الأدلة الإرشادية لتصميم
مدافن المخلفات الخطرة في المناطق شديدة الجفاف

المركز الاقليمى للتدريب و نقل التكنولوجيا للدول العربية

الطبعة الأولى ٢٠٠٦

الأدلة الإرشادية لتصميم
مدافن المخلفات الخطرة في المناطق شديدة الجفاف

إعداد

المركز الاقليمى للتدريب و نقل التكنولوجيا للدول العربية

المحتوي

تقديم .....

تمهيد .....

ACRONYMS .....

١ - مقدمة **١**

١-١ أهداف التصميم ٢
١-٢ المناهج التصميمية ٢
١-٢-١ المدافن ذات التحكم الطبيعي ٣
١-٢-٢ مدافن النفايات في المناطق الجافة المستثناة ٤
١-٢-٣ المدفن الهندسى للنفايات (المدافن المهندسة) ٤
١-٣ الاستراتيجيات الخاصة بتصميم مدافن النفايات في البلاد النامية بالمناطق الجفاف ٥
١-٤ التصميم العام CONCEPTUAL DESIGN ٥

٢ - خطوات التصميم **٧**

٢-١ معدل تولد وكميات وصفات وخصائص النفايات الخطرة ٧
٢-٢ جمع المعلومات عن المواقع المقترحة ٨
٢-٢-١ إعداد خرائط مرجعية للظروف الموجودة في المواقع وحولها ٨
٢-٢-٢ جمع المعلومات الهيدروجيولوجية ٩
٢-٢-٣ تجميع البيانات المناخية ١٠
٢-٣ التعرف على اللوائح التنظيمية والمقاييس التصميمية المحلية ١١
٢-٤ تطوير المخطط التصميمي للموقع SITE LAYOUT DEVELOPMENT ١١
٢-٥ تصميم منطقة الدفن ١١

٣ - السمات التصميمية **١٢**

٣-١ التحكم في الرشيح ١٢
٣-١-١ إمكانيات تكون الرشيح في مدافن نفايات المناطق شديدة الجفاف ١٣
٣-١-٢ معايير تصميم نظام تجميع وإزالة الرشيح (LCRS) ١٣
٣-١-٣ خزانات احتواء الرشيح وأنابيب النقل ١٥
٣-١-٤ معالجة الرشيح و حيز التخزين ١٦
٣-١-٥ نظام معالجة الرشيح ١٦
٣-٢ نظام التبطين LINER SYSTEM ١٦
٣-٢-١ نظام المبطن: مكون البطانة الترابي Soil Liner Component ١٧
٣-٢-٢ مكون الغشاء الأرضي (الجيولوجي) للمبطن Geomembrane Liner Component ١٨
٣-٢-٣ إمكانية الانتفاع بالمبطنات الغشائية المرنة (FML) في منطقة شديدة الجفاف ١٩
٣-٣ نظام التغطية النهائي ٢٠
٣-٣-١ طبقة الأساس ٢١
٣-٣-٢ طبقة منخفضة النفاذية ٢١
٣-٣-٣ الطبقة الحاملة لصرف المياه السطحية Drainage Layer ٢١
٣-٣-٤ الطبقة الواقية Protective layer ٢٢
٣-٣-٥ طبقة التربة السطحية Topsoil layer ٢٢
٣-٣-٦ طبقة الإستنبات Vegetative layer ٢٢
٣-٣-٧ بديل الطبقة الاستنباتية (الغطاء النباتي) Alternative to vegetative layer ٢٢
٣-٣-٨ التصميم النمطي لنظام التغطية ٢٣
٣-٤ التحكم فى الغازات GAS CONTROLS ٢٥
٣-٥ التحكم في المياه السطحية ٢٥
٣-٦ طرق الوصول المؤدية ٢٦
٣-٧ الإحاطة بسياج (التسويج) ووضع اللوحات الإرشادية FENCING AND SIGN ٢٦

٣-٨ منطقة حرم الموقع BUFFER ZONE ٢٧
٣-٩ المنشآت ٢٧
٣-١٠ المرافق الخدمية UTILITIES ٢٧

٤- الفرضيات والمفاهيم البديلة والبدائل للمواد المستخدمة ٢٨

٤-١ الأغطية الخارجية للمدفن ٢٩
٤-٢ بدائل لأغطية المدافن ALTERNATIVE LANDFILL CAPS ٣٠
٤-٢-٢ غطاء حاجز الخاصية الشعريةCapillary Barrier cover ٣١
٤-٢-٣ الغطاء الخراساني الاسفلتى ٣٢
٤-٣ الأنظمة المبطنة البديلة ٣٢
٤-٣-١ التخفيف الطبيعي (Natural Attenuation (NA ٣٢
٤-٣-٢ المبطنات الخرسانية الأسفلتية (DAC) والغشائية البتومينية (القطرانية) (BM) ٣٣
٤-٣-٣ تبطينات رأسية لمواقع مدافن النفايات باستخدام الخرسانة الأسفلتية الكثيفة DAC ٣٤
٤-٣-٤ استخدام التربة الطبيعية كمبطن بديل ٣٥
٤-٤ الغطاء المرحلي الوسطي ٣٦
٤-٥ تصميم آبار المراقبة ٣٧
٤-٥-١ الإنشاء ٣٧
٤-٥-٢ بدائل آبار المراقبة ٣٩

٥- تقرير التصميم ٤٠

٦- المراجع ٤٥

قائمة الإشكال التوضيحية

شكل (١): قطاع عرضي مبسط لمدفن نفايات يبين مختلف أوجه تصميم المدفن..... ١٢
شكل (٢): مخططاً نمطياً لنظام تجميع الرشيح..... ١٥
شكل (٣): الأوجه التصميمية لأنظمة التبطين التقليدية..... ١٧
شكل (٤): قطاع يبين الطبقات المختلفة في نظام نموذجى لغطاء المدفن..... ٢٣
شكل (٥): (أ) و (ب) أغطية بديلة بحواجز ، (ج) غطاء نتحى–تبخيرى..... ٣٢
شكل (٦): قطاع يبين تفاصيل التصميم لنظام تبطينى من الخرسانة الأسفلتية الكثيفة..... ٣٤
شكل (٧): قطاع يبين التبطين الرأسي لنظام تبطينى من الخرسانة الأسفلتية الكثيفة..... ٣٥
شكل (٨): يبين تصميم آبار مراقبة و قياس منسوب المياه الجوفية..... ٣٨

قائمة الجداول

الجدول (١): سمك وانحدار ومواصفات تصميم نظام تغطية نهائى نمطى..... ٢٤
الجدول (٢): مقارنة بين مبطنات الخراسانية الأسفلتية و الطبقة الغشائية البتيومينية..... ٣٣
الجدول (٣): الفروق التقريبية للحجم المدمج و الحجم المنحل للمواد المستخدمة..... ٣٦
جدول (٤): الحد الأدنى لمتطلبات تصميم مدفن النفايات..... ٤١
جدول (٥): المقاييس الدولية للحد الأدنى لمتطلبات مكونات النظام المبطن..... ٤٣
جدول (٦): المقاييس الدولية للحد الأدنى لمتطلبات الغطاء الخارجي للمدفن..... ٤٤

أشارة بخصوص التحرير

حررت هذه الوثيقة مشاركة بواسطة السيد الدكتور أشرف المغربى بالتعاون مع ادارة المشروع المكونه من السيد الدكتور سعيد دحروج و الجيولوجى أحمد فاروق. و قد قام الاستاذ الدكتور مرتضى مراد العارف و أخرون بمراجعة المحتوى الفنى للوثيقة.

و تجدر الاشارة الى أن الوثيقة قد روجعت أيضا أثناء أجتماعات الخبراء (راجع ملحق -١ الذى يتضمن قائمة اسماء المشاركين من الدول العربية الأعضاء بالمركز و سكرتارية الأتفاقية).

تقديم

المركز الأقليمى للتدريب و نقل التكنولوجيا للدول العربية فى أطار تنفيذه لمشروع "أعداد مجموعة من الوسائل لأختيار و تصميم و تشغيل مدافن المخلفات الخطرة بالمناطق شديدة الجفاف" - الممول فى اطار الخطة الإستراتيجية و بدعم فني و مالي من سكرتارية اتفاقية بازل الدولية للتحكم فى و نقل المخلفات الخطرة عبر الحدود- أعد :احد المخرجات الهامة له مجموعة من الادلة الأرشادية ذات الصلة :

- الأدلة الأرشادية لاختيار المواقع و تقييم الأثر البيئى لمدافن المخلفات الخطرة بالمناطق شديدة الجفاف
- الأدلة الأرشادية لتصميم مدافن المخلفات الخطرة بالمناطق شديدة الجفاف
- الأدلة الأرشادية لتشغيل و مراقبة أداء و العناية اللاحقة لمدافن المخلفات الخطرة بالمناطق شديدة الجفاف

هذه الأدلة الأرشادية تم أعدادها بهدف الترويج للممارسات و الأدارة البيئية السليمة للمخلفات الخطرة فى المنطقة العربية، حيث تتناول هذه الأدلة بصفة خاصة المشاكل الشائعة للمخلفات الخطرة و الحاجة الملحة لأحتوائها و التخلص السليم منها. حيث توفر الأدلة الارشادية التوجيه فيما يتعلق بأختيار أماكن و كيفية تقييم الأثر البيئى و كيفية التصميم و التشغيل و الرصد و ذلك للمناطق الشديدة الجفاف. كما تحذر من التخلص العشوائى و الممارسات الخاطئة و التى تؤدى الى عواقب بيئية و صحية وخيمة تضاعف تكاليف مجابهتها لتفوق كثيرا ما يمكن انفاقه فى الممارسة السليمة لأدارة المخلفات الخطرة و التخلص الأمن منها.

أعدت الأدلة الأرشادية باللغة الأنجليزية و ترجمت الى اللغة العربية و اضيف الى كل دليل الفهرس الخاص به و بعض اللوحات السهلة الأستخدام لدعم اتخاذ القرارات. لقد صممت هذه الأدلة الأرشادية لكى تستخدم بواسطة هؤلاء المتعاملين مع المخلفات الخطرة ادارتها و التخلص منها و مصممى المدافن و الكيميائيين و مهندسى العمليات و مسؤولى أنظمة المعالجة و موظفى العموم المسؤولين عن التخطيط لادارة المخلفات و مخططى العمران و كذلك لهؤلاء العاملين بالقطاعات الحكومية المسؤلة عن ادارة المخلفات الخطرة و التحكم فى التلوث الكيمائى. و على هذا فانه لابد و أن ينظر لهذه الأدلة الأرشادية على أنها وسيلة اضافية لتعزيز الأنفاذ لادارة المخلفات الخطرة بشكل سليم بواسطة الهيئات و المحليات، هذا و لايجب استخدامها كبديل للاستشارات التى يمكن ان تؤديها الجهات المتخصصة و الأستشاريين الفنيين.

و تحمل البيانات التقنية و التوصيات المدرجة بالادلة الارشادية الحالية صفة النهائية بمعنى أنها تمت مراجعتها من قبل هيئة من الخبراء تم ترشيحهم من قبل المركز الأقليمى للتدريب و نقل التكنولوجيا و الخبراء العرب الذين شاركوا فى أجتماعات الخبراء التى عقدت فى اطار المشروع هذا بالاضافة الى المساهمة الفنية من سكرتارية الأتفاقية. و مع ذلك فأن هذه الأدلة الارشادية سوف تخضع للتحديث بشكل مستمر كلما جد جديد و توافرت معلومات و استحدثت تقنيات و اصبحت متاحة للاستخدام بجدوى اقتصادية مناسبة فى منطقتنا العربية.

انه لمن دواعى سرورى أن يتم توزيع هذه النسخة لتحل محل المسودات التى أطلقت من قبل أثناء أجتماعات الخبراء.

أ. د. مرتضى مراد العارف
مدير المركز الأقليمى للتدريب و نقل التكنولوجيا للدول العربية

تمهيد

مازالت السياسات والاستراتيجيات الخاصة بإدارة النفايات الخطرة رهن التطوير فى العديد من بلاد المنطقة العربيـــة. ورغم أن معظم تلك البلاد تركز فى تعاملها مع النفايات الخطرة على خيار التخلص بالـــدفن الأرضـــى (Land disposal option) إلا إن قلة منها فقط تأخذ فى الاعتبار البدائل التكنولوجية الأكثر نظافة، فغالباً مـــا تكـــون الغلبة لمشكلة التمويل عندما يتعين على المؤسسات والأجهزة التنظيمية تنفيذ إجراءات أو توجيهات سياسية فورية.
ويقدم العديد من الدول المانحة مساعدات قيمة باتجاه تطوير سياسات واستراتيجيات فضلاً عن التدريب بغرض بناء القدرة الفنية وأحياناً إدارة النفايات الخطرة بما فى ذلك البنية التحتية الأساسية.
وتتمثل المشكلة فى تنفيذ سياسات واستراتجيات فعالة و / أو ناجحة لإدارة النفايات فى المنطقة العربيـــة فى ثـــلاث قضايا رئيسية :

١- الافتقار إلى الموارد المالية
٢- الافتقار إلى الدراية الفنية والموارد التقنية
٣- الإرادة السياسية مقابل الوعى / وترتيب الأولويات

وتتباين المشكلة المتعلقة بالموارد المالية من بلد إلى آخر فيمكننا مثلاً أن نجد التقنية الراقية والوحدات الصناعية الـــتى تلتزم بالمقاييس البيئية الدولية فى بعض الدول الخليجية نظراً لوضعها الإقتصادى الجيد إلا أن تخصيص الأموال المناسبة لتنفيذ سياسات حماية البيئة بما فى ذلك الإدارة السليمة للنفايات الخطرة مازالت تشكل مشكلة بارزة فى البلاد الـــتى تعانى مشاكل اقتصادية فى المنطقة وما أكثرها !

والتقنية كلمة زاهية وبراقة تجتذب اهتمام صناع القرار فى البلاد النامية خاصة فالعديـــد منـــهم يعطـــى الحـــوافز للمستثمرين بغرض تشجيعهم على استيراد التقنية وذلك تحت إغراء التحسين الكيفى والكمى بحثـــاً عـــن التنميـــة الاقتصادية. إلا أن تقييم مدى نظافة التقنية المستوردة مازال قضية مستعصية تطرح تحديات عدة فى البلاد النامية.

وجدير بالذكر أن فشل تلك التقنيات وماصاحبها من حوادث تم تسجيلها على مدى العقدين الماضيين فى كل مـــن البلاد النامية والمتقدمة قد ألحق آثاراً بيئية سلبية. وكنتيجة لذلك لاحظنا تكلفة بشرية باهظة وأحياناً خسائر ماديـــة شاملة. دائما ما ترتبط التقنية والدراية الفنية بالموارد الفنية والمالية وغالباً ما ترتبط بالاحتكـــار monopolization ولكن حتى البلاد (العواصم) التى تتمتع بالموارد المالية فى المنطقة يجب أن تتعامل مع التقنيات الصناعية بحذر بـــالغ نظراً للافتقار إلى الموارد الفنية. وتنبع تلك المخاوف من أن تكلفة تشغيل وصيانة التقنية فى غياب الدراية الفنية يمكن أن تكون مبالغاً فيها بدرجة كبيرة مما يرهق الميزانيات بدرجة تؤدى فى بعض الحالات إلى إغلاق أو تعليق النـــشاط وفقدان المبالغ المستثمرة.

وفى ظل تفهم المتغيرات المختلفة التى تعيق التحول الحماسى نحو التقنية المتقدمة والإدارة السليمة للنفايات الخطرة قدم المركز الإقليمى لإتفاقية بازل بالقاهرة BCRC-Egypt حلا وسطاً فيما يتعلق بإدارة النفايات الخطرة من خلال تناول خيار التخلص من النفايات عن طريق الدفن الأمن. ويشجع المركز خيار التخلص من النفايات كسياسة قصيرة أو متوسطة الأمد وهو خيار يجب ألا يتم اللجوء اليه الا بعد استنفاذ كافة السبل للحد من خطورة المخلفات على الرغم من أن هذا الخيار يلقى شعبية فى المنطقة فى ظل الظروف السابق ذكرها.
وقد قرر مركز اتفاقية بازل بجامعة القاهرة BCRC-Egypt بالتعاون مع أمانة اتفاقية بازل SBC، بعد أخذ ظروف المنطقة والممارسات الحالية غير المحددة فى التعامل مع أنواع النفايات المختلفة – تطوير الخطوط الإرشادية الخاصة بالتخلص من النفايات الخطرة عن طريق الدفن الصحى وذلك سعياً لتحسين الممارسات الحالية للتخلص من النفايات ومساهمة فى الإدارة السليمة للنفايات الخطرة كهدف أسمى لاتفاقية بازل. ويعد العمل المقدم فى هذه الوثيقة نتاجاً للمشروع الذى كلفت به أمانة اتفاقية بازل مركز التدريب و نقل التكنولوجيا بجامعة القاهرة.

ويتعامل المشروع مع مشكلة الافتقار إلى الخطوط الإرشادية الفنية الملائمة لظروف المنطقة الاقتصادية والجغرافية. وقد عبرت عدة دول أعضاء من المنطقة – كما أوردت دراسة الجدوى التى أجرتها سكرتارية اتفاقية بازل (١٩٩٦) لإقامة المركز الإقليمى للتدريب و نقل التكنولوجيا BCRC-Cairo عن الحاجة لتطوير خطوط إرشادية فيما يتعلق بخيار الدفن الصحي كسياسة قصيرة الأمد.

وبعد أخذ ظروف المنطقة الجغرافية والسكانية (الديموغرافية) و التحت سطحية والجيومورفولوجية (شكل الأرض) ركز المشروع على تطوير مقاييس لخيار الدفن الأمن فى المناطق الشديدة الجفاف بصفتها الصفة الطبيعية الرئيسية المميزة للمنطقة.

وقد تم إعداد وتقديم تصور للمشروع للتمويل إلى مجموعة العمل الفنى التابعة لاتفاقية بازل فى الجزء الأخير من عام ٢٠٠٢. وقد تمت الموافقة عليه فى الجزء الأخير من عام ٢٠٠٣ ، و بدأ تنفيذه فى مطلع مارس ٢٠٠٤.

وكان المشروع يهدف إلى تطوير خطوط إرشادية لخيار الدفن الأمن فى المناطق الشديدة الجفاف بما فى ذلك :

- خطوط إرشادية لاختيار الموقع وتقييم الأثر البيئى للمدافن
- خطوط إرشادية لتصميم المدافن
- خطوط إرشادية لتشغيل المدافن ومراقبتها والعناية بها فيما بعد الإغلاق

وقد تم إعداد هذه الخطوط الإرشادية والموافقة عليها فى ثلاث مؤتمرات للخبراء عقدت على مدى ١٤ شهر وقد أسهمت تلك المؤتمرات بشكل كبير فى بناء القدرات و تبادل المعلومات بين دول المنطقة التى شاركت في هذه الاجتماعات. كما ساعدت هذه الاجتماعات أيضا على رفع مستوى الوعى فيما يتعلق بإدارة النفايات الخطرة.
وتمثل الخطوط الإرشادية التى بين أيديكم وثيقة ضمن من ثلاث وثائق يتم نشرها من خلال المشروع.

والمقاييس التى تتبناها تلك الخطوط الإرشادية هى نتيجة عمل شاق متواصل من جانب فريق عمل المشروع منذ بدايته والمناقشات الحامية خلال مؤتمرات الخبراء التى عقدت أثناء تنفيذ المشروع. وأخيراً نتيجة للتدقيق والتمحيص من جانب الاستشاريين المرموقين.

وقد قصد أن تكون هذه الوثائق شاملة فى بساطة بحيث يمكن استخدامها من قبل الفنيين وغير الفنيين وأيضا لأغراض التدريب. ومن الجدير بالذكر هنا أن هذه الوثائق ستظل ملفات مفتوحة للتحديث والتحسين والتنقيح مع تزايد المعلومات والمعرفة. كما إن مركز القاهرة الإقليمى BCRC يرحب دائماً بتلقى أى ملاحظات مرتدة من قبل مستخدمى تلك الخطوط الإرشادية بحيث تكون الطبعات المستقبلية أكثر إفادة.

و قد قسمت كل وثيقة من وثائق الأدلة الإرشادية الى فصول مستقلة تبدأ بالمفاهيم و تعبر الى الأساليب ثم المعايير الفنية و ذلك لتسهيل عملية القراءة و الفهم. و قد احتوت جميع الوثائق على قائمة مراجع لمن يرغب فى التوسع فى البحث فى الموضوعات ذات الصلة.

