ضمن حسابات مساحة الموقع المطلوب، وتقدر هذه المساحات بـ % 40-20 تقريباً من مساحة الردم الصحي.

مسافة النقل إلى الموقع وازدحام الحركة على الطرق المؤدية إليه:

كلما ازدادت مسافة النقل ازدادت كلفة التشغيل؛ لذلك تفضل المواقع القريبة من حدود المناطق السكنية بمسافات لا تقل عن 500 m ، مع مراعاة ضرورة قرب هذه المواقع من طرق المواصلات بمسافة لا تزيد عن 500 m وأن تتحمل هذه الطرق شدة حركة المرور المتوقعة لدى تشغيل مواقع الردم الصحي، كما يجب أن تبعد هذه المواقع عن المطارات المجاورة مسافةً لا تقل عن 10 km وذلك لما تسببه الطيور التي تنجذب إلى مواقع الردم الصحي من خطر على حركة الطائرات. لابد من دراسة التأثير البيئي لمواقع الردم الصحي في المناطق السكنية أو الصناعية (ضجيج، وغبار، وحشرات، ونفايات متطايرة...الخ) في حالات اقتراب مواقع الردم الصحي من هذه المناطق.

الوضع الطبوغرافي للموقع المختار:

إن للوضع الطبوغرافي لموقع الردم الصحي أثره الكبير في عمليات تحضير هذا الموقع وفي طبيعة تشغيله وتزويده بالآليات والتجهيزات اللازمة؛ لذلك يجب أن تتم دراسة الوضع الطبوغرافي لموقع الردم الصحي بشكل دقيق أثناء تقويمه.

الظروف المناخية للموقع المختار وهيدرولوجيا المياه السطحية:

تتضمن الدراسات المناخية المحلية لمنطقة الموقع دراسة اتجاهات الرياح السائدة، حيث لا يسمح –مثلاً– بوجود موقع الردم الصحي في اتجاه هبوب الرياح على المناطق السكنية، وكذلك دراسة الشدة المتوقعة للرياح بغية اقتراح مصدات الرياح المناسبة؛ وذلك من أجل تجنب تطاير المواد الخفيفة كالورق والأكياس. ويفضل ألا يكون موقع الردم الصحي شديد الرياح. يضاف إلى ما سبق أنه لا بد من دراسة درجات الحرارة المنخفضة، وحالات الصقيع التي يمكن حدوثها خلال فصل الشتاء، والتي تعيق عملية الحصول على تربة العزل مما يفرض ضرورة توفير مخزون احتياطي من مادة العزل في الموقع.

تدرس التصاريف المطرية لمنطقة الموقع، وكذلك حركة المياه السطحية القريبة من موقع الردم الصحي، واحتمالات الفيضانات ضمن الدراسات الهيدرولوجية للمياه السطحية، ويفضل ألا تكون منطقة الموقع شديدة الأمطار.

الظروف الجيولوجية والهيدروجيولوجية لموقع الردم الصحي:

إن الظروف الجيولوجية والهيدروجيولوجية لموقع الردم الصحي تعطي صورةً واضحةً عن ملائمة هذا الموقع للردم الصحي من الناحية البيئية، وكذلك عن الشروط الهندسية الواجب اتباعها أثناء الإنشاء. وتعطي التحريات الجيولوجية أيضاً فكرةً أوليةً عن إمكانية استخدام تربة الموقع كمادة للعزل في جسم المطمر، ومدى كفاية هذه التربة لعملية العزل.

التكلفة الاقتصادية لموقع الردم الصحي:

وتشمل التكلفة الاقتصادية ثمن شراء أرض الموقع مع جميع الكلف المتعلقة بتحضير الموقع وتشغيله ،وكذلك ثمن مبيع الأرض بعد إغلاق الموقع . إن ارتفاع سعر الموقع بعد إغلاقه يخفض بشكل كبير في بعض البلدان كلفة استئجار هذه المواقع ولسنوات طويلة حيث تتعدد إمكانيات استخدام مواقع الردم الصحي بعد إغلاقها (ملاعب بمختلف أشكالها، وحدائق ومتنزهات، واستراحات...الخ). ويستحسن دوماً البحث عن الأراضي الرخيصة أو تلك التي تحتاج إلى استصلاح.

- ***التحضيرات الأولية للموقع المختار:***

1- تحضير خريطة طبوغرافية للموقع بمقياس 1/1000 وبتباعد خطوط كونتور 1m، يسمح في بعض البلدان باستخدام خرائط بمقياس 1/1500 مع تباعد لخطوط الكونتور 0.5m للمواقع التي تخدم مناطق زراعية صغيرة .

2- رسم مقاطع جيولوجية بعمق أدنى قدره 4 m يجري عليها تحديد نفاذ التربة . أما في حالات وجود أنواع مختلفة من التربة فيجب إجراء مقاطع جيولوجية تصل حتى الطبقة الكتيمة مع عمق 1-1.5 m في هذه الطبقة.

تفيد المقاطع الجيولوجية في معرفة مدى الحاجة إلى إنشاء أنظمة صرف للمياه الراشحة في قعر المطمر . كما تجري عادةً دراسات مخبرية لتحديد خواص التربة أسفل الموقع.

3- تحضير خرائط هيدروجيولوجية تحدد مستوى المياه الجوفية واتجاهات تياراتها مما يفيد في تحديد العمق المسموح به للموقع تحت سطح الأرض .

4- دراسة هيدرولوجية تحمل على الخرائط الطبوغرافية تجمع فيها المعلومات الكافية عن الهطول المطري والتبخر في منطقة الموقع ومساحة المسايل الفيضانية ، ومياه الذوبانات للثلوج المتراكمة في المناطق التي تعلو الموقع في حالات وجودها .

5- تقدير حركة المرور اليومية داخل الموقع ، وتحديد عدد الآليات، وعدد العمال اللازمين للموقع .

- ***تحديد معايير التشغيل لموقع الردم الصحي:***

حدود موقع الردم الصحي :

ينشأ على حدود موقع الردم الصحي سور بارتفاع1.8 m ، وينصح باستخدام الشباك المعدنية التي تفصلها قوائم بيتونية. يجري استبدال السور بخندق ذي عمق لا يقل عن2 m في مواقع الردم الصحي القائمة على مناطق رطبة أو على مناطق منحدرة شديدة الأمطار. يمكن استبدال السور في بعض المواقع بأكوام ترابية بارتفاع لا يقل عن 3. m. يجري تصميم بوابة واحدة أو حاجز

قلاب إلى الموقع وذلك في نقطة مراقبة السيارات القادمة إلى المشروع أو الخارجة منه،ولا يسمح بإنشاء بوابات غير مراقبة على سور الموقع.

إنارة موقع المشروع:

تجري إنارة مشاريع الردم الصحي بواسطة مصابيح كاشفة متوضعة على صوار بارتفاع 16-20 m، مركبة خارج حدود منطقة تراكم النفايات الصلبة. عندما يزيد ارتفاع منطقة تراكم النفايات الصلبة عن ارتفاع الصواري يجري تنفيذ الإنارة لموقع العمل على المراحل الأخيرة هذه وفق مخططات لا تدخل ضمن تركيب مخططات المشروع الأولية.