د. سعيد دحروج

مدير المشروع

ACRONYMS

ACAP Alternative Cover Assessment Program
AFC Alternative Final Cover
ALCD Alternative Landfill Cover Demonstration
BCRC Basel Convention Regional Centre
BOD Biological Oxygen Demand
CB Capillary Barrier
CERCLA Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act
CCL Compacted Clay Liner
CL Clay Liner
COD Chemical Oxygen Demand
CQA Construction Quality Assurance
CQC Construction Quality Control
EIA Environnemental Impact Assessment
EIA-R Ethylene Interpolymer Alloy-reinforced
EPA Environment Protection Agency
ET Evapotranspiration
EPS Expanded Polystyrene
FIDs Flame Ionization Detectors
FML Flexible Membrane Liner
GC Geocomposite
GCL Geosynthetic Clay Liner
GM Geomembrane
GN Geonet
GT Geosynthetic Textile
HDPE High-density Polyethylene
HELP Hydrologic Evaluation of Landfill Performance
HW Hazardous Waste
LCRS Leachate Control and Removal System
LFG Landfill Gas, Including any Volatile Organic Compounds.
MSWLF Municipal Solid Waste Landfill
MSW Municipal Solid Waste
NA Natural Attenuation
NMOCs Non-Methane Organic Compounds
PCB Polychlorinated Biphenyl
PET Potential Evapotranspiration
PIDs Photoionization Detectors
PI Soil Plasticity Index
PVC Polyvinyl Chloride
RCRA Resource Conservation and Recovery Act
SBC Secretariat of the Basel Convention
TDS Total Dissolved Salts
TOC Total Organic Carbon or Total Organic Compound
VOC Volatile Organic Compound

١- مقدمة

تشير الخطوط الإرشادية الحالية إلى الحد الأدنى من المتطلبات للتصميم السليم بيئياً الذى يأخذ فى الاعتبار جميع الظروف الخاصة بالموقع تحديداً (وخاصة الجيولوجيا والجفاف). ورغم أن إنشاء مدافن صحية بالغة التقدم التقنى للنفايات الخطرة (بمعنى تلك التى تستخدم المبطنات الاصطناعية الراقية) ليس ضمن نطاق الوثيقة الحالية إلا أن معايير التصميم والخطوط الإرشادية المقدمة فى هذه الوثيقة تولى تركيزاً خاصاً لتصميمات الأنظمة التى لا تحقق الحد الأدنى من المتطلبات التنظيمية فحسب بل تضفى حماية بيئية بأدنى تكلفة إنشائية وتشغيلية وتتناول هذه الوثيقة المعايير التى يجب أخذها فى الاعتبار عند تصميم مدفن صحى للنفايات الخطرة فى موقع مجدب تابع للإقليم العربى ولذلك فإن الهدف الرئيسى للخطوط الإرشادية المقدمة هنا هو تحسين القدرة على التعرف على و إتباع تصميمات وبدائل أكثر بساطة بدرجة ملحوظة ولكنها مع ذلك اقل كلفةً بالمقارنة مع التصميمات والبدائل النمطية.

والخطوة الأولى في إستراتيجية التصميم هى تحديد الأسس التصميمية التى سيتم إنشاء المدفن بموجبها. والأسس التصميمية هى عبارة عن جدولة للمتطلبات العامة للأداء التى يجب أن تحققها المنشأة بشكل مرضى لكى تنجز أهداف المشروع وهو ما يمكن أن نطلق عليه التصميم التصورى (الإدراكى) ويشمل سعة المنشأة ومعدلات تدفق النفايات والإحصاءات المرورية والتحكم فى البيئية.

وجدولة الأسس التصميمية بهذا الشكل يوفر لفريق تصميم المشروع وغيرهم (مثل إخصائى المراجعة التنظيمية) معلومات قيمة عن طبيعة وحجم المدفن الصحى المقترح. وقد تتطلب الأسس التنظيمية إعادة النظر فى حالة تسبب ظروف غير متوقعة فى تغيرات ملحوظة فى خطة تطوير المدفن.

تقدم هذه الوثيقة توجيهاً قيماً للمهندسين فيما يتعلق بتصميم منشآت التخلص من النفايات الخطرة والأنظمة المرتبطة بها فى المناطق شديدة الجفاف. هذه الوثيقة أداه عمل أساسية ولا غنى عنها بالنسبة لمهندسى مدافن النفايات فهى تتعرف على المكونات الرئيسية لمدافن النفايات الخطرة وتقدم الوسائل والإجراءات اللازمة للتصميم التفصيلى لكل جزء من أنظمة الاحتواء تلك.

تنقسم هذه الوثيقة إلى خمسة أقسام رئيسية تسمح للقارئ بالقراءة السريعة وهى المقدمة وخطوات التصميم وسمات التصميم والمفاهيم البديلة والمواد وتقرير التصميم. ويتكون كل قسم من مجموعة من الأقسام الفرعية.

و قد صممت هذه الوثيقة لكى تستخدم بواسطة العاملين فى المجالات المهنية المهتمة بالنفايات الخطرة مثل مصممى المدافن الصحية و المؤمنة فضلاً عن المهندسين العاملين بالصناعات الكيماوية والمعالجة ومديرى أنظمة معالجة النفايات ومصمميها والمسئولين الحكوميين المهتمين بتخطيط أو تصميم أو إنشاء أو إدارة منشأة لإدارة النفايات بشكل سليم.

ورغم أن المعلومات المقدمة فى هذه الوثيقة تعتبر دقيقة وموثوق بها إلا أنها مقدمة بدون أى ضمانات من أى نوع سواء صريحة أو ضمنية بما فى ذلك على سبيل المثال لا الحصر ضمانات اكتمال ودقة المعلومات التى تحتويها هذه الوثيقة.

وقد تتباين الملابسات والنتائج الفنية المقدمة لأى معلومات أو توجيهات فى هذه الوثيقة بشكل واسع تبعاً للحقائق المحددة المعنية ولا ينبغى استخدامها كبديل للرجوع إلى المستشارين المحترفين من ذوى الكفاءة.

١-١ أهداف التصميم

الخطوط الإرشادية المقدمة هنا لتصميم مدافن آمنة للنفايات الخطرة تمثل الحد الأدنى للمتطلبات إلا أنه لابد من الالتزام بها لتحقيق الأهداف التالية:

- التخلص السليم من النفايات لنطاق محدد
- إمكانية التوصيف والتصنيف النموذجي والتحليل والمراقبة
- استخدام حيز المدفن بكفاءة وإطالة عمر الموقع بقدر الممكن
- حماية الجودة النوعية للمياه الجوفية بإزالة الرشيح (التفريغ الرشيحى)
- حماية الجودة النوعية للهواء
- التقليل للحد الأدنى من زمن الإلقاء (الطمر) لمستخدمي الموقع وذلك للتخفيض من الظروف المضايقة المحتملة بالنسبة للجيران
- جعل الإنشاء والتشغيل والإغلاق أقل صعوبة فنياً وأقل كلفة
- توفير المرونة اللازمة للتطوير والبدائل
- تقديم خطة لاستخدام الأرض بمجرد إغلاق الموقع

١-٢ المناهج التصميمية

في بادئ الأمر بُذلت محاولات لتحديد مواقع دفن فى مناطق تتولى فيها آليات طبيعية إما التخفيف من أو معالجة الرشيح ولكن بحلول الثمانينات من القرن الماضى تحولت فلسفة إدارة مدافن النفايات بشكل أكبر نحو الاحتواء بدلاً من أى شكل من أشكال الإطلاق المحكوم. وينطوى المدفن الحديث (أو المغطس الجاف) وهو نظام عالى التقنية الهندسية على مراحل متعددة من التخطيط المكثف التصميم قبل الإنشاء. فطالما أنشئت المدافن الصحية من طراز المغطس الجاف لدفن النفايات الخطرة فسيكون من الضرورى عند تصميمها وإنشائها وتشغيلها وخاصة بعد إغلاقها الأخذ فى الاعتبار الفشل المحتمل لنظام احتواء نفايات المدفن (Lee and Jones-LeE 1993).

ويمكن تقسيم المناهج التصميمية إلى اتجاهين رئيسيين وهما مقاييس التصميم الهندسي ومقاييس التصميم القائمة على الأداء (Stephens and Coons 1994) . وعلى الرغم من أن المقاييس الهندسية تقدم أداءً متقدم تقنياً إلا أنها عادة ما تكون فرضية ولا تقدم أى مرونة تذكر بالإضافة إلى إنها تكلفتها عالية. وقد أصدرت اتفاقية بازل وهى

معاهدة عملاقة فى مجال التحكم فى و الإدارة السليمة للنفايات الخطرة أدلة إرشادية فنية حول مدافن النفايات الخطرة ذات الهندسة الخاصة (أمانة سكرتارية بازل ٢٠٠٢) تهدف إلى تقديم الإرشاد والتوجيه للبلاد التى تبنى قدرتها على إدارة النفايات بطريقة كفئة وسليمة بيئياً.

وعلى الناحية الأخرى فإن المقاييس التصميمية القائمة على الأداء تسمح بمرونة التصميم بشرط الالتزام بالمقاييس كما إنها اقل كلفة وتتطلب مستوى معين من التحكم البيئي فضلاً عن سماحها بإعادة استخدام بعض أنواع النفايات فى الإنشاء ومواد التشغيل مما يوفر سوقاً لبعض إحتياطى المخزون من النفايات.

وعموماً فإن معايير التصميم يتم تكييفها تبعاً لطبيعة التربة و الصخور التحت سطحية الى عمق يتراوح بين ٢٥ إلى ٥٠ متر وظروف الرطوبة و الجفاف و مدى إمكانية تطبيق الأنظمة والتقنيات الهندسية والتصميمات العالية التكلفة. وبناء على ذلك و على الأسس التصميمية توجد ٣ أنواع من مدافن النفايات(Blight, 1996) وهى :-

- مدافن ذات التحكم الطبيعى والتى تعتمد على الصفات الطبيعية للموقع (التربة منخفضة النفاذية على سبيل المثال) للتحكم فى تدفق الرشيح والغاز من مدافن النفايات
- مدافن النفايات المصممة هندسيا والتى تستخدم أنظمة هندسية (كأنظمة تجميع الرشيح والغازات) للتعويض عن أوجه القصور الموجودة فى الخصائص الطبيعية للموقع للحد من التأثيرات البيئية خارج الموقع
- مدافن المناطق الجافة المستثناه والتى قد تستثنى من العديد من المتطلبات، فمدافن النفايات الخطرة الآمنة فى المناطق شديدة الجفاف لا تتبع أى من هذين النوعين تحديداً ولكنها تشمل مكونات من كل منهما

هذا ولا يأخذ تصنيف مدافن النفايات الخطرة الحجم فى الاعتبار ولكنه يستند إلى تصنيف درجة الخطورة للنفاية (إدارة الشئون المائية والغابات بجمهورية جنوب أفريقيا ١٩٩٤)- أيضا راجع وثيقة الأدلة الإرشادية لاختيار المواقع و دارسة تقييم الأثر البيئى

١-٢-١ المدافن ذات التحكم الطبيعي

وهى مدافن لا تعتمد على أنظمة للاحتواء والتجميع والتخلص من الرشيح. وتقع خلية النفايات القاعية على ارتفاع ١,٥ متراً على الأقل من أعلى منسوب موسمى للماء على أن تؤخذ فى الاعتبار أعماق فاصلة أكبر تبعاً لنفاذية التربة وقابلية التجدد للرشيح. فلابد من وجود طبقة يبلغ سمكها ٢ متر على أقل تقدير من التربة المنخفضة النفاذية ذات نفاذية تقدر بـ (١٠)$^{-٦}$ سم/ثانية أو أقل (مثل الطفل أو الطمى) أسفل كل من خلايا النفايات القاعية. وقد يمكن الموافقة على سمك طبقى أقل للتربة المنخفضة النفاذية أو الاستغناء عنها كلية بناء على إمكانية توليد الرشيح والعمق غير المشبع والنفاذية وقدرة الرشيح على التجدد فى التربة الموجودة والجودة النوعية للمياه الجوفية واستخداماتها.

١-٢-٢ مدافن النفايات في المناطق الجافة المستثناة

هناك افتراض سائد بأن كمية الأمطار التى يمكن أن تتخلل إلى النفايات المدفونة بموقع فى منطقة جافة قليل أو منعدم إذا كان الموقع مناسباً. كما يعتقد أن المناطق التى تحتوى على نطاق رطوبى غير مشبع سميك و التى تكون شائعة فى الأقاليم شديدة الجفاف تبطئ حركة الماء و تحد من خطر انتقال الرشيح أو الملوثات إلى المياه الجوفية. واستناداً إلى هذين الافتراضين فمن الممكن ألا ينتج مدفن للنفايات الخطرة يقع فى منطقة مناخية جافة رشيحاً من مصادر المياه (كهطول المطر) بخلاف ذلك الموجود داخل النفايات فى زمن التخلص. ففى بيئة كتلك قد يتبخر الماء بسرعة كافية بحيث لا ينتج كميات مؤثرة من الرشيح وبالتالى لا تتطلب معالجة.

وقد زعم كل من (Fouri and Blight1999) أن الحسابات الهندسية فى المناخ الجاف والشبة جاف تبين أن إمكانية توليد الرشيح يمكن أن تكون منخفضة للغاية أو منعدمة إلى درجة الصفر مما لا يستدعى معه إنشاء أنظمة مكلفة لإدارة الرشيح.

كما أوضح المؤلفان كيفية إيقاف تدفق رشيحى صغير بشكل كامل بزيادة السعة المائية (الرطوبية) للمدفن بدرجة طفيفة. ويوجد حالياً العديد من الاقتراحات التى تؤيد أسلوباً أو منهجاً أكثر عملية ونفعية يتم بموجبه التساهل فيما يتعلق بالمقاييس الخاصة بالمبطنات وأنظمة إدارة الرشيح فى تلك المناطق مع الاعتماد على النظام الطبيعى (الخصائص الجيولوجية للموقع) لعزل الملوثات فى مواقع دفن النفايات بالمناطق شديدة الجفاف.

١-٢-٣ المدفن الهندسى للنفايات (المدافن المهندسة)

وهى مصممة لكى يكون بها أنظمة لاحتواء الرشيح وتجميعه والتخلص منه. أما المواصفات الدنيا لمبطنات أنظمة احتواء الرشيح فهى مبطن من التربة المدكوكة بسمك ١م و نفاذية قدرها (١٠)$^{-٧}$ سم/ثانية أو أقل. أما الحد الأدنى للإنحدار القاعى للمبطن فهو ٢% للمنحدرات الحاكمة و ٠,٥ % بالنسبة لباقى المنحدرات.

أما التربة الطبيعية منخفضة النفاذية والأغشية المصنعة من مواد أرضية والمبطنات المركبة التى تتكون من غشاء أرضى (جيولوجى) وطبقة تربة والتى توفر نفس مستوى احتواء الرشيح فبدائل مساوية ومقبولة. هذا ويمكن الموافقة على المبطنات ذات النفاذية الأعلى تبعاً لإمكانية توليد الرشيح والعمق غير المشبع والنفاذية وقدرة الرشيح على التجدد فى التربة الموجودة. والمواصفات الدنيا لأنظمة تجميع الرشيح هى طبقة صرف رملية بسمك ٠,٣ متر وبنفاذية قدرها (١٠)$^{-٢}$سم/ ثانية أو أكبر وتعد شبكات الصرف الاصطناعية التى تقدم نفاذية مساوية بديلاً مقبولاً.

وفى حالة ما إذا كان هناك أى احتمال من أن تسبب ترسيب مكونات الرشيح فى مشكلة انسداد فلابد من تصميم نظام تجميع الرشيح بحيث يمنع حدوث هذا الترسيب أصلاً. ولابد من تصميم طبقة الصرف بدرجات انحدار وأنابيب تجميع مناسبة بحيث لا يتجاوز العلو (المنسوب) الهيدروليكى للرشيح على المبطن ٠,٣ متر فى أى وقت.

١-٣ الاستراتيجيات الخاصة بتصميم مدافن النفايات في البلاد النامية بالمناطق الجفاف

يواجه معظم المسئولين عن إدارة النفايات صعوبات كبيرة نتيجة لنقص المعلومات الموثقة فضلاً عن غياب معايير أو خطوط إرشادية متاحة عن الموضوع. وفى بعض الأحوال نجد ميلاً لتطبيق خطوط إرشادية أو تنظيمية ولوائح من قبل الدول الصناعية دون تعديل أو تكييف للظروف المحلية مما يتسبب فى معظم الأحوال فى تعسر المشروعات. وحتى الآن يعد التخلص الغير آمن فى المقالب و المكبات المكشوفة هو الشائع بمنطقتنا العربية للتخلص من النفايات المحلية والنفايات الصلبة و الخطرة على حد سواء. وعادة ما تكون مواقع الطمر أو المدافن غير الصحية سيئة الاختيار قاصرة التصميم ومفتقرة إلى التقنية الهندسية و تؤدى الى آثار بيئية وصحية سلبية.

وقد بُذلت مجهودات عديدة في محاولة لبناء مدافن آمنة للتخلص من مختلف النفايات وخاصة فى البلاد النامية شديدة الجفاف (Al-Yaqouti and Townsend 2001).
وقد اشتملت تلك المجهودات على تصنيف مدافن النفايات وإجراء اختبارات معملية وميدانية على التربة الطبيعية لتحديد إمكانية الانتفاع بها كمبطنات وكأنظمة تغطية وأخيراً اختبار فعالية النماذج التصميمية للأدوات الأولية باستخدام برامج حاسوبية مختلفة (مثل Pollute v) و HELP (ويعنى التقييم الهيدرولوجى أو المائى لأداء مدافن المخلفات) الخ، وهى شائعة الاستخدام حالياً.
وقد أظهر اختبار وتقييم إمكانية استخدام البولى – إثيلين العالى الكثافة (HDPE) والطفل المصمت (المدكوك) كمبطنات وأغطية، أن تلك الاختيارات لا يوصى بها بصفة عامة فى تصميم مدافن النفايات بالمناطق شديدة الجفاف (Lee and Jones-Lee 1995)، على أن تستخدم خيارات وبدائل أخرى مجدية اقتصاديا تستغل التحكم الطبيعي كأدوات لإنشاء مواقع آمنة. وستساعد تلك البدائل فى تخفيض التكلفة العالية لأنظمة حاوية للنفايات، كما ستشجع البلاد ذات الاقتصاديات التى تمر بمرحلة انتقالية على أن تتحول من المكبات المكشوفه إلى المدافن الآمنة و الصحية المحكومة.

١-٤ التصميم العام Conceptual Design

لابد من إدراج تصميم تصورى ضمن إطار خطة تنمية الموقع التى تضع الأهداف الشاملة لتصميم المدفن. ولابد أن يصف التصميم التصورى الوسائل والإجراءات اللازمة لوضع معايير مناسبة واختيار التقنيات التى تستوفى متطلبات الإنشاء والتشغيل والمراقبة البيئية السليمة وتحقق أهداف الأداء. ولهذا يتطلب التصميم العام إعداد رسوم مفصلة لجميع مكونات المدفن.

ولابد أن تبين الرسوم قطاعات عرضية نمطية لنظام التبطين المقترح بما فى ذلك أنواع الطبقات والسمك والحد الأدنى للميول وحركية المياه لكل طبقة من التربة.

ولابد أن تقوم الرسومات أيضاً بوصف مكونات نظام التبطين (أو النظام المبطن) بما فى ذلك التربة والمواد الجيو-صناعية (geotextiles) والمصادر المحتملة لتلك المواد وأساس التصميم ككل. كما ينبغى أن يقوم التصميم العام

بوصف نظام تجميع وإزالة الرشيح (LCRS) من حيث الأسس التصميمية بما فى ذلك الفرضيات الجوهرية ومعايير التصميم فيما يتعلق بكيفية تحكم نظام (LCRS) للوصول إلى أعماق تكون الرشيح.
ولابد من إعداد تصميم عام لنظام (LCRS) ويتضمن رسوم تبين قطاعات عرضية نمطية ومسقط أفقى لمخطط النظام وكوعات بالوعاتُهُ وأنابيب التنظيف والمضخات وأحواض التجميع.

ولابد أن يشتمل التصميم العام على الرسوم الهندسية المبدئية التى تبين سمات نظام التحكم فى غازات المدفن مثل مواقع آبار استخلاص الغاز والمسافات الفاصلة بينها وأنابيب صرف الكثيف فضلاً عن وسائل التخزين والمعالجة ومجمع المعدات الميكانيكية.

٢- خطوات التصميم

لابد من إعادة تقييم وتنقيح فرضيات ومعايير التصميم الرئيسية الموضوعة أثناء العام التصورى فى مستهل مرحلة التصميم التفصيلى وهى المرحلة التى يتم فيها تضمين التصميم بيانات توصيفيه إضافية عن الموقع ونتائج اختبار المواد والمدخلات الواردة من أجهزة المراجعة ومتطلبات الترخيص فضلاً عن المعلومات المتاحة الأخرى.

٢-١ معدل تولد وكميات وصفات وخصائص النفايات الخطرة

الغرض من هذا البيان هو مراجعة البيانات الموجودة والمتوقعة عن تولد النفايات الخطرة وكمياتها وخصائصها فى المنطقة التى سيخدمها المدفن المقترح. ومن بالغ الأهمية أن تستند الأرقام المبينة على نفس تعريفات وتصنيفاته فئات النفايات الخطرة. والتصنيف الشائع الاستخدام هو قائمة النفايات الخطرة الذى هو جزء من فهرس النفايات الأوروبى (EU Environment Agency 2003) وبصفة عامة فإن التطور الصناعى عامل هام فى تفسير التنوع فى كميات النفايات الخطرة فى مختلف البلاد والمناطق وبعد التعرف على نوع النفاية يمكن توصيف وتصنيف النفايات الخطرة حسب درجة الخطورة التى تشكلها.

وتنقسم تلك النفايات إلى ٣ فئات (حسب Misra and Pandey 2004) وهى :-

- نفايات عالية الخطورة وتحتوى على تركيزات مؤثرة من المكونات عالية السمية أو المتحركة أو المتراكمة حيوياً مثل المذيبات المعاملة بالكلور والنفايات السيانيدية والنفايات الناتجة عن إزالة الشحوم المعدنية والنفايات ذات الأصل الديوكسينى ونفايات الفينول الثنائى المتعدد الكلورة (PCB)
- نفايات متوسطة الخطورة وتشمل الحمأة الراسبة للهيدروكسيدات المعدنية (فيما عدا هيدروكسيد الكروم الذى يندرج تحت فئة النفايات عالية الخطورة لسميته البالغة) والمعادن السامة من هذه الفئة غير قابلة للذوبان نسبياً فضلاً عن ضعف تنقلها
- نفايات منخفضة الخطورة وتشمل النفايات منخفضة الخطورة بأحجام كبيرة وبعض النفايات القابلة للتعفن (راجع قوائم المخلفات الخطرة الصادرة عن إتفاقية بازل الدولية)
- ويمكن إضافة النفايات بالغة الخطورة لهذا التصنيف

وتقدم خصائص النفايات معلومات تصميمية هامة مثل:

- متطلبات التخلص و التى تختلف بإختلاف درجة خطورة النفاية
- مناطق تخزين خاصة لأنواع معينة من أنواع النفايات والتى قد تستخدم فى عمليات التغطية اليومية أو النهائية
- إعداد النفايات لتناسب طرق التخلص بالدفن
- يؤثر نوع النفاية على أساليب التداول
- يؤثر نوع النفاية على إجراءات التشغيل اليومية
- يؤثر حجم تدفق النفاية على حجم التشغيل وبالتالى على التصميم
- تحدد سعة الاستيعاب المطلوبة حيث أن معدل تولد النفايات حالياً ومستقبلاً يُحدد سعة المدافن المزمع إقامتها و أسلوب التشغيل

- يؤثر نوع النفاية على متطلبات التغطية
- قد تصبح معالجة الرشيح أكثر تعقيداً نتيجة للتنوع الواسع لأنواع ومكونات النفايات
- قد تتطلب بعض المواد الخطرة تغطية فورية نتيجة لتطايرها أو لأسباب أخرى (مثل ألياف الإسبستوس)
- يتم عزل النفايات عادة حسب النوع والخصائص الكيماوية لمنع حدوث تفاعلات غير مرغوب فيها بداخل المدفن
- بعض النفايات التي لا تستجيب لإزالة السميات قد يتم تغليفها بكبسولة من مادة اساسية قبل التخلص منها في المدفن وتشمل مواد التغليف الخرسانة والاسفلت المصهور والبلاستيك (بولى – إثيلين)

٢-٢ جمع المعلومات عن المواقع المقترحة

لابد من جمع ومقارنة جميع المعلومات التصميمية ذات الصلة عن المواقع المحتملة بالإضافة إلى وضع أولويات إختيار الموقع وذلك لتحقيق إختيار مرضى لأحد المواقع المرشحة إستناداً إلى قضايا إختيار الموقع والقضايا التصميمية والنموذج التصورى المقترح.

ولابد أن تحدد خريطة الأساس معايير إقصائية بالنسبة لموقع المدفن المقترح وهى معايير تؤثر خاصة على تصميم ثم تنفيذ النموذج العام.

ويُعرف المعيار الإقصائى على إنه معيار يستبعد أى منطقة مقترحة من المزيد من الدراسة كمنطقة مرشحة (لجنة المدافن الاستشارية ٢٠٠٣) وتعكس المعايير الاقصائية كل من المتطلبات والسياسات الدولية والمحلية (راجع الأدلة الإرشادية لاختيار المواقع).

وتشمل تلك المعلومات الأتى :-

٢-٢-١ إعداد خرائط مرجعية للظروف الموجودة في المواقع وحولها

عادة ما تظهر خرائط الأساس موقع المدفن بالنسبة لتولد النفايات المحيطة والتجمعات السكانية والطرق والسمات الأخرى.

كذلك فلابد من إعداد أو شراء الخرائط الكونتورية التى تُظهر أنماط الصرف المتاخمة لمواقع التخلص المقترحة والتى تمر خلاله. لابد أيضاً من التقييم المتأنى للمناطق بالغة الانحدار أو التى قد تكون مسرحاً لتدفق سطحى مباشر محتمل من الموقع إلى المياه السطحية وتشمل خريطة أساس الموقع النمطية المعلومات والسمات التالية :

- خطوط كونتورية مرسومة على مسافات تتراوح بين ٥٠سم و ١م
- حدود عقارية واضحة الترسيم
- ممرات المرافق والمبانى والآبار والطرق وغيرها من السمات الأخرى
- قنوات الصرف
- المياه السطحية والأراضى الرطبة

٢-٢-٢ جمع المعلومات الهيدروجيولوجية

إن حركة المياه فى المنطقة غير المشبعة من التربة فى المناطق شديدة الجفاف بالغة التعقيد ولابد من متابعة المحتوى المائى والإمكانيات المائية والرطوبة وغيرها من المتغيرات لكى نحدد معدلات واتجاهات حركة الماء.

ويشير المحتوى المائى إلى اتجاهات حركة الماء ومدى تمسك التربة بالماء حيث يتحرك الماء خلال التربة فى الحالتين السائلة أو كبخار أو كليهما معاً بشكل متزامن كنتيجة للإمكانية المائية أو للجهد المائى والرطوبة و معدلات التغير الحرارى فى التربة.

ويرجح تقييم الظروف المائية العامة فى موقع مدفن النفايات وعلى مقربة منه فى المناطق شديدة الجفاف والبالغة الجفاف أن متوسط سنوى منخفض لهطول الأمطار ومتوسط سنوى مرتفع للبخر يمنع الماء من التغلغل لأسفل لمسافة تزيد عن ١متر أو نحوه (فى غياب التشققات الرأسية و الفوالق) تحت سطح الأرض إلا أن هذه الفرضية لم تأخذ فى الاعتبار التباين المناخى البالغ على مدى السنة وما بين الفصول فى المناخ الصحراوى. وقد بينت بعض نماذج التوازن المائى فى المناطق شديدة الجفاف والبالغة الجفاف أن إمكانية التغلغل العميق موجودة بالفعل على الرغم من متطلبات البخر السنوية العالية وذلك تحت ظروف معينة من حيث المناخ ورطوبة التربة (Nichols 1987) وقد أظهرت مراقبة ومتابعة حركة الماء فى المناطق شديدة الجفاف والبالغة الجفاف وخاصة على أعماق تتراوح بين ١٠متر و ٥٠متر أن حركة الماء سواء كسائل أو كبخار تتجه لأعلى بشكل ثابت.

وتشير الأدلة المبدئية إلى أن تدفق بخار الماء لأعلى خلال المنطقة السميكة غير المشبعة قد يعمل كمسار لإطلاق الملوثات (Striegl and Prudic, 1994 and Prudic, 1994) ولهذا فلابد من الأخذ فى الاعتبار أهمية تدفق بخار الماء لأعلى كآلية نقل محتملة وكمسار لإطلاق الملوثات عند عمل نماذج للتوازن المائى أثناء عملية تقييم موقع النفايات المقترح فى منطقة شديدة الجفاف.

ويمكن استخدام عمليات المحاكاة العددية الحاسوبية للتنبؤ بالتوازن المائى. ولذلك يوصى بتطوير مجموعة واقعية من الإحداثيات المدخلة لعمليات المحاكاة بناء على قياسات من التربة الفعلية بالإضافة إلى قيم مستمدة من المراجع فضلاً عن أراء الخبراء. ويعد النموذج الحاسوبى EPA-HELP محاكاة عددية شائعة الاستخدام لإجراء تحليلات التوازن المائى بالإضافة إلى أنظمة تغطية الحاجز الهيدروليكى التقليدية (Schroeder *et al* 1994)ويتطلب تصميم مدفن أمن للنفايات الخطرة فى موقع شديد الجفاف المعلومات الجيولوجية التالية وتشمل على سبيل المثال لا الحصر خصائص التربة والمياه الجوفية والأساس الصخرى.

خصائص التربة

المناطق شديدة الجفاف جافة بلا نباتات أو حشرات وبالتالى فموادها العضوية ضئيلة ولذلك لا تتكون تربة. وغالباً ما تكون تربة الأراضى الجافة غير ناضجة مما يجعل من الصعب التعرف عليها فى السجل الصخرى.

وكما هو الحال بالنسبة لأوجه عديدة للأراضى الجافة فإن التربة فى محيط كهذا تكون أقل فهماً وتوثيقاً بكثير من نظيراتها فى المناطق المعتدلة والرطبة ولذلك فلابد من عمل حفرتى اختبار على الأقل لكل فدان من الموقع بعمق (١)م مع اختبار التربة للتأكد من صلاحيتها لتحمل المنشأة.

على الرغم من أن معامل لدانة التربة (PI) لابد أن يتجاوز ١٠% إلا أنه عندما يزيد معامل لدانة التربة عن ٣٠% تصبح متماسكة ولزجة مما يصعب العمل الميدانى فيها.وعندما تصبح التربة ذات معامل اللدانة المرتفع جافة أكثر مما

ينبغى فقد تُكون كتلاً يصعب تفتيتها أثناء عملية الدك وقد تتكون مسارات تدفق تفضيلية حول الكتل الطينية مما يزيد نفادية المبطن كما يمكن أن تُكون ذرات التربة الكبيرة أو الفتات الصخري مسارات تدفق تفضيلية هى الأخرى.

الأساس الصخري

وتعد خواص الأساس الصخرى مثل العمق والنوع ووجود التشققات و الفوالق محددات هامة فى عملية التصميم وكلما ارتفع العمق إلى الأساس الصخرى كلما كان الموقع أفضل من المنظور التصميمي ويمنح أى عمق يتراوح بين ١٠إلى ١٥م مرتبة امتياز إلى الموقع عند تقييم العمق إلى الأساس الصخرى (راجع أدلة اختيار المواقع).

المياه الجوفية

وتؤثر ظروف المياه الجوفية على الملامح التصميمية للمدفن فيما يتعلق بنظام تجميع الرشيح ومتطلبات المبطن فبيانات المياه الجوفية كمتوسط العمق والتقلبات الموسمية والانحدار الهيدروليكى و اتجاه ومعدل التدفق (السريان)، فضلاً عن نوعية المياه الجوفية واستخداماتها، كل هذه البيانات تُعتبر بالغة الأهمية عند تصميم المدفن. ويعد أعلى مستوى للمياه الجوفية على مدى ١٠ أعوام فضلاً عن منطقة شحن المياه على مدى ١٠ سنوات لتنمية الإمداد المائى الحالى والمستقبلى بيانات بالغة الأهمية لتحديد العمق إلى الخلايا القاعية الأكثر إنخفاضاً. و من الضرورى أن يصمم المدفن بحيث يكون تأثير ميل تدفق المياه الجوفية واتجاه تدفق المياه الجوفية على القرى الواقعة عند مهبط التيار عند الحد الأدنى (فى حالة فشل النظام المبطن) ورغم أن نوعية المياه الجوفية قد لا تؤثر بشكل مباشر على تصميم المدفن إلا أنه عندما لا تنطبق المقاييس الخاصة بجودة ماء الشرب أو مياه الرى على المياه الجوفية فقد يمكن الموافقة على قدر من التساهل فيما يتعلق بالنظام المبطن.

٢-٢-٣ تجميع البيانات المناخية

تعد أحوال الطقس اعتبارات هامة فى تصميم مدافن النفايات فالتحكم فى المياه السطحية يعتمد بشكل مباشر على هطول المطر والترشيح والبخر كما يتأثر التحكم فى الرشيح بشكل مباشر بهطول المطر جنباً إلى جنب مع البخر والنتح.كما قد تتأثر إمكانية الوصول إلى الموقع بظروف الطقس المطير أو الملبد بالضباب ولابد أيضاً من أخذ اتجاهات الرياح فى الاعتبار عند إقامة مصدات هوائية للتحكم فى المخلفات المتطايره.

ويمكن الحصول على البيانات المناخية عادة من مراقبى الطقس سواء على المستوى المحلى أو القومى ومن المهم بصفة خاصة أن يتم الحصول على بيانات حديثة ودقيقة لهطول الأمطار بحيث تكون ممثلة لموقع المدفن ومعبرة عنه حيث يعتمد تصميم منشآت إدارة المياه السطحية والرشيح بشكل أساسى على هذه المعلومات وتشمل البيانات المناخية الهامة ما يلي :

- هطول المطر (الترسيب)
- البخر
- درجة الحرارة
- اتجاه الرياح

٢-٣ التعرف على اللوائح التنظيمية والمقاييس التصميمية المحلية

وتشمل اللوائح التنظيمية والمقاييس التصميمية لإنشاء المدافن على سبيل المثال لا الحصر التغطية والمسافة الفاصلة عن المساكن والطرق والمياه السطحية والمطارات ومراقبة مقاييس الجودة النوعية للمياه الجوفية وقوانين البناء ومحتويات طلبات الحصول على التراخيص مما يستدعى التشاور مع الوزارة (الإدارة) المعنية.

٢-٤ تطوير المخطط التصميمي للموقع Site Layout Development

ويتأثر المخطط التصميمي للموقع بجيولوجية الموقع ويبدأ المخطط التصميمى للموقع بمعلومات جيوتقنية وتشمل بيانات عن جيولوجية الموقع المحيط فضلاً عن دراسة مياه وتربة الموقع المحيط. ويتم جمع هذه البيانات عادة خلال عملية انتقاء الموقع مع استيفائها خلال التحقيق التالى ويتم عمل رسم تخطيطى يشمل بيانات حفر التربة وغيرها من البيانات التى تصف التكوينات تحت السطحية وظروف المياه الجوفية وذلك لتفسير الظروف تحت السطحية فى الموقع موضع التخطيط.

وتساعد بيانات حفر التربة على تبيان مدى استكمال كل تكوين ما بين ثقوب الحفر فضلاً عن الأعماق إلى الأساس الصخرى ومنسوب المياه الجوفية. كما يتطلب الأمر العديد من الحفر والمقاطع العرضية الإضافية على مسافات إحداثية منتظمة فى عدة اتجاهات (اتجاهين بحد أدنى) لتحديد موقع منطقة التخلص بشكل مناسب بداخل الموقع قيد التطوير.

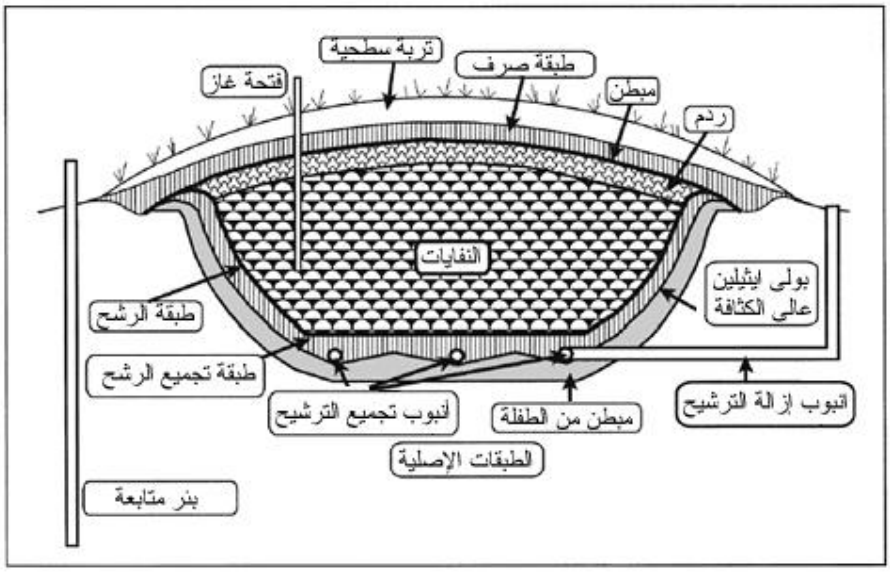
٢-٥ تصميم منطقة الدفن

ويتطلب تصميم جبهة العمل أخذ التالي في الاعتبار:

- أسلوب الدفن
- طول وعمق وعرض الخلية وعمق المدفن وسمك الطبقة المبطنة والغطاء المؤقت وسمك التربة وسمك غطاء التربة النهائى
- سمات التشغيل مثل استخدام تربة التغطية وأسلوب وضع الغطاء والحاجة إلى تربة من خارج الموقع والمعدات المطلوبة ومتطلبات الأفراد.
- الكمية اليومية (طن / يوم) وحجم حركة المرور (مركبة / يوم) ومعدات المدفن

٣- السمات التصميمية

يوضح الشكل رقم (١) أهم السمات التصميمية التي يجب توافرها في مدافن المخلفات.



شكل (١): قطاع عرضي مبسط لمدفن نفايات يبين مختلف أوجه تصميم المدفن

٣-١ التحكم في الرشيح

يعتمد تولد الرشيح على توفر الماء وظروف سطح المدفن وخصائص النفايات وخصائص التربة التحتية (Sharma and Sangeet 1994)

وتُصنف المدافن حسب إمكانية تولد الرشيح إلى نوعين هما :-

- مدافن ذات تولد ظرفى أو مؤقت للرشيح
- مدافن ذات تولد ملحوظ للرشيح

والتولد المتقطع للرشيح هو نتيجة لفترات مطيرة بشكل غير معتاد أو لسوء الصرف بالموقع وفى هذه الحالة يتم التحكم فى الرشيح بوسائل اقتصادية أخرى بدلاً من تركيب نظام مكلف لإدارة الرشيح وعلى الجانب الآخر ففى حالة تولد كميات مؤثرة من الرشيح يمثل نظام إدارة الرشيح حداً أدنى للمتطلبات فى تصميم المدفن.

ولتقرير ما إذا كان المدفن سيولد كميات مؤثرة من الرشيح من عدمه نستخدم المعادلة التالية (B=R-E)

حيث (B) التوازن المناخى المائى

(R) المطر

(E) البخر من السطح المغطى للمدفن

وبالنسبة للمناطق شديدة الجفاف نتجاهل الماء المنطلق من سطح المدفن كما نفترض بالمثل أن سعة تخزين النفاية للرطوبة (الماء) = صفر حيث أن النفاية ليست نفاية بلدية وإنما نفاية صلبة خطرة لاتحوى الكثير من المواد العضوية.

وتحسب (B) عن الموسم المطير فى السنة الأكثر مطراً فإذا كانت قيمة (B) موجبة لأقل من سنة على مدى الخمس سنوات التى يوجد عنها بيانات متاحة نعتبر أن المدفن يولد الرشيح بشكل متفرق ومتناثر ويصنف الموقع (B^-).
أما إذا كانت (B) موجبة لأكثر من عام على مدى الخمس أعوام التى يوجد عنها بيانات متاحة نعتبر أن المدفن يولد كميات مؤثرة من الرشيح ويصنف الموقع (B^+).
(راجع البرنامج الحاسوبى لتقييم الميزان المناخى المائى وحسابات أخرى

٣-١-١ إمكانيات تكون الرشيح في مدافن نفايات المناطق شديدة الجفاف

نظراً لأن كمية الرشيح المتولد فى المدافن الواقعة فى المناطق شديدة الجفاف هو أقل بشكل عام من المناطق الأكثر مطراً، يعد مصممو المدافن نماذج تصميمية بناء على افتراض إمكانية الاستغناء عن تركيب نظام تجميع الرشيح وحتى عن المبطن القاعى و يزعم مصممو المدافن -عن خطأ- أن المدافن الواقعة فى المناطق شديدة الجفاف لا تولد رشيحاً وهى مزاعم كثيراً ما تقوم على تحليل غير سليم للتوازن المائى بالنسبة للمدفن الذى يتم فيه حساب صافى التدفق المائى السنوى وعادة ما يكون اتجاه التدفق المائى السنوى الصافى فى المناطق شديدة الجفاف من الطبقات السطحية للتربة إلى الغلاف الجوى (Lee *et al* 1995) ومع ذلك فحتى المناطق التى تتلقى فى المتوسط بضعة مليمترات من المطر فى العام تمر بفترات زمنية تسقط عليها فيها كميات كبيرة من المطر على مدى فترة زمنية قصيرة وخلال هذه الفترة الزمنية نجد انتقالا لكميات مؤثرة من المطر الساقط على سطح التربة إلى المياه الجوفية وهو أمر يمكن أن يكون سبباً مؤثراً للغاية فى حدوث تلوث فى المياه الجوفية (Lee *et al* 1995).

وهناك خطأ آخر يرتكب كثيراً خلال تحليل إمكانية تسبب مدفن نفايات خطرة فى تلوث المياه الجوفية بالمناطق شديدة الجفاف هو افتراض ضرورة تجاوز سعة استيعاب أو احتواء الماء بالنسبة للنفايات قبل حدوث توليد للرشيح وهو منهج يتجاهل هطول الأمطار العرضى والنقل غير المشبع لمكونات مشتقة من الرشيح بداخل النفايات ونظام مستودعات الماء الجوفى فوق منسوب المياه إذ يمكن أن يحدث انتقال لمكونات النفايات الخطرة بسرعة فى النفايات وفى مستودعات المياه الجوفية دون تجاوز سعة استيعاب الماء بالنسبة للنفايات المرتبطة بالنقل غير المشبع (Lee *et al* 1995).