تحديد الطرق ضمن موقع الردم الصحي وآلية تنفيذها:

تحدد الطرق في مواقع الردم الصحي استناداً إلى عدد الآليات المستخدمة في هذه المواقع ونوعيتها. ويعد الطريق الرئيسي إلى موقع الردم الصحي من أهم عناصر التشغيل لهذا الموقع، حيث يجب أن يسمح هذا الطريق بالوصول بحرية إلى أبعد نقطة من الموقع وفي مختلف الظروف الجوية. يمكن للطريق الرئيسي أن يحاذي أحد جوانب الردم أو أن يكون مركزياً بحيث يخترق الموقع كاملاً. يفضل إحاطة الطريق الرئيسي من جهتيه بالسياج، ويفضل إحاطة الطرق الفرعية –قدر الإمكان– بالسياج أيضاً. يتفرع الطريق الرئيسي عن الطريق المؤدي إلى المدينة بطول لا يقل عن 60 m وذلك لتجنب تأثير الازدحام المحتمل من سيارات جمع النفايات الصلبة على حركة المرور للطريق المؤدي إلى المدينة.

العلامات والأوتاد:

يجري وضع صفين من الأوتاد مع وضع قوائم عرضية على ارتفاع الطبقة في منطقة العمل، وذلك حتى لا يتجاوز العمال العمق المطلوب للطبقة مع تقدم العمل. تساعد الأوتاد في مراقبة رص النفايات الصلبة داخل خلايا الردم، فيجب ألا يزيد عمق الطبقات المرصوصة لنصف يوم عمل عن 1. m يمكن استخدام البلدوزر كمؤشر قياس متحرك، وذلك برسم خط أبيض لامع على هيكله على ارتفاع2 m عن الأرض .الأوتاد عبارة عن أعمدة خشبية أو معدنية شاقولية، ويمكن استخدام الأوتاد المصنوعة من الخرسانة المسلحة. تقسم الأوتاد وفق تدرجات ذات تباعد قدره 0.25 m بواسطة دهان لامع.

مراقبة خطر تلوث المجمعات المائية:

تتشكل مياه الرشح (الرشاحة) في مواقع الردم الصحي من المياه الراشحة عبر كتلة النفايات الصلبة أو المتقطرة نتيجة تحلل هذه النفايات. وتشكل المياه القادمة إلى الموقع من مصادر خارجية(سيول، وأمطار ...الخ) الجزء الرئيسي من كمية الرشح الكلية؛ لذلك فإن عملية الإنشاء الهندسي السليم لمواقع الردم الصحي والعزل المناسب لها عن تأثير المياه الخارجية يخفض بشكل كبير كمية مياه الرشح الناتجة، وبالتالي كمية التلوث المتوقع للمجمعات المائية.

أظهرت التجارب الاستثمارية عدم إمكانية تشكل مياه الرشح الناتجة عن الهطولات المطرية في مشاريع الردم الصحي المنفذة في المناطق الحارة والجافة؛ أي التي لا تزيد فيها كمية الهطول المطري السنوي عن 100 mm عن كمية الرطوبة المتبخرة من السطح وذلك للنفايات ذات الرطوبة الأقل من 0.52% ، وبالتالي لا حاجة في هذه الظروف إلى التشدد في تنفيذ قاعدة موقع الردم الصحي، أي لا ضرورة لزيادة كتامة تربة القاعدة. بينما تنفذ هذه القاعدة مع أخذ إمكانية تشكل الطور السائل (المياه الراشحة) بالحسبان في الظروف المغايرة.

السيطرة على الحرائق في حالات حدوثها:

تحدث الحرائق في مواقع الردم الصحي لأسباب كثيرة أهمها:

–بقايا الرماد المشتعل المنقول ضمن حمولة سيارات جمع النفايات الصلبة.

–إلقاء أعقاب السجائر المشتعلة من قبل عمال الجمع ضمن كتلة النفايات الصلبة.

–انعكاس أشعة الشمس على قطع الزجاج الموجودة على سطح النفايات الصلبة.

يمكن تفادي هذه الحرائق التي قد تسبب فجوات داخلية تؤدي إلى انهيار السطح في حالات الحرائق العميقة عن طريق التوعية المستمرة للعمال، ومعاقبة المخالف منهم، وعدم السماح لهم مطلقاً بإشعال النار للطهي، أو للتخلص من النفايات كبيرة الحجم كفروع الأشجار، وكذلك منع دخول العابثين بالقمامة بعد انتهاء ساعات العمل. لدى اشتعال النيران في الحرائق العميقة لا بد من الحفر أولاً لإخراج الجزء المشتعل قبل استخدام المياه في الإطفاء، وقد تحتاج الحرائق العميقة إلى استخدام البلدوزر لإخراج الجزء المشتعل.

منع تطاير الغبار والنفايات الخفيفة أثناء عمليات تشغيل موقع الردم الصحي:

يتشكل الغبار بشكل أساسي في أوقات الجفاف الطويلة مما يستدعي رش التراب بشكل دوري بالمياه أو ببعض الزيوت المستهلكة. أما تطاير النفايات الخفيفة فيحدث في المواقع ذات الرياح الشديدة، والتي تُطمر فيها نفايات ذات نسبة كبيرة من الورق واللدائن. ويفضل، لتفادي ذلك، استخدام مصدات من الشباك بعرض 2.5 m للواحدة وبارتفاع 4-5 m ذات خلايا للشباك 40-50 mm. تُصف هذه المصدات على شكل قوس يوضع بالجهة المعاكسة لاتجاه الرياح، وتجمع النفايات المحجوزة خلف هذه المصدات بشكل منتظم، بمعدل مرة واحدة على الأقل لكل وردية.

الوقاية من الكائنات الممرضة ومكافحة نواقل المرض:

يظهر التأثير الأكبر للكائنات الممرضة على العمال الذين يتعرضون للتماس المباشر مع النفايات الصلبة ،لذلك لا بد من إلزام العمال على ارتداء الملابس الواقية(أحذية مطاطية طويلة وقفازات غير قابلة للثقب، وملابس خارجية خاصة)، وتجبر بعض الدول العمال على ارتداء أغطية للمجاري التنفسية. يجري دورياً تبديل الملابس، وغسلها بشكل دوري.

لا تظهر خطورة الحشرات في حالات استخدام العزل المرحلي إلا في حالات التنفيذ السيئ لخلايا النفايات الصلبة، أو في حالات العبث والإهمال من قبل العمال، لذلك لا بد من مراقبة هذه الأمور بشكل دائم، ورش المبيدات الحشرية عند الضرورة. في حالات استرداد بعض المواد المفيدة من كتلة النفايات الصلبة في موقع المشروع لا بد من إجراء هذه الأعمال بشكل منظم ، كما يجب ألا تتجاوز مدة تخزين هذه المواد في الموقع عن يومين مع مراعاة ضرورة رشها بالمبيدات الحشرية بشكل دوري. عندما تنجذب بعض القوارض من المناطق المجاورة إلى موقع العمل يجب المسارعة إلى القضاء عليها باستخدام السموم، واستدعاء مجموعات المكافحة الخاصة في حالات الضرورة.

تشغيل موقع الردم الصحي في حالات المطر الكثيف:

تؤدي الأمطار الغزيرة أحياناً إلى انغراز عجلات السيارات في كتلة النفايات ،لذا تزود المواقع بتجهيزات خاصة تعمل كطريق متنقل في حالات المطر الكثيف، فضلاً عن ضرورة توفر آليات مخصصة لإنقاذ السيارات في حالات انغرازها، وتترك مساحات احتياطية قريبة من الطريق الرئيسي لاستخدامها في حالات كهذه، وفي حالات الطوارئ.

- ***أنظمة السيطرة على الغازات المنطلقة من مواقع الردم الصحي:***

تهدف عملية السيطرة على حركة الغازات إلى:

-خفض الانبعاثات الغازية إلى الغلاف الجوي.

-خفض إطلاق الروائح إلى الحد الأدنى.

- خفض الهجرة الجانبية للغازات إلى الحد الأدنى.

-السماح باسترجاع الطاقة من الميتان المنطلق مع الغازات.

- ***إيجابيات طريقة الردم الصحي في معالجة النفايات الصلبة وسلبياتها:***

يجري في كثير من الأحيان اعتماد طريقة الطمر الصحي في معالجة النفايات الصلبة نظراً للمحاسن الكثيرة لهذه الطريقة، والتي نذكر منها:

1–تعدّ طريقة الردم الصحي من أكثر الطرائق التقليدية في معالجة النفايات الصلبة اقتصاداً، وخصوصاً في ظروف مشابهة لظروف بلادنا نظراً لتوافر المساحات الكافية والواسعة والرخيصة والملائمة لإقامة مواقع الردم الصحي، ونظراً لانخفاض كلف إنشاء هذه الطريقة وتشغيلها مقارنةً مع الطرائق الأخرى.

2–يمكن بهذه الطريقة استقبال جميع عناصر النفايات الصلبة البلدية، أي أنه يمكننا الاستغناء عن عمليات فرز المواد المرفوضة وفصلها، كما في الطرائق التقليدية الأخرى.

3–تُعد طريقة الردم الصحي طريقةً مرنةً للمعالجة، حيث يمكن استيعاب أحجام متفاوتة من النفايات الصلبة.

4–يجري التخلص من النفايات الصلبة بهذه الطريقة بشكل نهائي ،مع إمكانية تنفيذ هدف محلي للردم الصحي.

أما سلبيات هذه الطريقة فنذكر منها:

1–زيادة تكلفة طريقة الردم الصحي مع الزمن بسبب متطلبات قوانين السيطرة البيئية المتزايدة وبسبب أسعار الأراضي، حيث تعاني المؤسسات المسؤولة عن النفايات الصلبة من إيجاد مساحات كافية لهذه المواقع ما لم تكن مسافة النقل إليها كبيرة.

2–ضرورة التقيد بتنفيذ عملية الردم الصحي بمقاييسه الدقيقة حتى لا تتحول هذه العملية إلى ردم مكشوف.

3–اعتراض السكان القريبين من مواقع الردم الصحي على إقامة هذه المشاريع لما لهذه المشاريع من مشكلات مرتبطة بالضجيج والغبار والنفايات المتطايرة...الخ.

4–ضرورة المراقبة والإصلاح المستمرين للموقع حتى بعد إغلاقه بسنين طويلة نتيجة الهبوطات الممكنة للموقع.

5–تعارض مواقع الردم الصحي مع خطة التوسع العمراني للمناطق السكنية.

6–خطر انتشار غاز الميتان حتى بعد إغلاق الموقع بسنين طويلة جداً.

ii. حقول تحويل النفايات الصلبة إلى كومبوست:

تُعد المهمة الأساسية لمصانع معالجة النفايات الصلبة هي التخلص من هذه النفايات ومعالجتها بهدف حماية البيئة المحيطة من أخطار التلوث بها. يجري في مصانع معالجة النفايات استخلاص العناصر المفيدة من كتلة النفايات الصلبة (ورق، وزجاج، وبلاستيك...الخ) عن طريق فرزها من كتلة النفايات وإعادة استخدامها في الصناعة كمصدر ثانوي للمواد الخام، كما يتم فضلاً عن ما سبق إنتاج الكومبوست، أو الوقود العضوي الحبيبي باستخدام حقول تحويل النفايات الصلبة إلى كومبوست.

تشكل الأكوام في حقول تحويل النفايات الصلبة إلى كومبوست على ساحات مستوية كتيمة مرصوفة ببلاطات بيتونية أو إسفلتية. تشكل الأكوام بحيث توازي حركة الرياح السائدة في المنطقة وذلك لتعريضها للهواء بشكل جيد. غالباً ما تكون حقول التحويل قريبة من مواقع الردم الصحي وذلك لتأمين التخلص من النفايات الضخمة غير المتخمرة الناتجة عن المناخل. ويمكن تصميم هذه الحقول متكاملة مع مواقع الردم الصحي بغية تخفيض مساحة موقع الردم الصحي، حيث تنخفض عند ذلك مساحة مواقع الردم الصحي بحدود 6-4 مرات عن مساحة الموقع في حالات عدم وجود حقول التحويل. عند وجود حقول التحويل مع مواقع الردم الصحي متكاملة تجري دراسة أنظمة الإمداد المائي، وأنظمة التزويد بالكهرباء، وأنظمة تدوير الراشح سوياً.

يمكن أن تلحق حقول التحويل بتجهيزات حرق صغيرة أو مواقع ردم صحي محلية صغيرة وذلك في حالات عدم توافر مواقع الردم الصحي القريبة.

تصنف **النفايات الصلبة** بحسب صناعة الكومبوست إلى:

1- عناصر ضرورية لإنتاج الكومبوست: وهي المواد العضوية سهلة التحلل؛ كفضلات الطعام وبقايا الحدائق.

2- عناصر مقبولة لإنتاج الكومبوست: كالورق والمواد الخام صغيرة الحجم.

3- عناصر قابلة للاسترجاع: كالورق والزجاج والمعادن والبلاستيك والقماش...الخ، وأغلب هذه العناصر هي مرفوضات لا تفيد في عملية تحول النفايات الصلبة إلى كومبوست، فضلاً عن أنها تسيء إلى الكومبوست المنتج.

تتكون **منتجات مصانع تحويل النفايات الصلبة** إلى كومبوست من المواد الآتية:

1- مواد الذبال(الكومبوست): وهي مواد يمكن استخدامها كمحسنات للتربة نتيجة إمكانية تخفيفها للترب الثقيلة وإمكانية تحسينها لتركيب التربة الرملية الخفيفة ومساعدتها في زيادة قدرة التربة على احتفاظها بالماء وتعميق جذور النباتات في التربة، فضلاً عن تقديمها العناصر الغذائية للتربة (K, P , N).

2- مواد مسترجعة يمكن إعادة استخدامها كالزجاج والمعادن ...الخ .

3- مواد مرفوضة يجري التخلص منها بالردم غالباً .

عمليات تشكيل وتقليب الأكوام في حقول تحويل النفايات الصلبة إلى كومبوست:

يختلف المقطع العرضي للأكوام بحسب طريقة تشكيلها وتقليبها ويمكن تمييز أكثر من حالة لتشكيل الأكوام :

1–تشكيل أكوام مخروطية ثابتة وذلك عند استخدام السيور المحمولة على سقالات متحركة لنقل النفايات من مواقع المعالجة الأولية إلى ساحات تشكيل الأكوام. تجري عمليات تهوية هذه الأكوام عبر فتحات أرضية تصل المسافات بينها إلى عدة أمتار، يجري ضخ الهواء المضغوط عبرها إلى داخل الأكوام نظراً لصعوبة تقليب هذه الأنواع. أما مساوئ هذه الطريقة فهي صعوبة تأمين الرطوبة التي تنخفض بسرعة مع استمرار عمليات التخمر، وكذلك صعوبة ضخ الهواء المتوازن إلى كامل كتلة النفايات مما يؤدي إلى ظهور جيوب لا هوائية ضمن أكوام النفايات، وكذلك إطالة مدة تحلل النفايات السطحية. ولتجنب انتشار الذباب نتيجة عدم التقليب تجري عمليات تغطية الأكوام بطبقات عزل ترابية، أو بطبقة من مواد خاملة، أو بطبقة من كومبوست متخمر بسماكة 10-20 cm .