٣-١-٢ معايير تصميم نظام تجميع وإزالة الرشيح (LCRS)

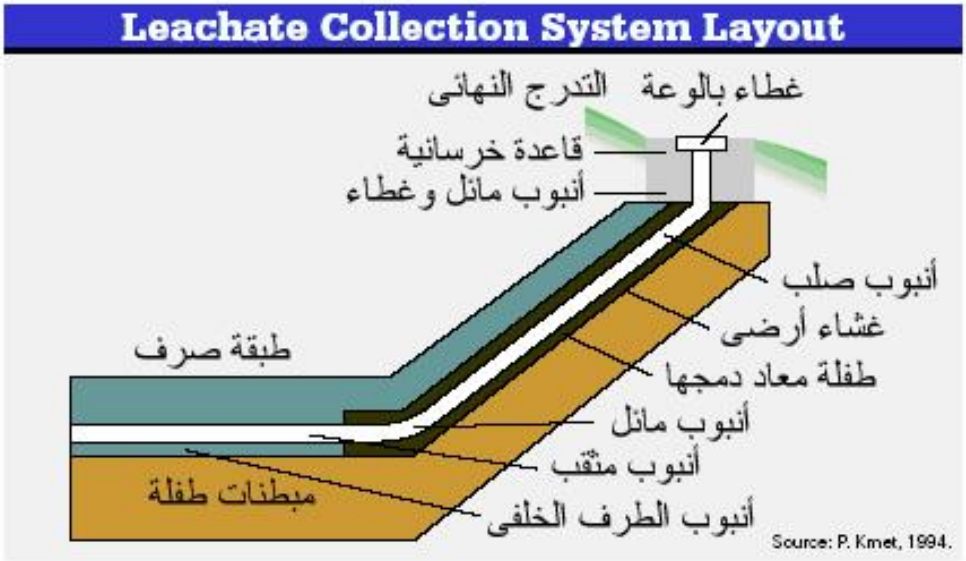
عندما يكون تركيب نظام تجميع وإزالة الرشيح ضرورياً فلابد أن تُحدد سعته تبعاً لحساب التوازن المائى المناخى أو لأى أسلوب هندسى مقبول آخر. ولابد أن يشتمل نظام إدارة الرشيح على نظام رصد و مراقبة بحيث يقع على أقل ارتفاع فى منطقة المدفن وخلالها لمراقبة أى تصاعد أو تراكم للرشيح كما ينبغى بالإضافة لذلك أن تكون وحدات التنظيف جزءً من النظام. ولا بد أن يشتمل تصميم النظام إعداد توازن مائى ومضخات وأنابيب ذات أقطار كافية لإزالة الرشيح والسماح بالتنظيف كما ينبغى تصنيع الأنابيب والتجهيزات من مادة مقاومة للإجهادات الميكانيكية والحيوية والحرارية والكيماوية والتى قد تحدث فى بيئة المدفن (بما فى ذلك الهبوط) أو التى قد يتسبب فيها الرشيح كما ينبغى استخدام المرشحات (الفلاتر) لتفادى انسداد الأنابيب. ولابد أن يستوفى نظام تجميع وإزالة الرشيح المعايير التالية :-

- طبقة صرف حبيبى نسبة الدقة أو الدقائق المئوية ٥% تمر خلال منخل ٢٠٠.

- النفاذية الهيدروليكية لطبقة الصرف الحبيبى : ١٠X١$^{-٢}$ سم/ ثانية
- ينبغى أن تتكون مادة الصرف الحبيبى من حصى مستدير أو صخر غير حاد الأحرف خالى من الكربونات
- أنبوب جمع الرشيح بقطر ٦ بوصة كحد أدنى
- الحد الأدنى لميل أنابيب التجميع : ١% بعد الهبوط المتوقع ويتطابق مع المواصفات الخاصة بتصميم أنابيب المجارى (ميل كافى للمحافظة على سرعة التدفق)
- الحد الإدنى من الانحدار لطبقة صرف الرشيح ٢% بعد ثبات هبوط الأساس
- غرفة التنظيف (التفتيش) لابد أن تكون متوافقة مع معدات التنظيف المتاحة وكحد أدنى ولابد من توفير حيز تنظيف عند نهايتى جميع أنابيب تجميع الرشيح وكيعان الكنس لسهولة تنظيفها

وقد أوصت إدارة الجودة النوعية للبيئية بولاية أوريجون بالإجراءات التصميمية التالية لنظام تجميع وإزالة الرشيح (DEQ 1998):

- إعداد رسوم مصغرة حسب مقياس رسم محدد لمخطط نظام تجميع الرشيح شكل (٢) وتفاصيل الإنشاء
- تُحدد خواص وخصائص ومعايير أداء طبقات الصرف الحبيبى بما فى ذلك التجانس و نوعية التربة والتوزيع الحجمى للحبيبات والحد الأقصى لحجم (مقاس) الحبيبات والنسبة المئوية القصوى التى تمر خلال منخل رقم ٢٠٠ والسمك والنفاذية الهيدروليكية المقاسة ميدانياً
- تُحدد خواص وخصائص ومعايير أداء طبقات الصرف الصناعية بما فى ذلك نوع البوليمر (polymer) أو اللدائن المستخدمة و مدى سماحتها لانتقال السوائل ودلائل التوافق الكيماوى
- تُحدد المتطلبات الخاصة لمادة الصرف الجيو صناعية (Geosynthetic) لتحدد الخواص المسموح بها
- تُحدد خواص وخصائص أى طبقات صرف حبيبية بما فى ذلك تصنيف التربة الموحدة وتوزيع أحجام الحبيبات والسمك
- تُحدد خواص وخصائص الطبقات الجيو صناعية (Geosynthetic) المستخدمة سواء فى التحكم فى الصرف أو حماية المبطن ثم بواسطة التحليل يتم تحديد الخواص المسموح بها للحماية أو طبقات الصرف
- يُوصف الترتيب و الوضع الشكلى والأبعاد والخواص الخاصة بأنابيب تجميع الرشيح ثم يُحلل سعة الأنابيب وقوتها التكوينية (البنيوية)
- التعرف على الحد الأدنى لمواصفات الانحدار (الميل) بالنسبة لطبقات الصرف والتجميع
- إعداد تصميم وحساب سعة حوض تجميع الرشيح
- إعداد تفاصيل تصميم فتحة دخول غرفة التفتيش طبقاً لقدرات معدات التنظيف
- التعرف على مكان فتحة دخول البالوعة والحد الأدنى لحيزها
- إجراء تحليل لتقيم كفاءة نظام تجميع وإزالة الرشيح



شكل (٢): مخططاً نمطياً لنظام تجميع الرشيح (المصدر: Kmet, P. ١٩٩٤)

٣-١-٣ خزانات احتواء الرشيح وأنابيب النقل

خزانات احتواء الرشيح هى خزانات تحفظية (احتجازية) متصلة بنظام أنابيب الرشيح حيث يجمع حيناً من الوقت قبل أن يتم نقله ثانية إلى وحدة معالجة الرشيح حيث التخلص النهائى أو إعادة الاستخدام. وتتمتع خزانات تجميع الرشيح بالمزيد من المزايا مقارنة ببحيرات تبخير الرشيح التقليدية أو برك تجميع الرشيح وتمثل هذه الأخيرة تهديـــداً للجودة النوعية للهواء والتربة والمياه الجوفية.

كما يمكن أن يكون لبحيرات تبخير الرشيح وبرك تجميعه آثار سلبية على التنوع الحيوى وخاصة الطيور. وعادة ما تصمم أنابيب النقل وفقاً لنفس الخطوط الإرشادية الخاصة بتصميم أنابيب المجارى التقليدية.

تصمم خزانات احتواء الرشيح وأنابيب النقل بحيث تكون:-

- مانعة لنفاذ الماء (محكمة)
- مكونة من مواد متوافقة مع كل من المدفن والرشيح
- واقعة على أساس مستوى ومستقر و ثابت
- ذات حجم كاف لتحمل نظام LCRS وممارسات إدارة الرشيح
- متماشية مع المواصفات القياسية لأنابيب المجارى وكيفية إدارتها
- يجب أن تكون الأنابيب قادرة على تحمل ظروف الخدمة والأشغالوالإجهادات

٣-١-٤ معالجة الرشيح و حيز التخزين

تصمم وحدة معالجة الرشيح و حيز التخزين لاستيفاء المعايير التالية:-

- يؤخذ فى الاعتبار السعة التخزينية المتاحة التى تعكس ممارسات إدارة الرشيح المتبعة (التى تم تبنيها)
- لابد أن تكون بطانة خزان الرشيح مماثلة لتصميم مبطنات المدفن أو تفوقها من حيث إجراءات التأمين
- لابد من تركيب نظام لاكتشاف التسرب تحت بطانة خزان الرشيح لمراقبة السوائل التى تتواجد بأعماق كبيرة بداخل تلك المخازن الاحتجازية
- لابد أن تتمتع خزانات الرشيح بخلوص كافى فوق سطح السائل (Freeboard) لاحتواء ومنع أى طفح نتيجة للعواصف العرضية

٣-١-٥ نظام معالجة الرشيح

يمكن أن يكون نظام معالجة الرشيح إماً بداخل الموقع أو خارجة.

لابد أن يصمم نظام التخلص والمعالجة لتحقيق الأهداف المرجوة طبقاً لمدى تلوث السائل الخارج (effluent) بما يلائم التصريف الطردى (التفريغ) المباشر أو المعالجة الأولية قبل التصريف إلى منشأة معالجة أخرى. يتم تصميم عملية معالجة الرشيح بناء على نتائج دراسات تصنيف الموقع ودراسة الجدوى وتقرير التصميم العام.

وعلى تصميم نظام التخلص والمعالجة الخاص بالرشيح مراعاة التالى:-

- مكونات الرشيح و معدلات التدفق
- إجراء دراسات قابلية المعالجة على رشيح خاص بالموقع تحديداً قبل الالتزام بأى عملية أو تقنية بعينها لمعالجة الرشيح
- لابد لأهداف معالجة الرشيح والمعايير التصميمية (كنوعية السائل الخارج وكفاءة المعالجة) متفقة مع متطلبات التخلص النهائى و الصرف على الشبكات العمومية
- الحاجة إلى اختبارات إضافية لتقييم تنوع الرشيح وقابليته للمعالجة

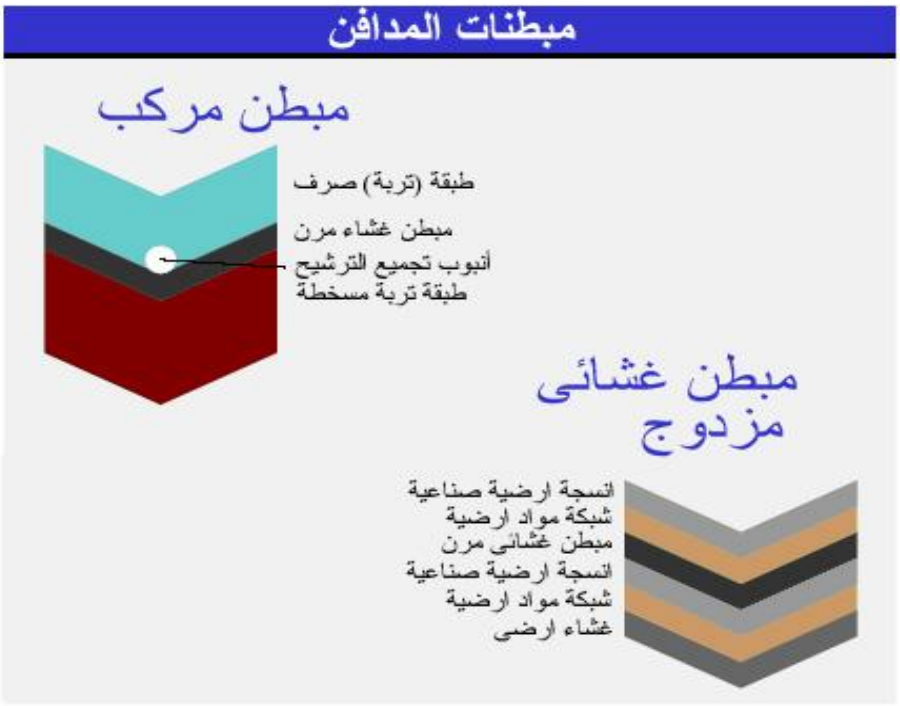
٣-٢ نظام التبطين Liner System

تصمم مبطنات المدافن لكى تقلل للحد الأدنى تسرب الرشيح إلى التربة و المياه التحت السطحية الواقعة أسفل المدفن وبهذا نستبعد إمكانية تلوث المياه الجوفية وفى ذات الوقت تحد من حركة غازات المدفن إلى خارج الموقع (Tchobanoglous and *et al*).

كما يجب أن تزود الوحدات الجديدة لمدفن النفايات الخطرة والتوسعات الجانبية للوحدات القائمة فعلاً إما بمبطن مركب أو تصميم بديل معد خصيصاً للموقع ويستوفى معايير الأداء البيئى. ولابد أيضاً أن تراعى فى وثائق تصميم نظام التبطين الاعتبارات الفنية التالية :

- معايير الأداء
- تفاصيل الإنشاء (التثبيت والاختراقات)
- خواص المواد
- الأبعاد

- انحدار القاع والجدران الجانبية
- عمليات الموقع خاصة تسلسل ملء الخلايا والترتيب الوضعى
- خواص الاحتكاك البينى لمكونات نظام المبطن
- الظروف المتوسطة مثل مستويات المياه الجوفية وخواص التربة. ولابد أن تشمل أنظمة التبطين التقليدية على مكون طبيعي (تربة) ومكون (إصطناعى) غشائى- أرضى



الشكل (٣): الأوجه التصميمية لأنظمة التبطين التقليدية
(Philip O'Leary and Patrick Walsh: 2002)

٣-٢-١ نظام المبطن: مكون البطانة الترابي Soil Liner Component

لابد أن تنشأ المبطنات الترابية من سلسلة من الطبقات المدكوكة ولتحديد سمك الطبقة فلابد من مراعاة خصائص التربة ومعدات الدك وخصائص الأساس ومتطلبات الدك ونفاذية المبطن ولابد أن يصل الدك إلى الأجزاء السفلية (الأكثر أنخفاضاً) من الطبقة لإقامة ارتباط جيد متجانس. وتعد أساليب الاختبار مثل التوزيع الحجمى للحبيبات وحدود " آتربرج " والعلاقة بين الرطوبة والكثافة ضرورية لتصنيف التربة المبطنة. ويتم تصميم المبطن الترابى طبقاً للمعايير التالية :

- النفاذية القصوى $(١٠)^{-٧}$ سم / ثانية
- يمكن التساهل بالنسبة للمناطق شديدة الجفاف
- السمك المدمج الأدنى ٦٠سم على الأقل
- حدود " آتربرج " معامل المرونة ١٠%

- النسبة المئوية للحبيبات : ٥٠% تمر خلال غربال رقم ٢٠٠
- النسبة المئوية للمادة الخشنة : يحتجز غربال رقم (٤) ١٠% منها
- الحجم الجسيمى الأقصى بما فى ذلك الكتل الطينية يتراوح من ٢,٥ إلى ٥سم

٣-٢-٢ مكون الغشاء الأرضي (الجيولوجي) للمبطن Geomembrane Liner Component

تعد مواصفات الغشاء الأرضى (الجيولوجى) متطلباً ضرورياً للتعرف على وظيفة الغشاء الأرضى ولتحديد الخواص المطلوبة فى الغشاء الأرضى لكى يؤدى وظيفته المقصودة ولتحديد أثناء الخدمة (مقاومة تغيرات درجة الحرارة والإشعاعات فوق البنفسجية والرشيح والإجهاد الميكانيكى).

و يجب أن يُصمم الغشاء الأرضى (الجيولوجى) لمبطن المدفن بحيث يستوفى المعايير التالية :-

- يُركب غشاء البولى – إثيلين العالى الكثافة (HDPE) بسمك (١٥,٠سم) كحد أدنى بحيث تكون على اتصال مباشر و منتظم مع المبطن الترابى الواقع أسفلها. يمكن النظر فى مبطنات غشائية أرضية أقل سمكاً أو حتى الاستغناء عنها بالنسبة للمدافن بالمناطق شديدة الجفاف تبعاً لإمكانية تكوين الرشيح
- لابد أن يكون الغشاء الأرضى متوافقاً كيماوياً مع الرشيح وغاز المدفن وغيرها من الظروف البيئية المتوقعة داخل المدفن
- لابد أن يكون الغشاء الأرضى متوافقاً فيزيقياً مع خواص التربة الوسيطة المقترحة وخواص الملء و الردم
- لابد أن يكون الغشاء الأرضى قادراً على تحمل ومقاومة الاجهادات المتوقعة على المدى القصير والطويل نتيجة لإنشاء وتشغيل المنشأة
- لابد من التقليل لأدنى حد ممكن من عدد اختراقات الأنابيب و آبار الرصد خلال الغشاء الأرضى
- لابد أن تكون الخواص الاحتكاكية للغشاء الأرضى متوافقة مع غيرها من مكونات النظام المبطن وذلك للتقليل إلى الحد الأدنى من الإجهادات الميكانيكية على أى مكون

ونورد فيما يلى الإجراء الشائع لتصميم مبطنات الأغشية الأرضية:-

- تحدد معايير الأداء والخواص الطبيعية (الفيزيقية) للأغشية الأرضية والأغشية الأرضية الصناعية المرتبطة بها.
- تحديد خواص الغشاء الأرضى المقبولة
- تحليل استقرار وثبات النظام المبطن فى المناطق المنحدرة جانبياً
- تحليل انسياب الغشاء الأرضي أو متطلبات إنحنائة اوتثبيتة مع إعداد تفاصيل التصميم
- إعداد تفاصيل تصميم أحواض التجميع واختراقات الأنابيب والوصلات الميكانيكية..... الخ
- تحديد متطلبات توكيد الجودة الإنشائية (CQA) ومراقبة الجودة الإنشائية (CQC)

٣-٢-٣ إمكانية الانتفاع بالمبطنات الغشائية المرنة (FML) في منطقة شديدة الجفاف

قد يتسبب ارتفاع درجات الحرارة غير الاعتيادى خلال فصل الصيف (أكثر من ٥٧° مئوية) فى المناطق شديدة الجفاف فضلاً عن التغير فى الطقس خلال فصل الشتاء فى تحولات تطرأ على خواص الغشاء الأرضى ولهذا فلابد من الحفاظ على سلامة الغشاء الأرضى على مدى العمر التصميمى للمدفن. وتتكون المبطنات الغشائية المرنة (FML) من بلاستيك تم تطويره من عدة أنواع من البوليمرات وتشكيلة واسعة من الإضافات لإضفاء خواص خاصة على المبطن.

وفيما يلى سنورد الأنواع الرئيسية للمبطنات الغشائية المرنة (Forseth and Kmet, 1983) :-

- مطاط البيوتيل (Butyl Rubber)
- البولى – إثيلين المكلور Chlorinated Polyethylene (CPE)
- كلورو سلفونيتيد بولى – إثيلين Chloro-Sulphonated Polyethylene (CSPE)
- البولى أليفين المرن Elasticized Polyolefin (ELPO)
- مطاط إثيلين – بروبلين
- نيوبرين Neoprene
- بولى – إثيلين منخفض الكثافة (LDPE)
- بولى - - إثيلين عالى الكثافة (HDPE)
- بولى فنيل كلوريد (PVC)

وفيما يلى العوامل الرئيسية التى ينبغى أخذها فى الاعتبار عند إختيار الغشاء

- مقاومة التعرية
- توافق التربة
- مقاومة الهجوم الحيوى
- الملائمة الفيزيائية
- التوافق مع النفاية

يعد مصدر القلق الرئيسي فيما يتعلق بالمبطنات الغشائية هو ما إذا كانت تستطيع الحفاظ على نفاذيتها المنخفضة طوال عمر المدفن إذ يمكن أن تزداد النفاذية بسبب تمزق أو تهالك (تكسر) الغشاء وهو ما يتفق مع بيان Merry Bray (١٩٩٧) ومفاده أن من المتوقع تشوه المبطنات الغشائية نتيجة هبوط المادة الواقعة أسفلها فضلاً عن تعرضها لظروف التعرية أثناء الإنشاء وهى أيضاً عرضة للضوء فوق البنفسجى ولدرجات الحرارة القصوى المحتملة وهو الأمر الذى يمكن أن يسبب تهالك المبطن وعلى مواد المبطن المختارة أن تقاوم تلك الآثار أو يتم تغطيته بطبقة من التربة.وقد تتسبب بعض مكونات التربة فى تهالك وانحطاط المبطنات الغشائية (Forseth, and Kmet 1983) وتشمل تلك المكونات أكاسيد الفلزات والمركبات الكلوريدية والكبريتية والمركبات العضوية والتربة الحمضية والمركبات المصنعة أو المخلقة من المنتجات البترولية (النفطية)

فإذا كانت تربة الموقع تحتوى تلك المركبات بمستويات غير عادية أو إذا كان الأس الهيدروجينى pH <٥ فلابد من إزالتها أو تغطيتها كما يمكن استخدام أغشية مقاومة لتلك التأثيرات.