2–تشكيل أكوام بمقطع عرضي على شكل شبه منحرف وذلك عند استخدام الروافع الملقطية في نقل النفايات من مواقع المعالجة الأولية إلى ساحات تشكيل الأكوام. تقوم الروافع الملقطية عادةً بتخديم كومتين تسميان قطاعاً، يتم تزويدهما –غالباً– بالهواء بشكل صناعي.

يؤخذ ارتفاع الكومة بحدود 2.5 m بطول 10-50 m، وتؤخذ قاعدة شبه المنحرف العلوية بما لا يقل عن 2m، وتؤخذ زوايا ميل وجهي شبه المنحرف 45^o، كما تؤخذ المسافة بين الأكوام الطولية المتوازية 3-6 m . ويبين الشكل (24-9) قطاعات تخمير النفايات الصلبة.

3–تشكيل أكوام بمقطع عرضي نموذجي على شكل نصف دائرة وذلك باستخدام الآليات المتحركة (التركسات) والأيدي العاملة في نقل الأكوام وتشكيلها وتقليبها. تُعد تكاليف النقل والتشكيل اليدوي لهذه الأكوام كبيرة وخصوصاً عندما يتم نقل النفايات إلى ساحات التشكيل لمسافات كبيرة مما يفرض ضرورة وجود الجرارات بمقطورات في هذه الحالات. يؤخذ العرض الأدنى للمقطع العرضي للكومة 2-4 m وبارتفاع 1.5-2 m ، أما طول الكومة فيتبع نوع التقليب، وحجم النفايات اليومية الواردة إلى حقول التحويل.

أما الطريقة الأفضل لتشغيل حقول التحويل فهي استخدام السيور المتحركة لعمليات نقل النفايات الصلبة من مواقع المعالجة الأولية إلى ساحات التشكيل، بينما يجري استخدام اللودر لعمليات تشكيل الأكوام وتقليبها، أو أن تتم عملية تفريغ النفايات مباشرةً في ساحات الأكوام عندما لا يكون هناك حاجة إلى معالجة أولية لهذه النفايات.

وتعتمد عملية تحديد المساحات اللازمة لساحات تشكيل الأكوام على مدة الاحتفاظ بالكومة حتى تخزينها وعلى نوع التقليب المستخدم . وهناك ثلاث طرائق لتقليب النفايات: طولي وعرشي ومن طرف إلى آخر.

المحافظة على الظروف الهوائية لعمليات التحلل الهوائي:

تعتبر عمليات التحلل اللاهوائي غير مناسبة بيئياً نظراً لبطء العملية وللروائح الناتجة عنها وتتم المحافظة على *الظروف الهوائية* لعمليات التحلل الهوائي عن طريق:

1- توفير الرطوبة المناسبة لهذه العمليات: تنخفض سرعة عمليات التحلل الهوائي عند رطوبة نسبية أقل من 40%، وتتوقف عند رطوبة نسبية أقل من 20% ، بينما تتحول عمليات التحلل الهوائي إلى عمليات لاهوائية عند زيادة الرطوبة النسبية عن55%. ولذلك فإن انخفاض الرطوبة النسبية عن40% يضطرنا إلى ترطيب النفايات الصلبة أثناء المعالجة عن طريق رشها بالماء، أما ازدياد الرطوبة النسبية عن55% فيضطرنا إلى تقليب النفايات الصلبة بهدف تخفيض رطوبتها أثناء المعالجة.

2- توفير الأوكسجين اللازم لهذه العمليات: إن نفاذ الأوكسجين أثناء عمليات التحلل الهوائي للنفايات يقود إلى تحول عمليات التحلل هذه إلى عمليات تحلل لاهوائي مما يؤدي إلى الانخفاض السريع في درجة الحرارة، وإلى انطلاق الروائح الكريهة؛ لذلك لا بد من تأمين الهواء اللازم لهذه العمليات عن طريق تقليب النفايات أثناء عمليات المعالجة.

3-نسبة الكربون إلى النتروجين C:N :تساعد النسبة المثالية لهذين العنصرين في عملية التحول السريع للنفايات الصلبة إلى كومبوست، حيث يُعد الكربون مصدر الطاقة للبكتريا التي تقوم بعمليات تحلل النفايات الصلبة، بينما يُعد النتروجين أساساً لتكوين خلايا هذه البكتريا. تُعد فضلات الطعام المصدر الأساسي للنتروجين، بينما تُعد النفايات الورقية والفحم المصدر الأساسي للكربون. تتراوح النسبة المثالية للكربون إلى النتروجين من 30:1 وحتى 35:1 .إن ازدياد هذه النسبة عن الحدود المثالية سيؤدي إلى ازدياد الزمن اللازم لعملية التحلل مما يفرض ضرورة إضافة مصادر غنية بالنتروجين؛ كالحمأة الناتجة عن معالجة مياه الصرف الصحي والتي تملك نسبةً عالية للكربون إلى النتروجين(6:1)، أما بنقصان هذه النسبة عن الحدود المثالية فإن الآزوت الزائد سوف يطرح على شكل غاز نشادر مؤدياً إلى ظروف غير مستحبة مما يفرض ضرورة إضافة مصادر غنية بالكربون كالورق والقش.

iii. ترميد النفايات الصلبة – أنظمة الحرق

تهدف الطرائق الحرارية المتطورة إلى حرق النفايات الصلبة بغية الحصول على متبقٍ خامل ذي خصائص تلويثية قليلة على البيئة المحيطة، والحصول على غازات نقية يمكن استخدامها لإنتاج الطاقة. وتُعد عملية ترميد النفايات الصلبة في الأفران عمليةً كيميائيةً معقدةً هي محصلة مجموعة من العمليات الكيميائية ذات خواص الأكسدة العنصرية الإرجاعية.

الطرائق الحديثة في معالجة النفايات الصلبة

قاد تطور إدارة النفايات الصلبة ومفهوم الإدارة المستديمة لهذه النفايات إلى تطوير حلول بديلة لعمليات معالجة النفايات الصلبة ولعمليات التخلص منها مع التركيز على عمليات الاستفادة القصوى من نواتج هذه المعالجة. وقد حاول مروجو الطرائق الحديثة التشكيك في مصداقية عمليات المعالجة التقليدية للنفايات الصلبة؛ كالطمر الصحي، والترميد، والتحويل إلى كومبوست، إلا أن التجارب الاستثمارية الطويلة لبعض هذه الطرائق أكدت عدم إمكانية الاستغناء عن الطرائق التقليدية في التخلص من النفايات الصلبة. وقد نالت بعض الطرائق الحديثة اهتماما خاصاً؛ نظراً لانخفاض تأثيرها على البيئة المحيطة مع إمكانية الاستفادة القصوى من عناصر النفايات أو الطاقة الناتجة عنها دون تلوث يذكر على البيئة المحيطة، بينما لم تجد طرائق أخرى رواجاً في الاستثمار؛ نظراً لارتفاع تكاليفها الإنشائية أو الاستثمارية، أو عدم إمكانية التخلص من النفايات الصلبة نهائياً بواسطة هذه الطرائق.

a) **حلمهة (الحلمهة الحامضية) وتخمير النفايات الصلبة**
b) **معالجة النفايات الصلبة العضوية في الظروف اللاهوائية**
c) **الجمع المنفصل لفضلات الطعام وتحويلها إلى علف للحيوانات**
d) **كبس النفايات الصلبة ضمن قوالب نظامية**
e) **التحلل الحراري**

التحلل الحراري:

التحلل الحراري هو الانحلال والتفكك الحراري للنفايات العضوية في غياب الأوكسجين وذلك بهدف إنتاج الفحم الكربوني والزيوت والغازات القابلة للاحتراق مع تطبيق حرارة منخفضة نسبياً مقارنةً مع الحرارة المستخدمة في طريقة الترميد (في حدودºC400-800).
تتمثل عمليات التحلل الحراري بالعلاقة الآتية:

نفايات صلبة + حرارة = غاز + (قطران +محاليل سائلة) + خبث فحمي.