وتشمل الخواص الفيزيقية التى لابد أن يتمتع بها المبطن الغشائى ما يلى :-

- قوة توتر (شد) كافية
- مقاومة التمزق والتثقيب التسييل/التمدد
- سمك كافى
- خواص استطالة كافية
- قوة عالية عند خطوط الالتئام (التدرز)
- نفاذية منخفضة
- أساس خطوط الالتئام الميدانية

الحد الأدنى المطلوب بالنسبة لسمك المبطنات الغشائية هو ٢ ملم لأن الأغشية الأكثر سمكاً رغم كونها أقوى وأكثر مقاومة للانحلال الكيماوى إلا أنها أكثر تكلفة وبالتالى فلابد من اتخاذ القرارات الخاصة باستخدام مبطنات أكثر أو أقل سمكاً من الحد الأدنى المطلوب فى كل حالة على حدة وبعد دراسة كل موقع تحديداً. وقوة خط الالتئام بالغة الأهمية حيث أنها هى غالباً الحلقة الضعيفة فى بنية المبطن. ولابد أن يشتمل إختيار مبطن النظر فى الأساليب الفنية لخطوط الالتئام الميدانية ففيما يوصى المصنعون بالأساليب الفنية لربط الصفائح (الألواح) الغشائية إلا أنها أساليب لابد من تقييمها للتأكد من توافقها مع الظروف الميدانية المتوقعة. وتشمل المشاكل الشائعة الحدوث القيود الخاصة بدرجات الحرارة ووجود الأتربة والغبار فى موقع العمل (الميدان).

٣-٣ نظام التغطية النهائي

تصمم أنظمة التغطية للتقليل إلى الحد الأدنى من تولد الرشيح وذلك بالتقليل إلى الحد الأدنى من ترشح الماء من المطر الساقط وبالحد من الإطلاق غير المحكوم لغازات المدفن والحد من تولد حاملات الأمراض من الحشرات (Sharma and Sangeeta).

وتتكون أنظمة المبطن والتغطية من مكونات مختلفة تخدم أسلوب تصميم المدفن. وتشمل القضايا التصميمية الهامة الأخرى المتعلقة بتصميم الغطاء النهائى احتواء غازات المدفن والسيطرة عليها بالإضافة للهبوط والتآكل ومتطلبات الصيانة طويلة المدى وثبات (استقرار) المنحدر. ولابد أن يستوفى تصميم نظام التغطية النهائى المعايير التالية :-

- الانحدارات الدنيا ٢% والقصوى ٣٠%
- التكيف مع الهبوط المتوقع
- احتواء غاز المدفن ودعم جهود جمع واستعادة الغاز
- التقليل من التآكل إلى الحد الأدنى
- التقليل إلى الحد الأدنى من ترشح الماء السطحى
- الحفاظ على الثبات (الاستقرار) على المنحدرات الجانبية
- تجميل الموقع

❖ يصمم نظام التغطية النهائى بأتباع الإجراءت التالية

- إعداد مقاطع عرضية نمطية لتصميم نظام التغطية بالنسبة للقمة والمنحدر الجانبى

- استخدام (كلما كان ذلك متاحاً) النسخة الأحدث لبرنامج الحاسوب للتقييم المائى لأداء المدفن (HELP) الصادر من وكالة حماية البيئة الأمريكية وذلك لتقدير الترشح
- تحليل ثبات المنحدر
- تحليل الهبوط المحتمل

❖ توصيف كل طبقة من نظام التغطية بما فى ذلك

- طبقة الأساس
- الطبقة منخفضة النفاذية
- طبقة الصرف
- الطبقة الحامية (الواقية)
- طبقة التربة السطحية
- الطبقة الخضراء

٣-٣-١ طبقة الأساس

تعمل طبقة الأساس كقاعدة إما لطبقة تربة منخفضة النفاذية وإما لطبقة غشائية أرضية ولابد لطبقة الأساس أن تتحمل وتحمى الغطاء خلال مرحلة الإنشاء وبعدها.

٣-٣-٢ طبقة منخفضة النفاذية

تصمم الطبقة منخفضة النفاذية لتقلل للحد الأدنى من ترشح الرطوبة (الماء) ولتحسن من احتواء غاز المدفن والسيطرة عليه وللتكيف مع ظروف بيئية وفيزيقية خاصة بالموقع تحديداً. ويبدو تخزين رطوبة (ماء) التربة واستخدام البخر والنتح لتخفيض تولد الرشيح أمر بالغ القيمة فى المناطق شديدة الجفاف خصوصاً كما أن لزيادة عمق التربة والسعة المائية المتاحة آثار ملموسة على التوازن المائى لأنها تجعل النتح والبخر الفعليين يقتربان من المعدلات العالية المعتادة بالنسبة لهذا المناخ.

٣-٣-٣ الطبقة الحاملة لصرف المياه السطحية Drainage Layer

تصمم طبقة الصرف لتقلل إلى الحد الأدنى من الترشح وتولد الرشيح ومشاكل ثبات المنحدرات والتآكل ولتحسين إمكانية حركة معدات الصيانة. وتصمم طبقة صرف نظام التغطية النهائى بإتباع الإجراءات المذكورة التالية:

- تُحدد خواص ومعايير أداء طبقات الصرف الحبيبى بما فى ذلك تصنيف التربة الموحد والتوزيع الحجمى للحبيبات وأقصى حجم للجسيمات والنسبة المئوية القصوى التى تمر خلال منخل رقم ٢٠٠ والسمك والنفاذية الهيدروليكية
- تُحدد خواص ومعايير أداء طبقات الصرف الأرضية الاصطناعية بما فى ذلك نوع البوليمر وقابلية النقل
- تحديد خواص طبقات المرشح الحبيبى بما فى ذلك تصنيف التربة الموحد والتوزيع الحجمى للحبيبات والسمك
- تُحدد خواص الاغشية الأرضية الصناعية المستخدمة فى الطبقات الواقية وطبقات الترشيح
- يُحلل أداء طبقة الترشيح
- تُحدد تشكيل وأبعاد وخواص نظام أنابيب التجميع

- يُطور تصميم المصرف الخارج
- يُحلل أداء طبقة الصرف

٣-٣-٤ الطبقة الواقية Protective layer

قد تستخدم طبقة تربة إضافية لحماية الطبقات منخفضة النفاذية من التلف الفيزيقى (الطبيعى) أو البيئى. يتم تحديد أبعاد وخصائص الطبقة الواقية بما فى ذلك تصنيف التربة الموحد والتوزيع الحجمى للحبيبات والسمك والنفاذية والحجم الأقصى للحبيبات. إذا وضعت الطبقة الواقية فوق طبقة الغشاء الأرضى مباشرة فلابد أن تستوفى الطبقة الواقية المعايير التالية :

- توفير عمق للجذور النباتية وتخزين مائى كافيين للنبتات المختارة.
- حماية الطبقة منخفضة النفاذية من اختراق الجذور والتجفيف والجفاف.
- حماية الطبقات الأرضية الاصطناعية من الثقب والتلف الفيزيقى أو الطبيعى.

٣-٣-٥ طبقة التربة السطحية Topsoil layer

الوظيفة الأولية لطبقة التربة السطحية تتمثل فى توفير وسط نموذجى أو مثالى لنمو النباتات المرغوبة. ويمكن تعديل طبقة التربة السطحية بنفايات الخشب أو الحماءة أو بالسماد فى حالة وضعه بمعدلات زراعية سليمة و بطريقة ملائمة و على ألا تُسبب تعديلات التربة تلك روائح كريهة أو ملوثات محمولة جواً ومشاكل تمس نوعية المياه السطحية ولابد من تحديد خصائص التربة السطحية بناء على تحليل دقيق ومتمهل للبدائل النباتية والمتطلبات التسميدية.

٣-٣-٦ طبقة الإستنبات Vegetative layer

والوظائف الأساسية للغطاء النباتى هى التقليل إلى الحد الأدنى من تعرية التربة والصيانة طويلة المدى وزيادة البخر والنتح إلى الحد الأقصى. ولابد أن تكون الطبقة الخضراء متوافقة مع مكونات نظام التغطية الأخرى وسهلة الصيانة. ولابد أن تتوافر فى النباتات المراد زرعها المعايير التالية :-

- أن تكون قصيرة و سطحية الجذور
- متوافقة محلياً
- مقاومة للجفاف ودرجات الحرارة القصوى
- قابلة للازدهار أو النمو فى تربة منخفضة العناصر الغذائية مع الحد الأدنى من الإضافة الغذائية
- كثيفة النمو بحيث تقلل إلى الحد الأدنى من تعرية التربة (الحد المقبول لايزيد عن ٢طن / فدان / عام)
- قابلة للبقاء والقيام بوظيفتها فى ظل صيانة محدودة أو معدومة

٣-٣-٧ بديل الطبقة الاستنباتية (الغطاء النباتي) Alternative to vegetative layer

قد لا تكون الطبقة الاستنباتية متوافقة مع الظروف المناخية للموقع أو مع خطة استخدامه النهائية. فإذا بدأ التخطيط لطبقة بديلة لابد من تقييم تعرية التربة ومتطلبات الصيانة طويلة المدى والتوافق مع مكونات نظام التغطية الأخرى. ولابد للمادة المحددة أن :

- تتكيف مع الهبوط دون تأثر وظيفتها سلباً

- تعمل على تحسين الانحدار الإيجابى لدعم الصرف السطحى بعيداً عن الغطاء
- أن تكون ثابتة ومقاومة للتعرية أثناء المطر البالغ الغزارة و الرياح البالغة القوة
- تحد من تعرية التربة بحيث لا يزيد عن ٢ طن / فدان / عام

٣-٣-٨ التصميم النمطي لنظام التغطية

ويتكون نظام تغطية مدافن النفايات الخطرة الذى أوصت به وكالة حماية البيئة الأمريكية فى توجيهها الصادر عام ١٩٨٩ من التالى : -

- طبقة سطحية ذات مكونين هما :-

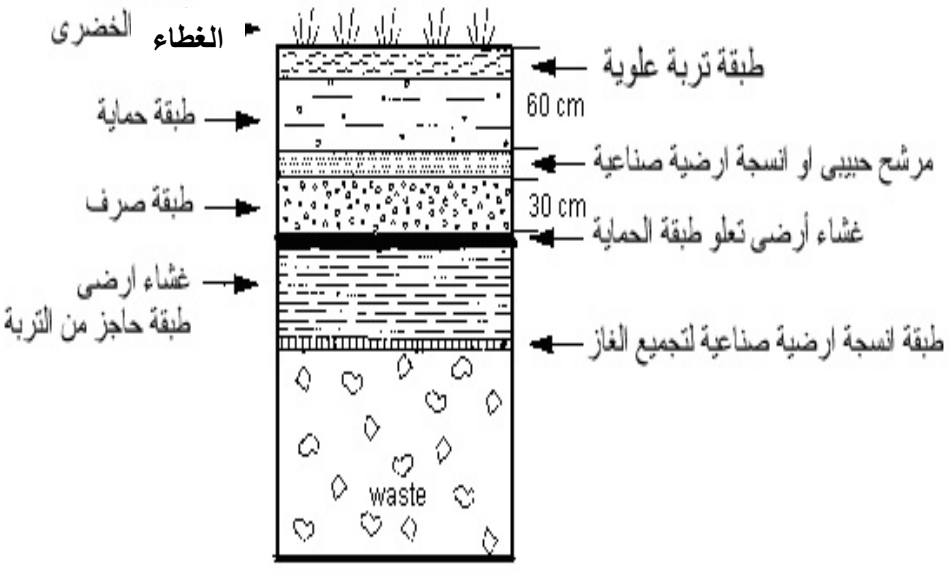
١. سطح استنباتى يتم اختياره للتقليل إلى الحد الأدنى من تعرية التربة ولتحسين الصرف بعيداً عن الغطاء (قدر الإمكان)

٢. طبقة ترابية بسمك لا يقل قدره عن ٦٠سم (٢٤بوصة) يشتمل على تربة سطحية أو تربة حشو (ملء) حسبما اتفق - بحيث ينحدر سطحها بانتظام بمقدار ٣% على الأقل على ألا يزيد عن ٥ %

- إما طبقة صرف حصوى (ومبطن غشائى مرن كطبقة واقية) بسمك لا يقل عن ٣٠سم (١٢ بوصة) ونفاذية هيدروليكية دنيا قدرها (١٠)$^{-٢}$ سم/ ثانية مما يقلل عملياً الحد الأدنى من الرشح المائى داخل الطبقة المنخفضة النفاذية وانحدار نهائى قدره ٣% على الأقل بعد الهبوط والرسوب أو طبقة صرف مكونة من مواد أرضية اصطناعية بخصائص أداء معادلة
- طبقة منخفضة النفاذية مركبة من طبقتين وتقوم بالتقليل للحد الأدنى من رشح الماء إلى النفايات الواقعة بأسفل وتتكون من :-

١. طبقة مبطن غشائى مرن بسمك لا يقل عن ٢٠مل (٠,٥ ملم)

٢. طبقة ترابية مدكوكة بسمك أدنى قدره ٦٠سم (٢٤ بوصة) وبنفاذية موضعية مشبعة قدرها (١٠)$^{-٧}$ سم / ثانية



شكل (٤):قطاع يبين الطبقات المختلفة فى نظام نموذجى لغطاء المدفن

المصدر: Landfill Cap: Environmental Expert article نشر فى أكتوبر ١٩٩٧

ويلخص الجدول رقم (١) سمك وانحدار ومواصفات تصميم نظام تغطية نهائى نمطى (DEQ 1998)

الطبقة	المادة الإنشائية	السمك	الانحدار	المواصفات
الطبقة السطحية	عضوية	١٥سم	---	مقاومة للجفاف (القحط) ومتكيفة مع الظروف المحلية وقصيرة الجذور
	تربة داعمة علوية	٤٥سم	≥٢%	معدل التعرية < ٢طن / فدان / عام)
طبقة الصرف	تربة (خليط من رمل وحصى)	≥ ٣٠سم	≥٢%	نفاذية التربة <$١٠^{-٢}$سم/ثانية
	أرضية اصطناعية	متغير	≥٢%	الأداء معادل النفاذية الهيدروليكية للتربة > ٣ X $١٠^{-٥}$م٢/ثانية
طبقة منخفضة النفاذية	غشاء أرضى	≥ ١,٥ ملم	≥٢%	لأنواع أخرى للمبطنات الغشائية المرنة على أن يكون سمكها ٠,٥ ملم على الأقل.
	تربة منخفضة النفاذية		≥٢%	النفاذية المؤثرة أقل من $١٠^{-٦}$ سم/ثانية.

٣-٤ التحكم فى الغازات Gas Controls

نظراً لأن مدافن النفايات الخطرة تعريفاً تحوى قدراً يمكن تجاهله (لا يذكر) من النفايات العضوية فان إمكانية حدوث إنبعاثات غازية محدود، ومع ذلك فإن خلط فئات النفايات المختلفة ممارسة شائعة. إذ تختلط النفايات الخطرة سواء عن قصد أم عن غير قصد بالنفايات البلدية الصلبة فى العديد من ممارسات التخلص من النفايات وخاصة فى البلاد النامية. وقد تختلط النفايات البلدية بدرجة أقل مع النفايات المصنفة كنفايات خطرة ولهذا السبب فإن استبعاد النفايات البلدية و/أو العضوية ليس مضموناً وبالتالى فإن الإنبعاثات الغازية احتمال وارد. ولابد لأى مصمم لمدفن للنفايات الخطرة فى بلد نامى أن يأخذ فى اعتباره هذه الممارسة الشائعة. وفى ضوء هذا الفرض فلابد من إقامة نظام لاستعادة وإدارة الغازات لأغراض تحفظية وخاصة فى حالة تجاوز سعة المدفن الكلية ١٠٠,٠٠٠ طن. وبالنسبة للمدافن التى تتجاوز سعتها الكلية هذه القيمة يتم إجراء تقييم للإنبعاثات المحتملة لغاز الإستصباح (الميثان) والمركبات العضوية اللإستصباحية (الغير- ميثانية) (NMOC.'S) وفى حالة انبعاث المركبات العضوية الغير إستصباحية بمقدار يتجاوز أو يتوقع تجاوزه ١٥٠طن/سنة يصبح إقامة وتشغيل أنظمة لاستعادة وإدارة غازات المدفن أمراً واجباً.

وحيثما أقيم نظام لاستعادة وإدارة الغازات فلابد من تجنب تسريب الغازات التى تم جمعها إلى الهواء مباشرة مع تشجيع الاحتراق حتى ولو بالترميد أو الإشعال وتفضيله على التسريب المباشر إلى الغلاف الجوى وذلك لتخفيض الروائح الكريهة وإنبعاثات غازات الاحتباس الحرارى.

ولابد أن يتكيف أى تصميم لنظام تحكم فى غازات المدفن مع نطاق واسع من المتغيرات البيئية والتشغيلية ومقاومة وتحمل الظروف الطبيعية والبيئية القاسية بحيث يؤدى وظيفته طالما كان ذلك ضرورياً. ولابد أن تكون التقنيات المطبقة فى نظام التحكم فى غازات المدافن ملائمة ومحققة للمتطلبات التالية:-

- مرنة من حيث التشغيل
- سهلة الإنشاء والتعديل
- متينة (فيزيقياً وكيماوياً)
- سهلة المراقبة
- سهلة الصيانة والإصلاح

ولابد أن يستوفى تصميم نظام التحكم فى غازات المدفن المعايير التالية :-

- التعامل مع أقصى معدل للتدفق الغازى تم التنبؤ به بالنسبة للمدفن
- التكيف مع التنوع فى تولد الغازات ومركباتها وغيرها من المتغيرات
- التوسع حسب الحاجة لتجميع الغاز من الخلايا المستقبلية

٣-٥ التحكم في المياه السطحية

لابد أن يستوفى تصميم نظام التحكم فى الماء السطحى المعايير التالية:-

- منع التدفق السطحى مع بداية التشغيل على الأجزاء المستغلة أو غير المستغلة من المدفن (بافتراض حساب أعلى كمية مياه من السيول العاصفة التى يمكن أن تحدث مرة واحدة كل خمسين سنة)

- جمع الماء المتدفق من الأجزاء العاملة وغير العاملة من المدفن والسيطرة عليه (بافتراض حدوث سيول عاصفة تدوم ٢٤ ساعة و التى يمكن أن تحدث مرة واحدة كل خمسين سنة)
- التطابق مع أدلة صرف مياه العاصفة
- التحكم فى نقل الرواسب وإزالة المواد الصلبة العالقة كلما كان ذلك ضرورياً
- جمع مياه العاصفة الملوثة بالرشيح التى تتراكم فى مناطق المدفن النشطة والتحكم فيها
- التخزين المؤقت للماء المتدفق الزائد من تدفقات الذروة حتى يتسنى طرده بمعدل محكم و أكثر إنخفاضاً.
- التقليل للحد الأدنى من تعرية الموقع
- حماية سلامة وفعالية نظام تغطية المدفن
- التقليل للحد الأدنى من متطلبات الصيانة بعد الإغلاق

٣-٦ طرق الوصول المؤدية

يعتبر وجود طريق ملائم جيد الإنشاء والصيانة للدخول و الخروج من وإلى الموقع بالإضافة إلى نظام طرق داخل موقع المدفن قادر على تحمل واستيعاب جميع المركبات التى تقوم بنقل النفايات من المتطلبات الهامة أثناء العمر التشغيلى للمدفن. ولابد من أن تكون المواصفات المختلفة والأدلة الإرشادية الصادرة عن جهاز النقل المحلى متاحة للمساعدة فى تصميم وإنشاء طرق وصول صالحة لجميع الأحوال المناخية. كما ينبغى توفير طريق وصول صالح لجميع الأحوال الجوية من الطريق العام إلى الموقع. وأن يكون ذلك الطريق مصمم ليناسب، بشكل آمن، الحجم المتوقع لحركة مرور المركبات من حارتين ذات عرض وقوة كافيين لحمل مركبات التوصيل.

يجب المحافظة على نسبة إشغال الطريق عند ٨% أو أقل كما يجب تصميم تقاطعه مع الطريق العمومى القائم بحيث يعكس متطلبات الأمان وأحجام الحركة المرورية (الدليل الأرشادى لتصميم مدافن النفايات الصلبة الصادر عن إدارة واشنطن لعلوم البيئة ١٩٨٧) كما يجب تخطيط الطرق لاستبعاد تقاطع الحركة المرورية وما ينتج عنها من اختناقات كما ينبغى توفير حيز انتظار بالقرب من أماكن الوزن وساحات انتظار لاستقبال مركبات الموظفين ومعدات المدفن.

وينتهى طريق الوصول بصفة عامة عند مواقع الوزن أو منشأة أخرى لمراقبة التوصيل. وربما يتم إنشاء طرق مؤقتة لتستغل فى نقل النفايات من هذه النقطة إلى منطقة التفريغ على أن يتم الإنشاء باستخدام تربة من الموقع مع طبقة سطحية من مادة ملائمة كالحصى أو الركام (الدبش) المهشم أو الرماد أو الخرسانة المكسورة أو نفايات الهدم كما يمكن استخدام الجير أو أسمنت بورتلاند أو الأسفلت كمادة لاصقة للحفاظ على الثبات والسيطرة على الغبار والأتربة.