إن علاقة المنتجات المتشكلة (غاز ، قطران ،مادة صلبة) وتراكيبها مرتبطة بظروف التحلل الحراري وتركيب النفايات الصلبة.

النفايات الصلبة الخطرة :HAZARDOUS SOLID WASTES

النفايات الخطرة هي النفايات ذات التأثير الخطر على البيئة المحيطة. وتُعد النفايات الصلبة خطرةً ؛ إذا كانت سامة (Toxic)، أو قابلة للاشتعال (Ignitable)، أو قادرة على التسبب بالتآكل (Corrosive)، أو قادرة على إعادة النشاط (Reactive)، أو ذات آثار إشعاعية أو بيولوجية خطرة. وتعرف المواد أو العناصر التي تعطي صفة الخطورة للنفايات الصلبة بالمواد أو العناصر الخطرة. ويمكن لبعض النفايات الخطرة أن تملك أكثر من خاصة من الخواص السابقة؛ كأن تكون سامة وقابلة للاشتعال. ويجري تصنيف النفايات الخطرة كما يأتي:

–النفايات السامة: وهي النفايات الصلبة التي تسبب أضراراً على صحة الإنسان، أو على البيئة المحيطة من خلال تأثيرها على الطعام، أو الهواء، أو الماء، وهي النفايات الحاوية على مواد كيميائية محددة ؛ كبعض المعادن الثقيلة، والمبيدات، وبعض المركبات العضوية...الخ.

–النفايات القابلة للاشتعال: وهي النفايات الصلبة التي تملك نقطة توهج (Flash Point) أقل من 60 ^{o}C ، وكذلك التي تسبب النيران من خلال احتكاكها بالرطوبة أو امتصاصها لها. وتُعد النفايات الصلبة الحاوية على غازات مضغوطة قابلة للاشتعال أو الحاوية على المؤكسدات القوية (Oxidizer) نفايات قابلة للاشتعال.

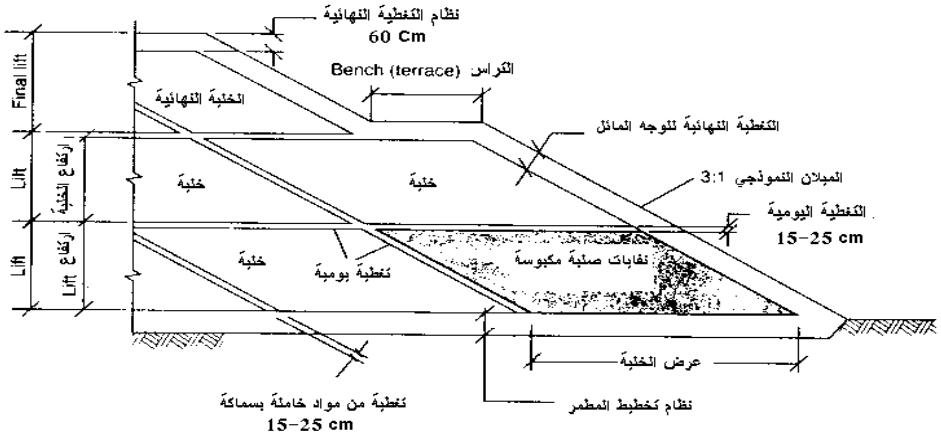
–النفايات القادرة على التسبب بالتآكل: وهي النفايات الصلبة التي تعطي محاليلاً مائيةً ذات قيمة pH أقل من 2 أو أكثر من 12، وكذلك النفايات التي تسبب صدأ الفولاذ بسرعة تتجاوز 0.25 inches/year .

–النفايات القادرة على إعادة النشاط: وهي النفايات الصلبة شديدة التفاعل مع الماء، أو التي تنتج غازات سامة، أو ضباب أو بخار سامين بتفاعلها مع الماء، أو مع مواد محددة أخرى، أو التي تحتوي على السولفيد، أو السيانيد (يمكن لهذه العناصر الكيميائية أن تنطلق خلال قيمة pH=2…12.5)، أو النفايات التي يمكن أن تلتقط النيران، أو النفايات القابلة للانفجار (Detonation or Explosion) خلال تماسها مع الماء أو مع مواد محددة أخرى أو خلال تعرضها للحرارة.

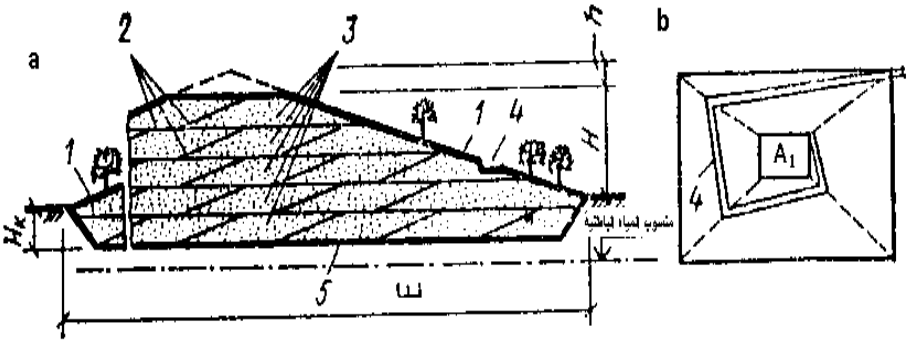
–النفايات النووية المشعة: تُعد هذه النفايات من أشد أنواع النفايات الصلبة خطورة، وتنتج النفايات النووية المشعة عن عمليات استخراج العناصر المشعة، وعمليات تحويلها إلى وقود نووي، وعن عمليات استثمار هذه العناصر في الصناعات المدنية والحربية. ويجري تصنيف النفايات النووية تبعاً لشدة الإشعاع الصادر عنها. وتكمن شدة خطورة هذه النفايات في المدة الزمنية الطويلة جداً للتأثير الخطر جداً لعناصرها على البيئة المحيطة.

–النفايات الطبية: تنتج هذه النفايات عن المشافي والمخابر والعيادات ومصانع الأدوية...الخ، وتُعد هذه النفايات خطرة عندما يكون لها آثاراً بيولوجيةً على البيئة المحيطة. يجري تجميع هذه النفايات منفصلةً عن النفايات الصلبة البلدية ضمن حاويات خاصة، وتجري معالجة نفايات المشافي عادةً ضمن محارق خاصة ملحقة بهذه المنشآت.

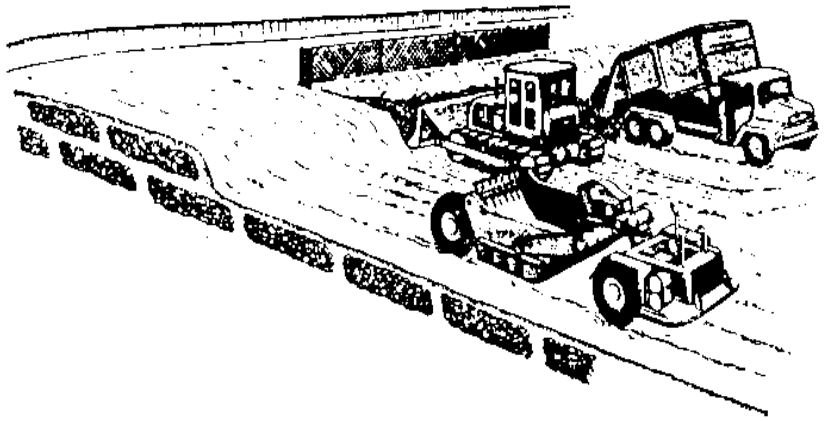
أشكال للاطلاع



الشكل (1): مقطع عرضي في خلايا موقع ردم صحي

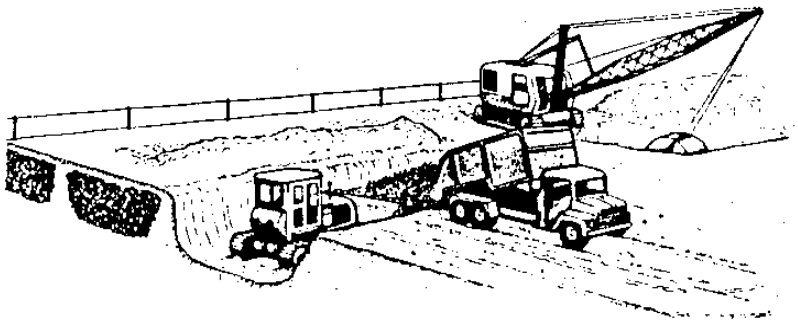


الشكل (2) : مخطط لموقع ردم صحي منفذ بطريقة الفرش السطحي. a– مقطع عرضي للموقع b –مخطط الطريق إلى المساحة العلوية. 1–طبقة العزل

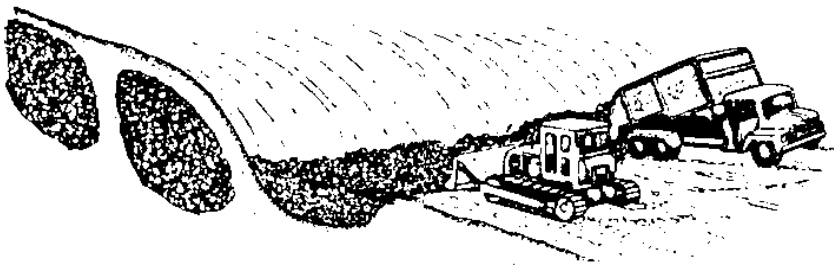


النهائية 2–طبقات العزل المرحلية 3–النفايات الصلبة المرصوصة 4–الطريق إلى المساحة العلوية 5–القاعدة الكتيمة 6–المساحة العلوية.

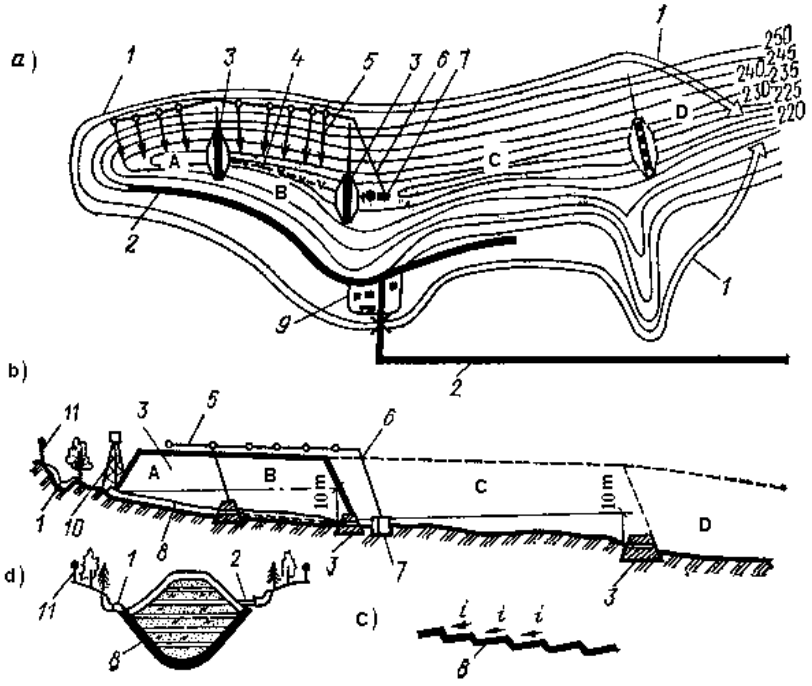
الشكل (16-8): آلية تنفيذ طريقة الفرش السطحي.



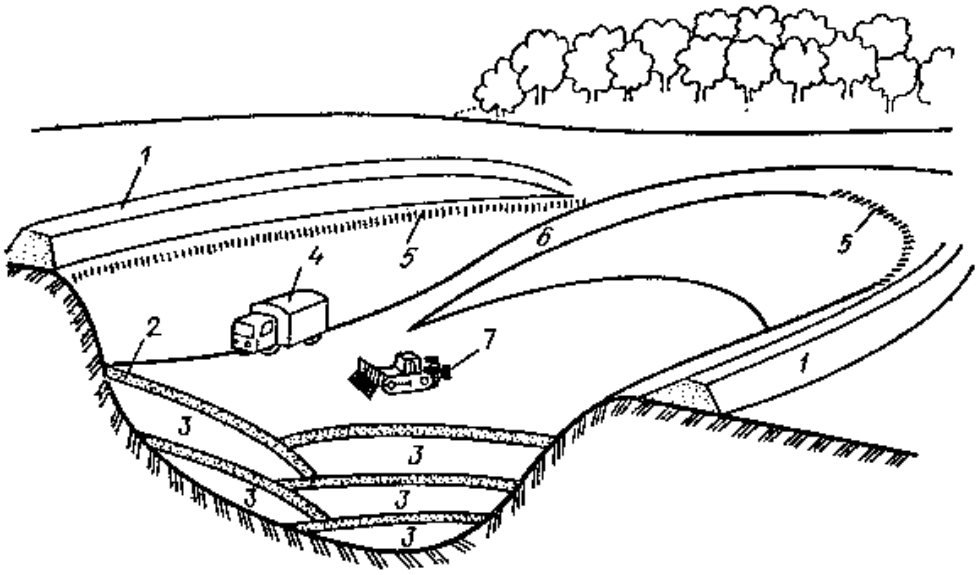
الشكل (3): طريقة الخنادق في تنفيذ مواقع الردم الصحي.