٣-٧ الإحاطة بسياج (التسويج) ووضع اللوحات الإرشادية Fencing and Sign

يجب عمل سياج حول محيط المدفن للحد من إمكانية الوصول إلى موقع المدفن أما نوع وامتداد السياج فيعتمد على السمات الطبوغرافية وإن كان من الشائع استخدام السياج المجدول أو السلاسل (جنزير) لهذا الغرض. كما يجب تزويد جميع نقاط الاقتراب ببوابات ذات أقفال. يجب أن يكون المدخل مصمم بشكل جذاب فضلاً عن مساحات خضراء منسقة مع وجود لوحة إشارة فى مكان بارز للتعريف بموقع المدفن وساعات التشغيل والرسوم فضلاً عن أى قيود على مستخدمي المدفن أو المواد التى يُقبل دفنها.

٣-٨ منطقة حرم الموقع Buffer Zone

لابد أن يشمل مخطط تصميم الموقع منطقة حول محيط موقع المدفن كعازل للعقارات المتاخمة وللحد من اقتراب الأشخاص غير المصرح لهم ولمنع تلوث الموقع بالقمامة أو الغبار أو الضوضاء كما ينبغى فصل منطقة العمل بالمدفن بشكل مرئى عن العقارات والأراضى المجاورة بواسطة الخضرة الطبيعية أو باستخدام الغرسات أو السواتر الترابية والتى تقوم أيضاً بتخفيض مشاكل القمامة والضجيج والغبار.

٣-٩ المنشآت

يجب توفير مبنى للإدارة ومرافق للموظفين فى معظم المدافن إلا أن عدد ضئيل للغاية من المواقع قد لا يتطلب هذه المرافق والتسهيلات.لابد من توفير عنبر/مخزن-جراج للمعدات المستخدمة بالموقع وقد يستخدم مبنى أو سقيفة واحدة لصيانة وتخزين المعدات وكمكاتب أيضاً.

ولابد أيضاً من توفير مرافق صحية ملائمة لموظفى ومستخدمى الموقع ويمكن استخدام المراحيض الكيماوية لهذا الغرض. وقد تشمل المرافق الواجب توفيرها للموظفين فى المواقع الأكبر حجماً حماماً (دوش) وغرفة طعام. قد تكون المبانى فى المواقع التى ستستخدم لأقل من ١٠ سنوات ذات طابع مؤقت وقد تكون متحركة. لابد أيضاً أن يراعى فى تصميم وموقع جميع المنشآت حركة و اتجاه الرياح.

٣-١٠ المرافق الخدمية Utilities

تزود مدافن النفايات الخطرة بالكهرباء والماء والخطوط الهاتفية فالكهرباء لازمة لصيانة وتشغيل المعدات الموجودة فى الموقع ولأغراض الإضاءة. قد يتم تركيب مولد كهربائى بدلاً من مد خطوط الكهرباء إلى الموقع. والماء أيضاً ضرورى وبكميات كافية وتحت ضغط كاف للاستخدام فى حالة الحريق وصيانة المعدات والسيطرة على الغبار فضلاً عن ماء الشرب الذى يجب أن يكون متاحاً لأفراد الموقع كما يجب توفير هاتف أو لاسلكى للاتصالات.

٤- الفرضيات والمفاهيم البديلة والبدائل للمواد المستخدمة

أحد الأهداف الهامة لهذه الوثيقة هو تقديم مقترحات حول البدائل التصميمية وخيارات التشغيل القابلة للتطبيق فى مدافن النفايات الخطرة فى المناطق شديدة الجفاف وذلك لتحقيق الجدوى من ناحية التكلفة والأداء الناجح.

بمجرد الانتهاء من تطوير البدائل المحتملة قد يكون من الضرورى استبعاد خيارات معينة وذلك لتقليل عدد البدائل التى سيتم تحليلها. وتنطوى عملية الاستبعاد الإنتقائى الإقتصادى تقييم البدائل من حيث الفعالية وقابلية التنفيذ والتكلفة وغالباً ما تتم هذه العملية بناءاً على أسس عامة وبموارد محدودة لأن المعلومات اللازمة لتقييم البدائل بشكل كامل قد لا تكون مكتملة فى هذه المرحلة من العملية.

وجارى الآن تطوير وتبنى مناهج بديلة تسمح باستخدام مواد إنشائية وتشغيلية بديلة لمكونات معينة لنظامى التغطية النهائية والتبطين وخاصة فى المناطق شديدة الجفاف. هذا وقد قامت معامل ساندیا الوطنية الأمريكية بتنفيذ بيان عملى لغطاء مدفن بديل (ALCD) وهى تقنية قيد التطوير بغرض تحسين أنظمة تغطية المدافن الحالية. ويطرح هذا المشروع بدائل لتصميمات أنظمة تغطية المدافن المقترحة من قبل وكالة حماية البيئة الأمريكية وهى بدائل ستعمل بشكل أكثر فعالية وسهولة وأقل تكلفة عند التركيب فى الأجواء شديدة الجفاف وشبه الجافه.

وقد شهدت العملية التنظيمية الدولية على مدى العقد الماضى نضجاً ملحوظاً فيما يتعلق بإنشاء وتشغيل ومراقبة المدافن بما يسمح بالمزيد من المرونة وخاصة فى المدافن الموجودة فى مواقع نائية وفى مناطق مجدبة. وقد بدأت المحليات وأجهزة الشئون البيئية فى بعض البلدان فى التحول إلى لوائح تنظيمية أكثر مرونة قائمة على مقاييس الأداء.

ولكن تنفيذ وتطبيق مقاييس قائمة على الأداء يتطلب طاقم عمل تنظيمى قادر على مراجعة التقارير التفصيلية عن الدراسات الجيولوجية المائية والنماذج المقدمة لإثبات صلاحية نظام الاحتواء بالمدفن طبقاً للمقاييس الدولية والمحلية.
وجدير بالذكر أن المواد الإنشائية المتعلقة بمدافن النفايات الخطرة وخاصة مبطنات المدافن وأنظمة التغطية النهائية قد طراء عليها تحسن وتطور مستمر خلال العقد الماضى. ويجب الأخذ فى الإعتبار استغلال مواد ومفاهيم بديلة عند إنشاء المدافن فى المستقبل. وهذه القدرة على استخدام مواد بديلة قد توفر سوقاً لبعض النفايات المخزونة الواردة من برامج إعادة التدوير بالمجتمعات السكنية.

فمثلاً أدى استخدام كسر الزجاج لإنشاء طبقة الصرف الأولى بمدفن بمقاطعة " مديسون " بولاية نيويورك إلى توفير فى التكاليف الإنشائية يقدر بـ ٣٥ ألف دولار للفدان الواحد كما أدى استخدام نحاتة الإطارات الكاوتشوك فى تصنيع نظام تجميع وإزالة رشيح المدفن وطبقة التنفيس الغازى إلى تخفيض التكاليف أيضاً.
وتختلف المفاهيم التصميمية البديلة عن التصميمات ذات الحواجز الهيدروليكية وحدها فى تأكيدها على الآتى :-

- النفاذية الهيدروليكية غير المشبعة لمكونات التربة

- النفاذية الهيدروليكية المنخفضة لطبقة (أو طبقات) التربة دقيقة الحبيبات عند درجات التشبع العالية للتربة
- السعة التخزينية المرتفعة نسبياً للماء فى طبقة (طبقات) التربة دقيقة الحبيبات مع إزالة الماء فى وقت لاحق بواسطة البخر والنتح بشكل أساسى
- زيادة النتح من خلال استخدام نبتات متنوعة أصلية أو محلية
- سهولة الإنشاء و/ أو توفير مؤثر ملموس فى التكاليف من خلال استخدام المواد المتاحة محلياً

ونقدم فى هذا القسم الفرعى بعض المعايير البديلة التى تقوم بشكل أساسى على بعض التعديلات لتلاءم احتياجات المجتمع النمطى فى بلد نامى اقتصاديا. و هذه المعايير تعمل بشكل محدد مع القضايا بالغة الأهمية التى يجب مراعاتها فى تصميم وتشغيل ومراقبة مدافن النفايات الخطرة جنباً إلى جنب مع الموضوعات ذات الصلة. وقد قصدنا من المناهج البديلة أن نساعد المنظمين (واضعى اللوائح التنظيمية) وغيرهم فى تطوير منهج ثابت فى التقييم والموافقة التنظيمية ونشر تقنيات محددة فى مواقع بعينها.

١-٤ الأغطية الخارجية للمدفن

معظم مستلزمات تغطية المدفن والتى تشمل طبقة أساس وطبقة حاجز ذات نفاذية قدرها (١٠)$^{-٦}$ سم/ثانية وطبقة غطاء نباتى لا تعمل جيداً فى المناخ الجاف. فقد وجد أن غطاء المدافن الواقعة تحت ظروف مناخية مجدبة قد جفت وأن الطبقة الحاجزة ذات النفاذية المنخفضة كانت باهظة التكلفة الإنشائية وقد تنهار تلك الطبقة وتصبح عديمة الفعالية بعد ٣ أو ٤ سنوات من خلال دورات البلل والجفاف المتعاقبة بل أن بعض المنشآت الموجودة فى مناطق مجدبة والمطابقة للوائح الدولية لم تعد تؤدى وظيفتها بالشكل الذى كان مقصوداً فى بادئ الأمر. وعادة ما تكون الطبقة الحاجزة وطبقة الصرف هى أكثر مكونات غطاء المدفن الخارجى أهمية. ويمكن أن تكون الطبقة الحاجزة من تربة (طفله) منخفض النفاذية و/أو مبطنات طفلية اصطناعية أرضية (GCL's) ثم يوضع غشاء أرضى مرن فوق الطبقة الحاجزة سالفة الذكر. وتُورد الأغشية الأرضية (geomembrane) عادة فى هيئة لفائف كبيرة متعددة السمك والعرض والطول. أما قائمة البوليمرات المستخدمة فى الصرف و الشائعة الاستخدام فطويلة ومنها كلوريد البولى فنيل (PVC) وأنواع البولى -إثيلين متنوعة الكثافة والبولى- بروبلين وسبيكة بوليمر الاثيلين البينى (EIA) وغيرها كثير.

وبصفة عامة فإن التربة المستخدمة كمواد حاجزة هى طفلة مدكوكة للحصول على نفاذية هيدروليكية لاتتجاوز (١٠)$^{-٦}$ سم/ثانية. وغالباً ما يتم وضع طبقات التربة المدكوكة كطبقات ذات سمك لا يقل عن ١٥سم وذلك لتحقيق سمك نهائى قدره ٦٠سم أو أكثر. ويستخدم الغطاء المركب كلاً من التربة والغشاء الأرضى مستغلا خواص كل منهما. على الرغم أن الغشاء الأرضى غير منفذ أساساً إلا أنه فى حالة حدوث التسرب فإن مكونات التربة تمنع حدوث تسرب ملحوظ إلى النفايات الواقعة أسفله. وتصمم جميع الأغطية لمنع ظاهرة " المغطس " التى تحدث عند وضع غطاء أكثر نفاذية فوق مبطن قاعى أو تربة تحت سطحية طبيعية أقل إنفاذاً وعندئذ يمتلئ المدفن بالماء كالمغطس.

٢-٤ بدائل لأغطية المدافن Alternative Landfill Caps

عادة ما يكون تصميم غطاء خارجى بديل عملية ذات ٥ خطوات (ITRC,2003) وهى (١) إختيار معايير الأداء، (٢) التصميم الأولى/ (العام)، (٣) تصنيف وتوصيف الموقع، (٤) تحليل دقة التصميم / عمل النماذج الحاسوبية، (٥) التصميم النهائى.

إلا أن المرور على جميع تلك الخطوات ليس لازماً أو مطلوباً فمثلاً على أصحاب المنشأة والقائمين على تشغيلها والمستشارين والمنظمين تحديد مدى الحاجة إلى عمل النماذج فى وقت مبكر من عملية التصميم وفى بعض المواقف قد تجعل بيانات الموقع الموجودة أو البيانات المتاحة عن مواقع مشابهة عمل النماذج أمر غير ضرورى.

وحالياً فإن أوسع أغطية المدافن استخداما هى الأغطية الخارجية من طراز CوD التابعة لقانون حماية الموارد واسترجاعها الصادر عن وكالة حماية البيئة الأمريكية (RCRA) وعادة ما تكون هذه الأنظمة متعددة الطبقات باهظة التكلفة مقارنة بحلول بديلة إذ تبلغ التكلفة التصنيعية التقريبية للطراز D ١٧٥,٠٠٠ دولار للفدان و ٢٢٥,٠٠٠ دولار للفدان بالنسبة للطراز C.

وقد أدت الأبحاث إلى مجموعة متنوعة من أغطية المدافن الخارجية يجرى حالياً اختبارها ميدانياً للحصول على الموافقة التنظيمية (ALCD١٩٩٢).ولهذه الأغطية الخارجية العديد من التصميمات والمكونات بما فى ذلك المبطنات الطفلية الأرضية الاصطناعية (GCL) أو الأغشية الأرضية أو الأغطية النباتية أو الماء المنطلق المحسن أو التربة أو البخر والنتح أو الخاصية الشعريه أو مجموعات مؤلفة من المكونات السالفة الذكر. ولابد من التعامل مع أسئلة هامة عند تصميم طبقة حاجزة بديلة ومنها.

- ما هى المواد الواجب استخدامها فى إنشاء الحاجز ؟
- كم يجب أن يكون سمك الحاجز لكى يخزن القدر المطلوب من الماء ؟
- هل المواد متجانسة وهل تم تحديد أساليب وضع ملائمة للتقليل إلى الحد الأدنى من المسارات التفضيلية للتخلل ؟
- ما هى المعالجات السطحية التى يجب تطبيقها للسيطرة على التعرية ؟
- أى النباتات يجب وضعها لدعم النتح وتثبيت سطح التغطية ؟
- كيف تجرى صيانة الحاجز وما معدل تواترها (تكرارها)؟
- ما نوع المراقبة التى ينبغى استخدامها وبأى معدل ؟

مع الوضع فى الاعتبار أن الأغطية البديلة لابد و أن تكون أسهل بناءاً وتتطلب قدراً أقل من توكيد الجودة (QA) ومراقبة الجودة (.QC) أثناء الإنشاء من التصميمات التقليدية ذات الحواجز الهيدروليكية.

٤-٢-١ الغطاء الداعم للبخر و النتح Evapotranspiration (ET) Cover

وهو أبسط أنواع الأغطية البديلة المستخدمة بدلاً من الغطاء التقليدى متعدد الطبقات. ويتكون هذا الغطاء أساساً من طبقة أحادية مكونة من الطمى الأصلى (المحلى). ويتكون الغطاء -تصورياً- من نوعين من التربة احداهما طبقة تربة سطحية لدعم النمو الخضرى وتخفيض إمكانية التعرية بواسطة الماء أو الريح وهى طبقة مبطنة من أسفل بطبقة حاجزة سميكة مكونة من تربة دقيقة الحبيبات. ويعمل الغطاء البخر – نتحى إستناداً إلى المبدأ القائل بأن طبقة التربة تتمسك (تحتفظ) بالمطر الوارد حتى تتم إزالته بواسطة النتح والبخر (ET) فإذا كانت طبقة التربة تتمتع بسعة تخزينية كافية فلن يخترق الغطاء بواسطة التخلل العميق (Hauser, and *et al* 2001 and Chadwick, and *et al* 1999). وتُستخدم فى تلك الأغطية عادة طبقة من التربة فوق المدفن حيث تنمو الحشائش والشجيرات والأشجار بغرض السيطرة على التعرية وإزالة الماء من التربة. وتشير الدراسات التى أجريت مؤخراً أنه فى المناطق شديدة الجفاف قد تكون الأغطية أحادية الطبقة أكثر فعالية فى عزل النفايات من الأغطية متعددة الطبقات كما تعزل النفايات بفاعلية من الماء المترشح عن طريق البخر والنتح معيداً إياه إلى الغلاف الجوى حتى أثناء الأعوام الأكثر امطاراً من المتوسط (Levitt, and *et al* 1996 and Schmeltzer, and *et al* 1996).

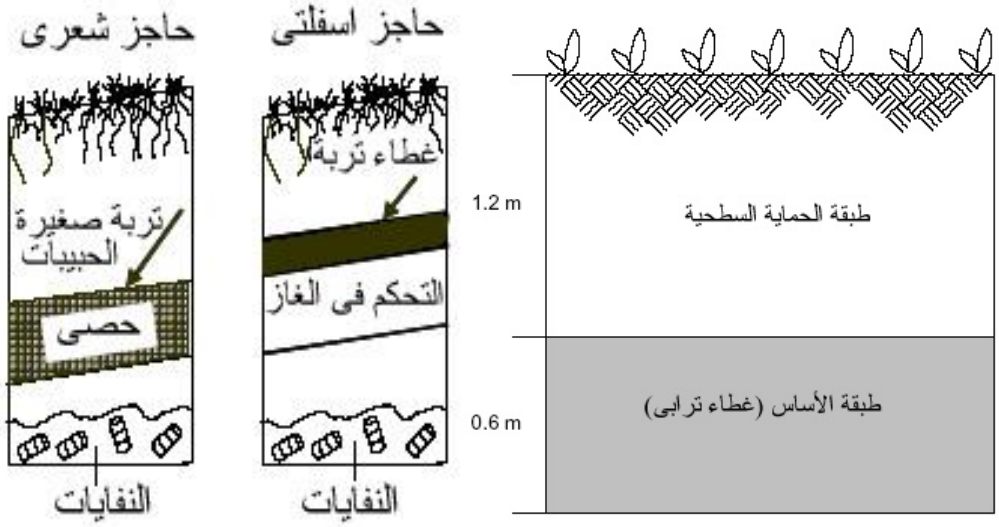
٤-٢-٢ غطاء حاجز الخاصية الشعرية Capillary Barrier cover

ويتكون الحاجز الشعرى من طبقتين هما : طبقة من التربة الدقيقة فوق طبقة من مادة أكثر خشونة كالرمل أو الحصى. وقد اشتق الاسم من اختلاف المسام الذى ينتج عند السطح البينى لنوعى التربة وينشأ الحاجز فى هذا النوع من الأغطية بسبب التغير الكبير فى أحجام المسام بين طبقتى المادة الدقيقة والخشنة (Ankeny, and *et al* 1997 and Stormon, 1997 and Gee and Ward 1996) والخاصية الشعرية هى التى تجعل طبقة التربة الدقيقة التى تقع فوق المادة الأكثر خشونة تتمسك بقدر أكبر من الماء عما لو لم يكن هناك تباين فى حجم الجسيمات بين الطبقتين فالطبقة الدقيقة الحبيبات تحتفظ بالماء بفعل القوى الشعرية بحيث لا ينتقل إلى الطبقة خشنة الحبيبات حتى تقترب الطبقة دقيقة الحبيبات من التشبع بالقرب من السطح البينى (Stormont, 1997 and Jury, and *et al* 1991) ويمكن أن يفشل هذا الحاجز فى حالة تراكم ماء أكثر مما ينبغى فى الطبقة الدقيقة الحبيبات أو فى حالة افتقاد بعض المناطق للتباين الكبير المطلوب فى حجم المسام. وتعد مراقبة الجودة أثناء إنشاء طبقة الحاجز الشعرى ذات أهمية خاصة لمنع اختلاط الطبقة الخشنة الحبيبات مع الطبقة الدقيقة الحبيبات لضمان عدم فشل السريان فى طبقة الحاجز الشعرى و تعطل النظام (Morel-Seytou.1996).

ويعتمد ثبات وظيفة الحاجز الشعرى على الحفاظ على انفصال واضح بين الطبقتين الدقيقة والخشنة (Stormont.1997) وقد يتطلب ذلك طبقة من النسيج الأرضى (geomembrane) (أو تدرج فى حجم حبيبات التربة بحيث تكون الخشنة عند القاع والدقيقة على القمة) بين الطبقات للحيلولة دون اختلاط الحبيبات الدقيقة مع الحبيبات الخشنة طوال الفترة الزمنية المطلوبة.

٤-٢-٣ الغطاء الخراساني الاسفلتى

هو غطاء فعال أحادى الطبقة مكون من الخرسانة أو الأسفلت البيتومينى ويستخدم لعمل سطح حاجز بين المدفن والبيئة الخارجية فالغطاء الخارجى الأسفلتى / الخرسانى يخفض الرشيح.



(أ) (ب) (ج)

شكل (٥): (أ) و (ب) أغطية بديلة بحواجز ، (ج) غطاء نتحى–تبخيرى

٤-٣ الأنظمة المبطنة البديلة

٤-٣-١ التخفيف الطبيعي Natural Attenuation (NA)

تعد قضية إنشاء مبطن قاعى قضية صعبة بالنسبة لعدد من الدول النامية ولذلك فإن الاعتماد على قدرة البيئة الجيولوجية على الاحتواء الطبيعى و/أو التخفيف الطبيعى للرشيح بدرجة كافية لتفادى تلويث المياه الجوفية مايزال يشكل قلقاً عميقاً فيما يتعلق بجدوى التكلفة.