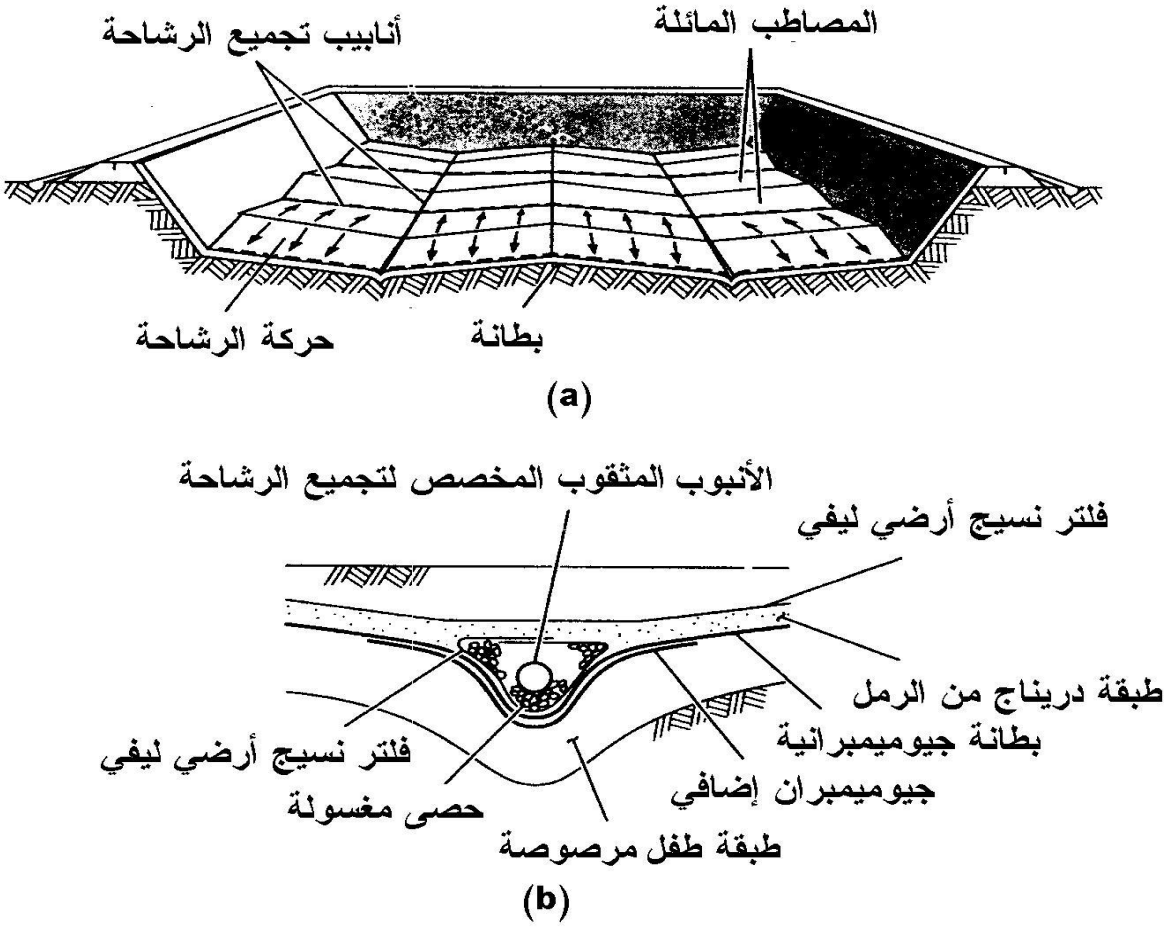
الشكل (4): طريقة الميل في تنفيذ مواقع الردم الصحي.



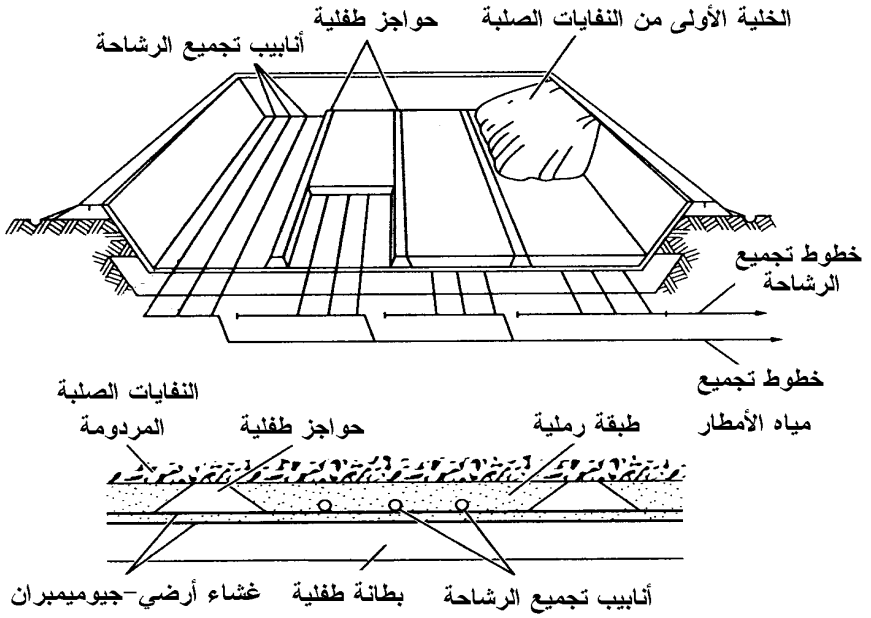
الشكل (5):تنفيذ الردم الصحي في المنخفضات الطبيعية. a–مسقط الموقع b –مقطع طولي في الموقع c– تدرج الميلانات العكسية في قاع الموقع d – مقطع عرضي في الموقع. 1 –القناة العلوية 2–طريق 3–سد ترابي4 –شبكة الدريناج 5–شبكات التجميع 6–أنبوب رئيسي لتجميع الراشح 7–محطة ضخ 8–شاشة مقاومة للترشيح 9–منطقة إدارية 10–ساري الإنارة11–سياج.A,B,C,D – قطاعات العمل.



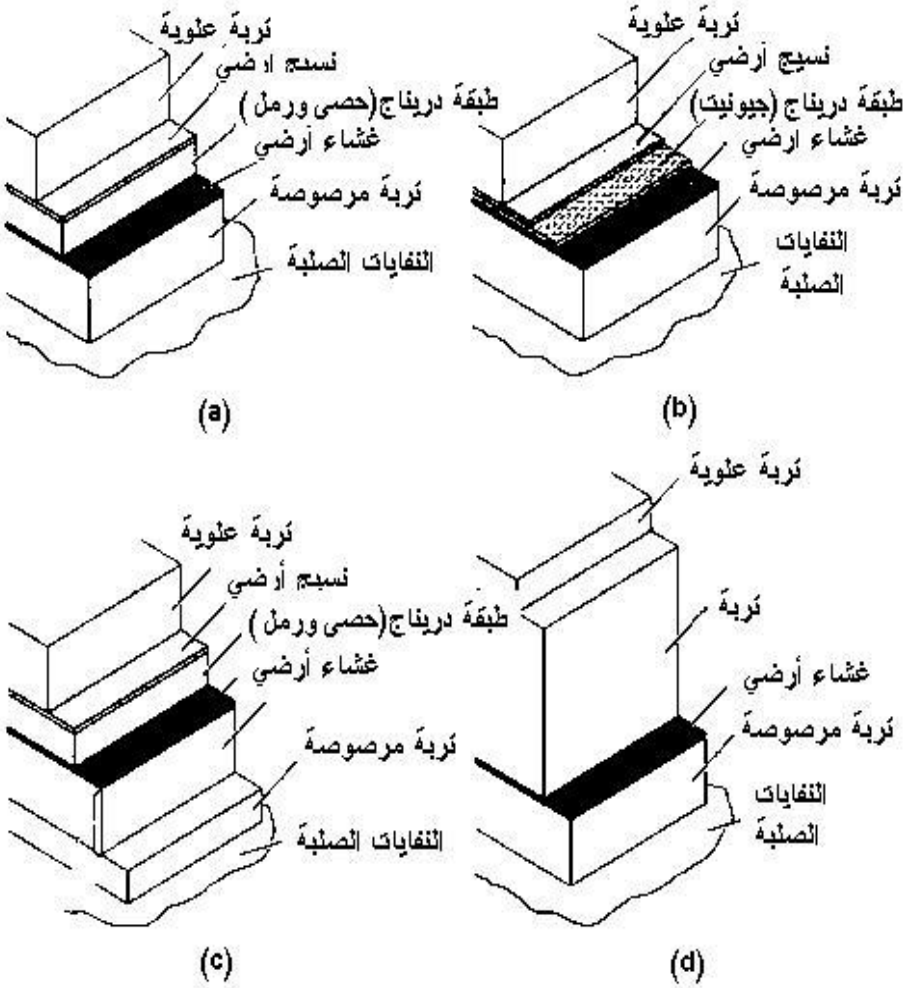
الشكل (6): تنفيذ الردم الصحي في المنخفضات الاصطناعية.



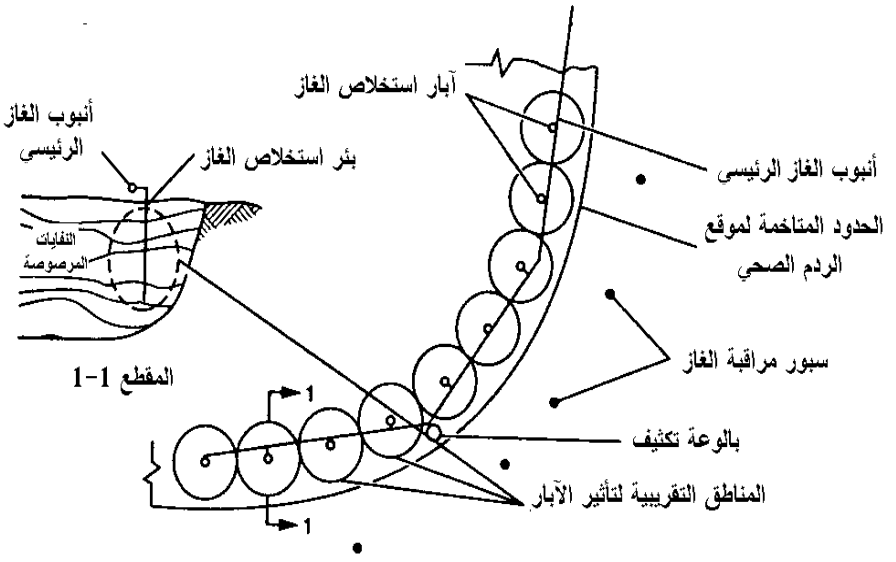
الشكل (7): مخطط تجميع الرشاحة باستخدام المصاطب المائلة.



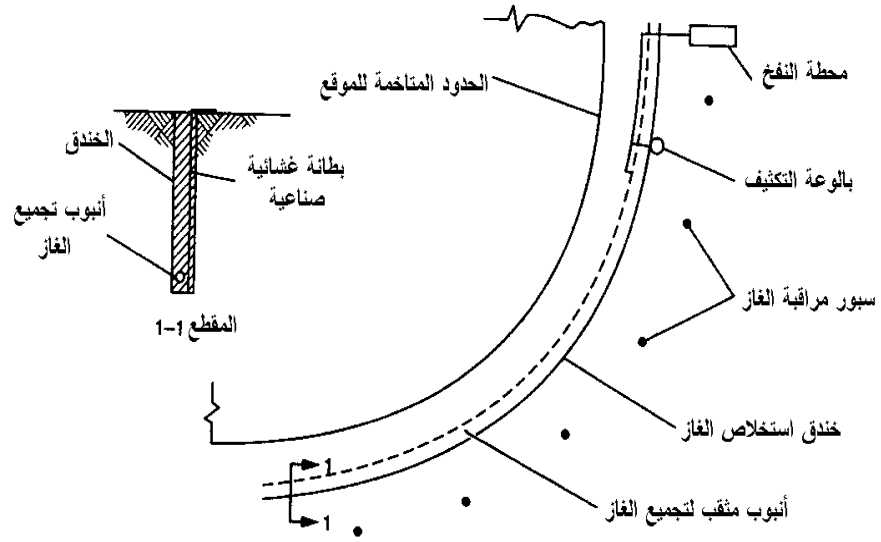
الشكل (8): المخطط الأنموذجي لتجميع الرشاحة بإنشاء قاعدة من الأنابيب.



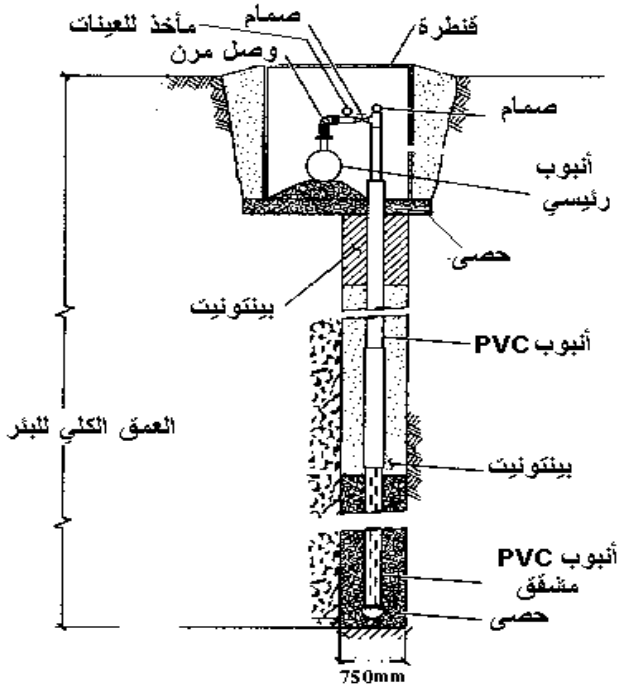
الشكل (9): بعض أشكال تصاميم الأغطية المستخدمة والمقترحة لطبقة التغطية النهائية



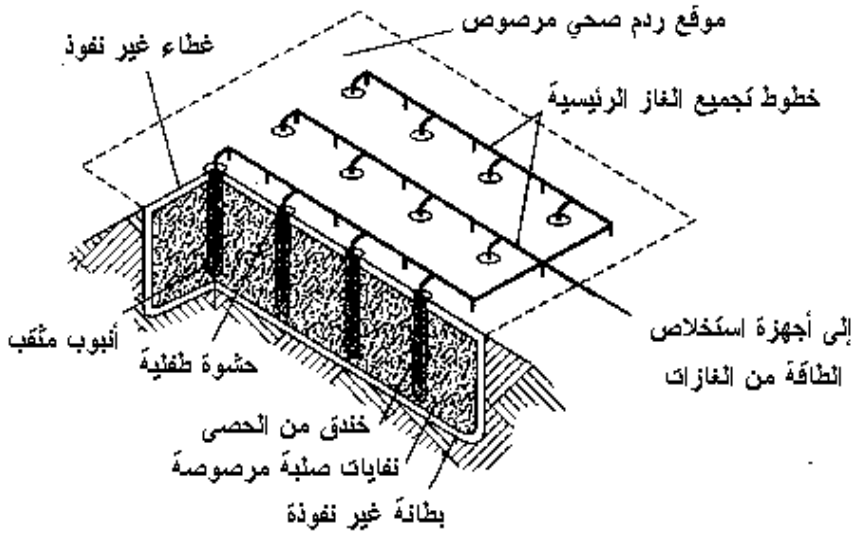
(a)



الشكل (10): أنظمة السيطرة الفعالة على الغازات المنطلقة من مواقع الردم الصحي باستخدام الآبار أو الخنادق المحيطية. a– استخدام الآبار المحيطية b– استخدام الخنادق المحيطية.



لشكل (34-8): تفصيلة بئر استخلاص غازات موقع الردم الصحي.



الشكل (11): أنظمة السيطرة الفعالة على الغازات المنطلقة من مواقع الردم الصحي باستخدام آبار انتزاع الغاز الشاقولية.