ويتوقف تحديد صلاحية التخفيف الطبيعى كبديل لمبطن المدفن على ما إذا كانت الظروف البيئية الملائمة كافية لتحمل معدلات كبيرة من التدهور البيئى لضمان الالتزام بحماية المياه الجوفية خلال فترة زمنية معينة كما يعتمد ذلك أيضاً على درجة الثقة فى إمكانية قيام آليات التخفيف بحماية صحة الإنسان وسلامة البيئة بشكل كاف. ولاختبار إمكانية استخدام التخفيف الطبيعى لابد من القيام بتحليل جميع الوسائل الفيزيقية، والكيماوية – الحيوية المتاحة للحط من الملوثات أو تخفيفها. ويشمل التخفيف آليات متعددة مثل تخفيف التركيز أو التشتيت أو الانحلال الحيوى أو الإنتشاف القابل أو الغير قابل للرجوع. وجميع تلك الآليات تؤدى إلى تخفيض ملحوظ فى سمية الملوثات والخطر الذى تشكله على الإنسان وبيئته. ونجد ضمن البدائل الأخرى استخدام طبقة مبطنة موجودة فى الطبيعة كطبقة الطفل الغير منفذ. ولابد ألا يقل سمك المبطن الترابى الطبيعى عن ١٢٠سم (على الأقل) أما نفاذيته فلابد أن تكون أقل من (١٠)$^{-٦}$سم/ثانية. وقد تم استخدام مواد طبيعية أرخص تكلفة كمبطنات قاعية مثل الطفلات الممزوجة مع الجير بل أنه فى الحالات القصوى يمكن استخدام نوع خاص من النفايات إما بشكل مباشر أو بعد معالجة مناسبة كمادة منخفضة النفاذية فى مبطن قاعى.

٤-٣-٢ المبطنات الخرسانية الأسفلتية (DAC) والغشائية البتومينية (القطرانية) (BM)

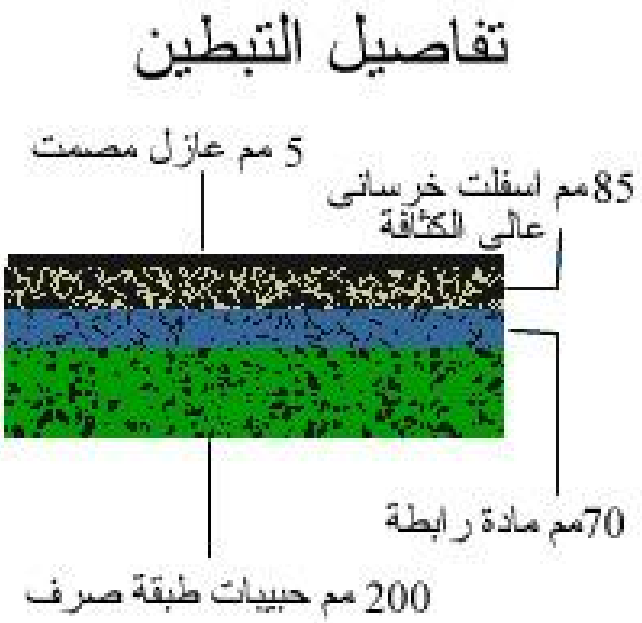
نظراً للخواص المتعددة والواسعة التنوع للأسفلت من متانة ومرونة ومقاومة للماء على سبيل المثال لا الحصر فأنه يستخدم على نطاق واسع فى جميع الصناعات الحديثة وخاصة فى الإنشاء والهندسة المدنية حتى أن المبطنات الخرسانية الأسفلتية الكثيفة والغشائية البيتومينية معترف بها حالياً بالسبق كمبطنات للمدافن إذ أن كلاً من DAC و BM يتيحان مزايا كبيرة للمصممين والقائمين على التشغيل والمشرفين مقارنة بالطفل والمواد التقليدية.

وفيما يلى نورد مزايا استخدام DAC و BM كمبطنات للمدافن.

- رقته الإنشائية تزيد حجم الملء (الدفن) إلى الحد الأقصى
- يتيح حرية حركة هندسية رأسية وأفقية
- حركة نقل أقل لأنه يتطلب حجماً منخفضاً من المواد المستوردة
- لايتطلب صيانة إثناء الملء (الدفن)
- لا استثمارات مهدرة على طرق النقل – وحركة النقل
- غير منفذ ومقاوم للهيدروكاربونات
- يقاوم ويتحمل الإجهادات وقوى القص الناتجة عن الهبوط
- أداء متفوق كمبطن تضمنه التصميم المعدل للمواد
- مجدى تكلفياً

يبين الجدول رقم (٢) مقارنة بين المبطنات الخرسانية الأسفلتية DAC والطبقة الغشائية البتومينية BM من حيث التركيب والخواص.

المادة	التكوين (التركيب) والخواص	الاستخدام والتطبيق
الأغشية البيتومينية (القطرانية) BM	**– طبقات دقيقة ومحكمة مائياً من القطران** **– ترش أو تنشر يدوياً.** **– مقواه بالنسيج الأرضى** **– غير منفذة** **– تحضر فى الموقع أو تورد فى هيئة لفائف سابقة التجهيز.**	**مبطنات لمدافن النفايات**
الخرسانة الأسفلتية الكثيفة DAC	**– مزيج من الحجارة المكسورة أو الحصى أو الرمل بالإضافة إلى حشو** **– بعد الإدماج تصبح الفجوات مملؤة بالقطران بشكل كامل تقريباً (محتوى الفجوات أقل من ٣%)** **– غير منفذ** **– ثابت حتى على المنحدرات الحادة.** **– غير صالح للاستعمال تحت الماء أو فى منطقة مد**	**مبطنات لمدافن النفايات**



شكل (٦): فطاع يبين تفاصيل التصميم لبطانة من الخرسانة الأسفلتية الكثيفة DAC

المصدر: **Hesselberg Hydro2002** (انظر الوصلة الالكترونية فى قائمة المراجع)

٤-٣-٣ تبطينات رأسية لمواقع مدافن النفايات باستخدام الخرسانة الأسفلتية الكثيفة DAC

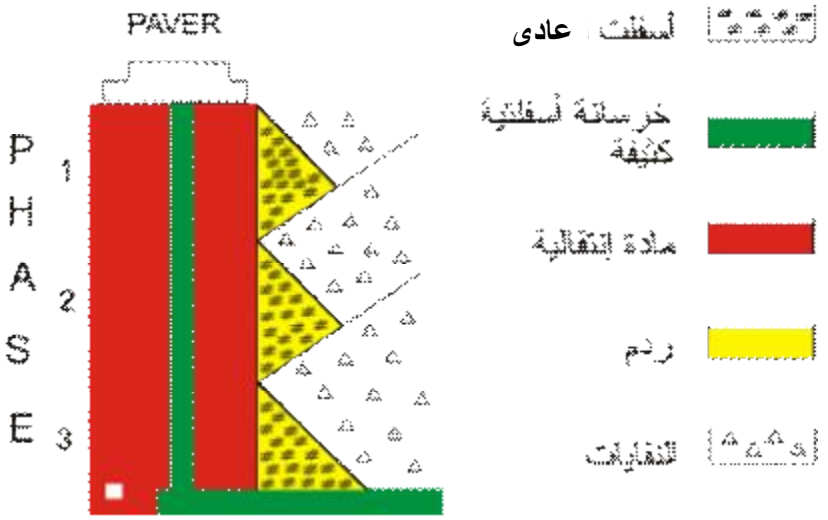
تستغل المحاجر غير المستخدمة بشكل متزايد فى البحث عن مواقع أساسية للاستخدام كمدافن نفايات والمحاجر ملائمة بشكل خاص للتبطين بالأسفلت. وتقدم الرسوم التشغيلية عموماً منطقة أفقية كبيرة ذات جوانب شبه رأسية سيتم سدها بإحكام. ويمكن إنشاء بطانة أسفلتية رأسية ومرنة وقوية ومتينة وغير منفذة وهى بطانة يسهل بناؤها على مراحل. ويتمتع هذا الأسلوب التقنى بالميزات التالية :-

- يتم تسوية أرضية المحجر بالأسفلت الرابط ثم تبطن بالخرسانة الأسفلتية الكثيفة DAC بسمك ٨٥ملم
- سمك المبطن الرأسى عادة هو ٣٠٠ملم أو أكثر لتحمل قوى القص
- مفصل أو وصلة جيدة بين الأغشية الرأسية والأفقية ملحومه بلحام أسفلتى ساخن (على الساخن)
- مادة أسفلتيه مزوده بدعامه لوضع حشو رقيق ومادة إنتقالية
- يتم وضع عدد يصل إلى ٣ طبقات ذات سمك ٢٠٠ملم فى اليوم

والـ DAC إقتصادى فى التركيب والتشغيل للأسباب التالية :-

- يمكن للراصفة الواحدة تركيب ٥٠٠م يومياً كحد أقصى وبارتفاع ٦٠٠ملم ولهذا فهى تقنية اقتصادية بالنسبة للأطوال أو المسافات الطويلة نسبياً
- يتحقق الحيز التجويفى المثالى برفع البطانة على مراحل يوفر كل منها حجماً يكفى مدة تتراوح بين ٦ أشهر إلى سنة من التشغيل وهكذا يتوزع الاستثمار المخصص للمبطن على عدة سنوات مما يساعد التدفقات المالية

- ويبدو الخيار الأسفلتى أكثر جاذبية فى حالة وجود صخر مناسب بالمحجر و/أو فى حالة وجود مصنع أسفلت على مقربة. وغالباً ما يقوم القائمين على المشروع بإقامة مصنع أسفلت خاص بهم فى الموقع سواء أكان محجراً عاملاً أو سابقاً حتى يمكنهم توفير المادة مما يقلل تكلفة المبطن بدرجة كبيرة



شكل (٧): قطاع يبين التبطين الرأسى باستخدام لبطانة من الخرسانة الأسفلتية الكثيفة

المصدر: **Hesselberg Hydro 2002** (انظر الوصلة الالكترونية فى قائمة المراجع)

٤-٣-٤ استخدام التربة الطبيعية كمبطن بديل

يُعد استخدام التربة الطبيعية كمبطن لمدافن النفايات الصلبة الخطرة من الممارسات الشائعة فقد تتمتع تلك التربة بنفاذية منخفضة وسعة إدمصاص عالية بالنسبة للموثات معينة وهى تربة قد تكون موجودة بشكل منتظم فوق الموقع بكاملة ولا يتطلب الأمر أكثر من تدريجها وإعادة قولبتها وإدماجها لانجاز تصميم المبطن القياسى.

ولكن فى بعض الحالات قد لا تكون تربات الموقع فى حالتها الطبيعية مناسبة أو قد تكون مركزة فى إحدى مناطق المدفن مما يتطلب عمليات حفر ووضع وقد تصبح تلك التربة مُرضية بعد القيام بعمليات إعادة قولبة إضافية.

أما فى حالة عدم استيفاء تربات الموقع الحد الأدنى للمعايير التصميمية فيمكن استيراد تربة مناسبة من خارج الموقع بحيث تكون طبقة معوقة للسريان بعد إعادة القولبة والإدماج.

وهكذا فهناك مصدرين محتملين للتربة اللازمة لمبطن المدفن سواء من الموقع أو مستوردة من خارجه. ولكن يفضل التربة المستمدة من الموقع لسببين.

أولاً:- إنها أوفر اقتصاديا لعدم الحاجة إلى أرض إضافية للحصول عليها فضلاً عن الوفر الهائل فى نفقات النقل.

ثانياً:- استخدام تربة مستمدة من الموقع يستبعد الحاجة لإيجاد استخدامات بديلة للتربة أو مناطق للتخلص من الفائض منها.

في حالة عدم توافر تربة ذات خصائص ملائمة فى الموقع يتعين إيجاد مصدراً لها من خارج الموقع مع مراعاة أن القرب من الموقع عامل هام فى تخفيض نفقات النقل.

وتستند التقديرات الخاصة بأحجام التربة المطلوبة إلى سمك المبطن ومساحة المدفن العامل. ومن المهم أن تشتمل الحسابات على المبطنات الجانبية أيضاً مع الأخذ فى الاعتبار أنه لكل فدان من مساحة المدفن العامل يلزم ١٤٧٥ متر مكعب من التربة المدكوكة لتحقيق سمك ترابى قدره ٣٠ سم. ويمكن حساب حجم التربة المتاح من المعلومات الجيولوجية. وعادة ما تخطط المعلومات الجيولوجية بيانيا على المقاطع العرضية الرأسية خلال المنطقة المعنية. ويحسب الحجم بناء على سمك التكوين المشار إليه وتقدير لمدى مساحته.

وتتطلب المناطق التي يوجد بها تنوع ملحوظ للتربة عمل عدد كاف من التجويفات (الحفر) أو المعلومات للتقدير الدقيق للحجم وهو ما يمكن أن يقرره جيولوجى ذو خبرة. ولابد من مراعاة الفروق فى الحجم بين التربة المدكوكة والمفككة ويبين الجدول رقم (٣) الفروق التقريبية للحجم المدمج و الحجم المنحل للمواد المستخدمة.

نوع المادة	عدد الأمتار	
	المدكوكة	المفككة
الطينة الرملية الطفلية	**٠,٨٢**	**١,١٤**
الطفل	**٠,٨٢**	**١,٣١**
الرمل	**٠,٨٧**	**١,٠١**

وقد يؤدى الإخفاق فى التعويض عن النقص فى الحجم نتيجة للإدماج بالنسبة للتربة الطفلية إلى تقديرات منقوصة للأحجام المطلوبة فى الموقع بنسبة تزيد عن ١٠% وبالنسبة لمدفن مساحته ٣٠ فدان ذى مبطن مدكوك سمكة ٦٠سم يمكن أن يحدث نقص فى تقدير الحجم المطلوب بالموقع بما يزيد عن ٨١٠٥ متر مكعب ويمكن تحديد الخصائص الفيزيقية الهامة للمبطنات التربية من التوزيع الحجمى للحبيبات وحدود "أتربرج" وقياسات النفاذية. وتشير منحنيات التوزيع الحجمى للحبيبات إلى تماثل وانتظام حجم جسيمات التربة ونسبة الدقائق. وتُعرف الدقائق بأنها جسيمات تربة ذات قطر أقل من ٠,٠٧٤ ملم وتمر من غربال قياس رقم ٢٠٠). وتعد حدود " أتربرج " عوامل جوهرية وهامة فى تقييم سلوك التربة الطفلية النوع والمستخدمة كمواد مبطنة. ومن الجلى أيضاً أن للنفاذية اعتباراً هاماً فى تقييم مواد التربة نظراً لتأثيرها المباشر على قدرة المبطن الترابى على احتواء الرشيح.

ومن الناحية الأخرى لابد من اختبار الخصائص الهندسية للتربة، ولابد من إجراء قياسات النفاذية عند كثافات ومحتويات مائية يمكن تحقيقها ميدانياً.

ومن المهم للغاية مضاهاة الظروف المعملية والميدانية بقدر الإمكان وذلك لتجنب حدوث أخطاء كبيرة فى التنبؤ بنفاذيات التربة.

٤-٤ الغطاء المرحلي الوسطي

يجب وضع غطاء (يومى) إنتقالى/وسيط على جميع النفايات المكشوفة عند نهاية اليوم على أن يكون عمق الغطاء كافياً لتغطية جميع النفايات بشكل كامل فإذا تم استخدام تربة أو مادة شبيهة فلابد أن يكون ذلك (العمق) ١٥سم على الأقل. كما يجب أن يتم دك النفايات بشكل متقن قبل إضافة الغطاء وطبقات النفايات الجديدة. ومادة التغطية المثالية هى مزيج من الطفله والتربة الرملية. وتتم عملية التغطية اليومية للأغراض التالية:-

- التحكم فى ناقلات الأمراض
- التحكم فى توالد البعوض والذباب
- الحد من إمكانية وصول الطيور والقوارض وغيرها من الحيوانات إلى جسم النفاية
- التقليل من تعرض النفاية إلى عوامل التعرية والتحكم فى إلقاء القمامة
- التقليل من الروائح الكريهة إلى الحد الأدنى
- منع حدوث الحرائق والسيطرة عليها فى حال حدوثها
- تقليل كمية الماء الذى يصل إلى جسم النفاية (من المطر الساقط والماء المنطلق والحبيس)

كما يوفر استخدام غطاء التربة المدكوكة سطحاً صلباً وآمناً للمركبات مما يتيح للمركبات سهولة الحركة على سطح العمل ويحد من إتلاف الإطارات ، وأخيراً فإن المدفن المغطى بطبقة تربة سمكها ١٥سم أكثر جمالية من مدفن بلا غطاء.

ينبغى استخدام غطاء وسيط منخفض النفاذية لتغطية جميع أسطح المنشأة المليئة إذا لم يكن هناك نفايات إضافية سيتم إيداعها خلال ٣٠ يوماً على أن تستخدم التربة أو أى مادة مشابهة لعمل الغطاء الوسيط بسمك ٣٠سم. ولابد من دك وتدريج الغطاء بشكل مناسب لمنع التعرية وتكون البرك.

٤-٥ تصميم آبار المراقبة

تعد مراقبة المياه الجوفية متطلباً فنياً هاماً لإدارة منشآت التخلص من النفايات الخطرة. أما الغرض من المراقبة فهو تقييم ما إذا كانت منشأة التخلص من النفايات تؤثر على نظام المياه الجوفية الواقع تحتها وبأى كيفية.

ولهذا يتم إقامة آبار مراقبة داخل موقع المدفن وحوله للسماح بقياس مستوى الماء وأخذ عينات من الرشيح والمياه الجوفية. وتُنشأ الآبار النموذجية من أنبوب بلاستيكى من ألياف كلوريد البولى فنيل المقوى بقطر قدره ٥٠مم ومزود بمصافى.

يمكن استخدام الآبار التى تم إنشاؤها لتحديد نفاذية التكوين الهيدروليكية وما إذا كانت حساسة بشكل كاف لنظام التدفق الهيدروليكى بحيث تقدم معلومات مراقبة يمكن الاعتماد عليها.

٤-٥-١ الإنشاء

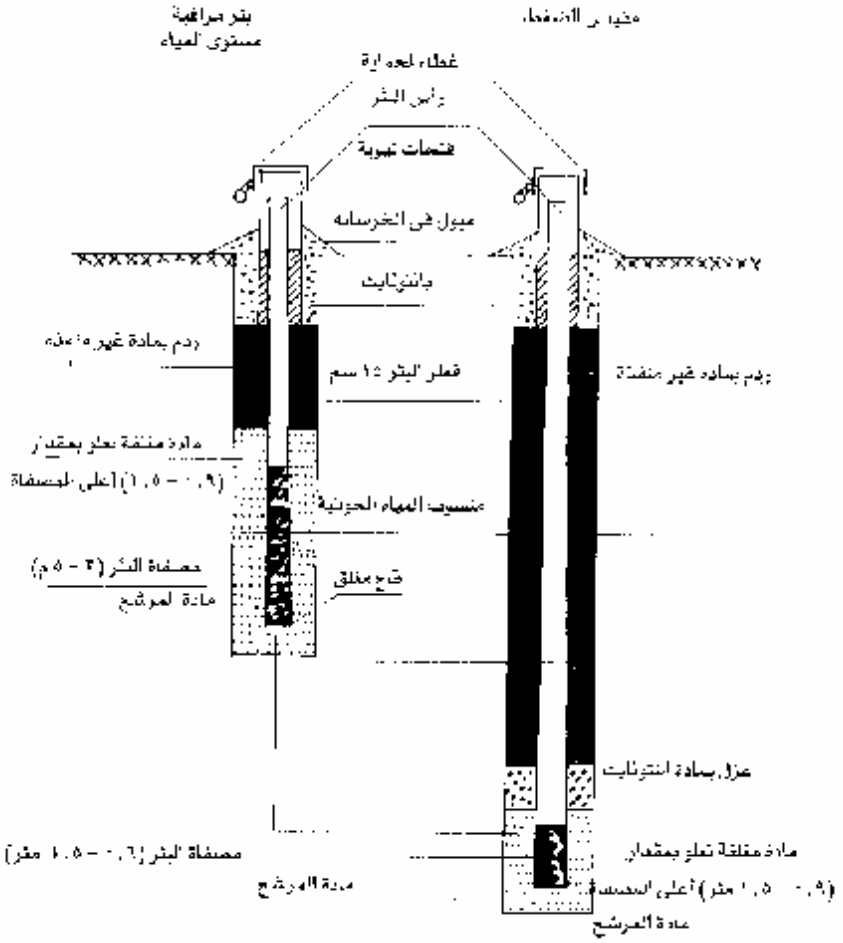
لابد من اعتبار كل برنامج مراقبة فريداً من نوعه عند إختيار مواد إنشاء بئر المراقبة. ويعتمد اختيار المادة الإنشائية على الأتى:-

التكلفة والوفرة والقوة والتوافق الكيماوى والفيزيقى مع المادة المطلوب تحليلها (العنصر أو المركب الذى يجرى الاختبار لاكتشافه) و وضع المياه الجوفية والرشيح. وهناك مجموعة متنوعة من المواد فى السوق التى تتفاوت فى أسعارها بشكل واسع. ويعد كلوريد البولى-فنيل (.PVC) هو الاختيار الأكثر شيوعاً نظراً لتوفره وتكلفته القليلة إلا أن الدراسات التى أجريت مؤخراً لاختبار الادمصاص وإطلاق المركبات العضوية بواسطة مركب PVC اليابس جعلت وكالة حماية البيئة الأمريكية توصي باستخدام مواد مصنوعة من بولى-تترافلورو-إثيلين (PTFE) أو الصلب غير القابل للصدأ بدلاً من كلوريد البولى-فنيل (.PVC) لإنشاء الآبار ولكن لسوء الحظ أن تكاليف الصلب غير القابل للصدأ و (PTFE) هى أعلى بخمسة إلى سبعة أضعاف وبعشرة

إلى خمسة عشر ضعفاً على التوالى من تكاليف (.PVC) إلا أنه قد يكون استخدام أكثر من نوع من المواد الإنشائية لتصميم بئر مفيداً ونافعاً فى حالات معينة فقد يكون الصلب غير القابل للصدأ على سبيل المثال مفضلاً فى بيئة كيماوية محددة مع التوفير فى النفقات باستخدام PVC فى الأجزاء غير الهامة بشكل حاسم.

وهناك ٣ مواقع أساسية لآبار مراقبة المياه الجوفية بحيث تقوم بشكل فعال باكتشاف وتقييم التلوث سواء المحتمل أو القائم فعلاً بالمياه الجوفية.

- بئر واحد على الأقل على الانحدار الأعلى من المدفن لتحديد جودة المياه الجوفية الخلفية ومنسوب المياه ودرجات الانحدار الهيدروليكى لتحديد تدفق المياه الجوفية سواء داخل المدفن أو أسفله. على الرغم من أن بئر واحد على الانحدار الأعلى من المدفن هو الحد الأدنى إلا أنهُ يوصى بإنشاء بئرين لإعطاء فكرة عن التغير فى نوعية المياه الجوفية اعلى المدفن



شكل (٨): يبين تصميم آبار مراقبة و قياس منسوب المياه الجوفية

المصدر: Bagchi 1994

- بئر مجاور مباشرة لحافة الانحدار الادنى من منطقة الدفن مع مصفاه لاعتراض منسوب المياه بحيث يمكن أخذ عينات من الرشيح الخام لتحليل المكونات الكيماوية عند مصدر الملوث ولقياس مستويات السوائل بحيث يمكن تحديد وضعية الرشيح بالنسبة للنفاية
- مجموعة من ٣ آبار فى اتجاه الانحدار الادنى من المدفن وعمودية على تدفق الماء الجوفى فى المستوى الأفقى لكشف وتحديد مدى وتركيزات أى بؤرة رشيحية ولتقييم مستويات المياه الجوفية واتجاهات تدفقها ومعدلات تدفقها ولتقييم آثار أو تأثيرات الرشيح على المستقبلات – كآبار الإمداد والمياه المستقبلة

وفى المناطق شديدة الجفاف حيث يتواجد مستوى المياه الجوفية على أعماق كبيرة (تزيد عن ٥٠م) يمكننا إقامة الآبار الموجودة على أسفل الانحدار على مسافات أكبر من حافة المدفن وبالتبعية يمكن استخدام الآبار القريبة القائمة فعلاً على جانب مهبط الميل لمراقبة التلوث بواسطة الرشيح الصادر من المدافن.

أما إذا كان عمق المياه الجوفية أكبر من ١٠٠م فمن المتوقع أن يتم تخفيف الرشيح بشكل طبيعى قبل وصوله إلى ذلك العمق بافتراض عدم وجود كسور أو مجارى فى الطبقات تحت السطحية أسفل المدفن. وفى حالة كهذه يمكن إعفاء الموقع من آبار مراقبة المياه الجوفية.

٤-٥-٢ بدائل آبار المراقبة

هناك عدة بدائل ممكنة لمتطلبات مراقبة المياه الجوفية الكاملة وتشمل كما هو مذكور عاليه استخدام الآبار الموجودة فعلاً لأخذ عينات من المياه الجوفية وتخفيض قائمة المكونات المراد مراقبتها وأخذ عينات من نطاق المواد غير المشبعة وجمع عينات غازية من النطاق الغير مشبع ومسح المقاومية الكهربية للتربة أسفل المدفن، واستخدام كتلة من الجبس لاكتشاف أى رطوبة تحت المدفن وهذه البدائل مجموعة فرعية من الخيارات التى يمكن اختيارها تبعاً للظروف المحلية.

وتشمل المكونات البديلة الممكنة لمراقبة المياه الجوفية ما يلي :-

- عناصر تعبر عن الجودة النوعية للماء: الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمنجنيز والكلوريدات والكبريتات والنترات والكربونات.
- مؤشرات دالة على وجود الرشيح: الأكسجين المستهلك فى العمليات الحيوية (BOD) والأكسجين المستهلك فى العمليات الكميائية (COD) والكربون العضوى الكلى (TOC) والكالسيوم والنظائر المشعة الثابتة (كالهيدروجين الخفيف الذى يؤيض بشكل تفضيلى فى المدافن المولدة للميثان (غاز الاستصباح) وكالمياه الجوفية التى تحتوى على كميات متفاوتة من الديوتريوم والنفاذية والأس الأهيدروجينى (فعلى سبيل المثال تشير الأبحاث إلى أن تكسير الملوثات العضوية تسبب حمضية المياه الجوفية فى البيئة المؤكسدة) والعسر (الذى قد يكون مرتبطاً بزيادة الحمضية الناتجة عن تكسر المادة العضوية) والقلوية (التى قد تكون مرتبطة بزيادة الحمضية الناتجة عن تكسر المادة العضوية) والأملاح الذائبة الكلية (TDS) والفوسفات والأمونيا والسمية الجرثومية.

٥- تقرير التصميم

يعد تقرير التصميم بحيث يشمل المعلومات التالية:

- ملخص تنفيذي واستنتاجات وتوصيات
- الأسس التصميمية والفرضيات الرئيسية والمعايير التصميمية وقيود الموقع
- وصف مكونات المدفن الأساسية الهامة ووظائفها التصميمية
- شرح مكتوب للرسوم التصميمية التفصيلية والمواصفات التصميمية
- بيان عملى لإثبات أن مكونات المدفن ستؤدى وظيفتها كما فى التصميم
- نتائج اختبار المواد المرتبطة بالتصميم
- المواصفات المبدئية للمواد الإنشائية
- التحاليل الهندسية والحسابات المستخدمة فى تطوير التصميم

ولتسهيل مراجعة مؤسسات شئون البيئة أو المحليات فلابد أن يكون لخطط التصميم وتقارير التصميم والمواصفات وغيرها من الوثائق ذات الصلة نفس الصيغة التنظيمية كما ينبغى أن تكون الوثائق التصميمية مفصلة بشكل كاف لتمكين الأجهزة (السلطات) المحلية من تحديد ما إذا كانت المقاييس اللازمة ومعايير الأداء قد تحققت.

وتمثل الجداول ٤، ٥، ٦ المعدلة من إدارة الموارد المائية والغابات DWF بجمهورية جنوب إفريقية RSA الحد الأدنى لمتطلبات التصميم ومكونات نظام التبطين وغطاء المدفن الخارجى.

جدول (٤)
الحد الأدنى لمتطلبات تصميم مدفن النفايات مأخوذ عن إدارة الموارد المائية والغابات بجمهورية جنوب إفريقيا (١٩٩٨)

الرمز لا رشيح مؤثر B^- رشيح مؤثر B^+ مطلوب R ليس مطلوباً N اهتمام خاص من F قبل خبير أو مندوب الوزارة	نظام التصنيف									
	G النفايات العامة								H النفايات الخطرة	
	C مدفن مشاع		S مدفن صغير		M دفن متوسط		L مدفن كبير		درجة الخطورة 3 & 4	درجة الخطورة 1-4
الحد الأدنى من المتطلبات	B^-	B^+	B^-	B^+	B^-	B^+	B^-	B^+		
عين شخصاً مسئولاً	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
التصميم التصورى **تأكيد تصنيف الموقع**	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
قيم حجم الغطاء	N	N	R	R	R	R	R	R	R	R
أشر إلى المنطقة غير المشبعة بعد الحفر	N	N	R	R	R	R	R	R	R	R
حدد المجال الجوى المتاح	N	N	R	R	R	R	R	R	R	R
قدر استخدامات المجال الجوى	N	N	R	R	R	R	R	R	R	R
قدر عمر الموقع	N	N	R	R	R	R	R	R	R	R
تعامل مع أى آثار تعرف عليها التحقيق	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
التصميم التخطيطى للموقع	N	N	R	R	R	R	R	R	R	R
تصميم الصرف السطحى	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
خطة التطوير	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
الإغلاق / إعادة التأهيل	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
تصميم نظام إدارة الرشيح	N	N	N	R	N	R	N	R	R	R
تصميم المصارف المائلة	N	R	N	R	R	R	R	R	R	R
تصميم نظام المراقبة	N	N	F	R	R	R	R	R	R	R
خطة الاستخدام النهائى	N	N	R	R	R	R	R	R	R	R
اختبار التربة والمواد	N	N	N	F	F	F	F	F	F	F
التصميم الفنى تصميم الصرف الجيولوجية المائية السطحية	N	N	N	F	R	R	R	R	R	R
ارجع إلى متطلبات التبطين فى ورقة التشغيل (٢)	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
نظام مراقبة نوعية للماء	N	F	N	R	R	R	R	R	R	R
نظام اكتشاف الرشيح	N	F	F	N	R	N	R	N	N	N
نظام معالجة الرشيح	N	N	N	F	N	R	N	R	R	R
نظام إدارة ومراقبة الرشيح	N	F	N	R	N	F	N	R	R	R

نظام إدارة ومراقبة الغازات	N	N	N	N	R	R	R	R	R	R
ارجع إلى متطلبات التغطية فى التشغيل جدول(٣)	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
ثبات المنحدرات	N	N	F	F	F	F	F	R	R	R
تصميم التحكم فى التعرية	N	N	F	F	R	R	R	R	R	R
رسوم التصميم والمواصفات	N	N	N	N	R	R	R	R	R	R
الموافقة على التصميم الفنى	N	N	N	R	R	R	R	R	R	R

جدول (٥)
المقاييس الدولية للحد الأدنى لمتطلبات مكونات النظام المبطن

الرمز B^- لا رشيح مؤثر B^+ رشيح مؤثر R مطلوب N ليس مطلوباً F اهتمام خاص من قبل خبير أو مندوب الوزارة	نظام التصنيف									
	G النفايات العامة								H نفايات خطرة	
	C مدفن على المشاع		S مدفن صغير		M مدفن متوسط		L مدفن كبير		H:h درجة الخطورة ترتيب الخطورة ٢,٣	H:H درجة الخطورة رتيب الخطورة ١-٤
الحد الأدنى للمتطلبات	B^-	B^+	B^-	B^+	B^-	B^+	B^-	B^+		
(١٢) بدن النفاية	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
(١١) الحماية من التخفيف	N	N	N	N	R	N	R	N	N	N
(١٠) طبقة تجميع الرشيح	N	N	N	R	N	R	N	R	R	R
(٩) طبقة وسادية	N	N	N	N	N	N	N	N	R	R
غشاء أرضى ١,٥ ملم أو ٢ ملم	N	N	N	N	N	N	N	N	R	R
(٧) المبطن الطفلى المدمج	N	N	N	N	N	R	N	R	R	R
(٦) طبقة النسيج الأرضى	N	N	N	N	N	R	N	R	R	R
(٥) طبقة اكتشاف الرشيح	N	N	N	N	N	R	N	R	R	R
(٤) طبقة وسادية	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
(٣) مبطن غشائى أرضى – ١ملم	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
(٢) مبطن طفلى مدمج	N	N	R	R	R	R	R	R	R	R
(١) طبقة إعداد القاعدة	N	N	R	R	R	R	R	R	R	R

ملحوظة :- تشير الأرقام من ١ إلى ١٢ إلى ترتيب الإنشاء.

جدول (٦)
المقاييس الدولية للحد الأدنى لمتطلبات الغطاء الخارجى للمدفن

LEGEND B^- = No significant leachate produced B^+ = Significant leachate produced R = Requirement N = Not a requireme F = Flag: special consideration to be تعطى اعتبار خاص من قبل أو مندوب وزارى	نظام التصنيف									
	G النفايات العامة								H نفايات خطرة	
	C مدفن على المشاع		S مدفن صغير		M مدفن متوسط		L مدفن كبير		H:h ترتيب الخطورة ٢و٣	H:H ترتيب الخطورة
مكونات الغطاء الخارجى	B^-	B^+	B^-	B^+	B^-	B^+	B^-	B^+		
(٥) طبقة تربة سطحية	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
(٤) طبقة طفلية مدمجة	N	N	R	R	R	R	R	R	R	R
(٣) طبقة نسيج أرضى	N	N	N	N	N	R	N	R	R	R
(٢) طبقة صرف غازى	N	N	N	N	N	R	N	R	R	R
(١) سطح نفايات مشكلة ومدمجة	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R

٦- المراجع

Ahmed, I. (1993). "*Laboratory Study on Properties of Rubber Soils*, FHWA/IN/JHRP-93/4, School of Civil Engineering, Purdue University, West Layfayette, IN, 348 p.

Alternative Landfill Cover Demonstration (ALCD), (1992), Sandia National Laboratories, MS 0719, P.O. Box 5800, Albuquerque, NM, USA

Ankeny, M. D., Coons, L. M., Majumdar, N., Kelsen, J. and Miller, M. 1997. "Performance and Cost Considerations for Landfill Caps in Semi-Arid Climates," pp. 243–61 in *Landfill Capping in the Semi-Arid West: Problems, Perspectives, and Solutions, May 21–22, Grand Teton National Park, Wyoming*, eds. T. D. Reynolds and R. C. Morris, Environmental Science and Research Foundation, Idaho Falls, Id.

Al-Yaqout, A and Townsend, F (2001) " Strategy for landfill design in arid regions" P*ractice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, Vol. 5, No. 1, January, 2001

Bagchi, A (1994) " Design, Construction and Monitoring of Landfills" 2nd edition. Wiley Interscience: New Yourk, USA.

Blight, G. E. (1996). ''Standards for landfills in developing countries.'' *Waste Mgmt. and Res.*, 14, 399–414.
Blight and Fourie (1999) Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Geotechnical Engineering, vol 137, no. 4 (1999), pp 177-264,

Bonaparte, Rudolph, Beth A. Gross, R.M. Koerner, D.E. Daniel, and S. Dwyer (2003) "Technical Guidance for RCRA/CERCLA Final Cover Systems," Draft document being considered for publication by U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, 2003.

Cecich, V., Gonzales, L., Hoisaeter, A., Williams, J., and Reddy, K. (1996). "Use of Shredded Tires as Lightweight Backfill Material for Retaining Structures", *Waste Management & Research*, No. 14, pp. 433-451.

Chadwick, D. G. Jr., Ankeny, M. D., Greer, L. M., Mackey, C. V. and McClain, M. E. 1999. "Field Test of Potential RCRA-Equivalent Covers at the Rocky Mountain Arsenal, Colorado," pp. 21–33 in *Proceedings from the Solid Waste Association of North America's 4th Annual Landfill Symposium, Denver, Colorado*, SWANA Publication No. GR-LM 0004.

Department of Water Affairs and Forestry DWAF (1994). *Minimum requirement for waste disposal by landfill*, CTP Book Printers, Cape Town, South Africa.

(DEQ) Oregon Department of Environmental Quality, Solid Waste Policy and Program Development Section (1998).

EU Environment Agency (2003) Interpretation of the definition and classification of hazardous wasteTechnical Guidance WM2.

Forseth, J. M. and P. Kmet. 1983. Flexible Membrane Liners for Solid and Hazardous Waste Landfills - A State of the Art Review. In: Proceedings Sixth Annual Conference of Applied Research & Waste Practice on Municipal & Industrial Waste.

Gasper, A.J. (1990). "Stabilized Foam as Landfill Daily Cover," Proceedings, Municipal Solid Waste Management: Solutions for the 90's, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., pp. 1113-1121.

Gee, W. G., and Ward, A. L. 1997. "Still in Quest of the Perfect Cap," pp. 145–64 in *LandfillCapping in the Semi-Arid West: Problems, Perspectives, and Solutions, May 21–22, Grand Teton National Park, Wyoming*, eds. T. D. Reynolds and R. C. Morris, Environmental Science and Research Foundation, Idaho Falls, Id.

GeoSyntec Consultants (1998a). "*Test Pad Demonstration Program - Tire Shreds as Foundation, Leachate Drainage, and Operations Layer Material at Municipal Solid Waste Landfills*," report for California Integrated Waste Management Board.

GeoSyntec Consultants (1998b). "*Guidance Manual – Tire Shreds as Gas Collection Material at Municipal Solid Waste Landfills*," report for California Integrated Waste Management Board.

GeoSyntec Consultants (1998c). "*Guidance Manual – Tire Shreds as Final Foundation Layer Material at Municipal Solid Waste Landfills*," report for California Integrated Waste Management Board. Madison, WI: Dept. of Engineering and Applied Science, University of Wisconsin-Extension, Sept. 14-15, 1983.

Hesselberg Hydro (2002) http://hesselberg-hydro.com/about.htm

Hauser, V. L., B. L. Weand, and M. D. Gill. 2001. "Natural covers for landfills and buried waste." *Am. Soc. Civil Engineers, J. Environ. Engineering* 127(9) 768–75.

Horvath, J.S. (1995b). "*EPS Geofoam: New Products and Marketing Trends*," *Geotechnical Fabrics Report*, Vol. 13, No. 6, Industrial Fabrics Association International, St. Paul, MN, pp. 22-26.

Humphrey, D.N. (1996). "*Investigation of Exothermic Reaction in Tire Shred Fill Located on SR 100 in Ilwaco, Washington*", Federal Highway Administration, Washington, D.C., 44 p.

Humphrey, D.N., Sanford, T.C, Cribbs, M.M., and Manion, W.P. (1993). "Shear Strength and Compressibility of Tire Chips for Use as Retaining Wall Backfill", *Transportation Research Record 1422*, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp. 29-35.

Interstate Technology & Regulatory Council, ITRC (2003), Alternative Landfill Technologies Team: Technology Overview Using Case Studies of Alternative Landfill Technologies and Associated Regulatory Topics.

Jury, W. A., Gardner, W. R., and Gardner, W. H. (1991). *Soil Physics*, 5th ed., John Wiley and Sons, New York.

Kmet, P. (1994) cited in Landfill Cover and Liner Systems for Water Quality Protection By Philip O'Leary and Patrick Walsh Waste Age, Apr 1, 2002 Landfill Continuing Education Course.

Krynine, D. P. and W. R. Judd. (1957) Principles of Engineering Geology and Geotechnics. NewYork: McGrav-Hill'Book Co., Inc.

Landfill Advisory Committee, (2003). Public Works Department 2101 O'Neil Ave. Cheyenne, WY USA

Landfill Cap: Environmental Expert article Published: October (1997)

Lee, G.F. and Jones-Lee, A., "Recommended Design, Operation, Closure and Post-Closure Approaches for Municipal Solid Waste and Hazardous Waste Landfills," Report, G. Fred Lee & Associates, El Macero, CA, August (1995).

Lee, G. F. and Jones-Lee, A., "Geosynthetic Liner Systems for Municipal Solid Waste Landfills: An Inadequate Technology for Protection of Groundwater Quality," *Waste Management & Research*, 11:354-360 (1993).

Lee, G. F. and Jones-Lee, A., Fred Lee, G. "Problems with Current Approaches for MSW Landfill Closure and Post-Closure" ASCE national conference on Landfill Closure San Diego, CA October, 1995

Levitt, D. G., C. F. Lohrstorfer, M. J. Sully, and J. M. Ginanni, 1996. "An Arid Zone Lysimeter Facility for Performance Assessment and Closure Investigations at the Nevada Test Site." *In:* Proceedings of Waste Management '96 Conference, Tucson, Arizona

Merry, S. M., and Bray, J. D. (1997). ''Time-dependent mechanical response of HDPE geomembranes.'' *J. Geotech. and Geoenvir. Engrg.*, ASCE, 123(1), 57–65.

Misra V. and S.D. Pandey (2004) " Hazardous waste, impact on health and environment for development of better waste management strategies in future in India" *Environment International* October 2004.

Morel-Seytoux, H. J. 1996. "Assessment of the Performance of a Capillary Barrier," pp. 211–17 in *Proceedings of the 3rd International Conference on Tailings and Mine Waste '96*, *Fort Collins, Colorado*, A. A. Balkema, Rotterdam.

Nichols, W.D., 1987, Geohydrology of the unsaturated zone at the burial site for low-level radioactive waste near Beatty, Nye County, Nevada: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2312, 57 p.

Philip O'Leary and Patrick Walsh Waste Age, (2002), Landfill Cover and Liner Systems for Water Quality Protection, Waste Age, Apr 1, 2002 Landfill Continuing Education Course.

Prudic, D.E., 1994b, Effects of temperature on water movement at the arid disposal site for low-level radioactive wastes near Beatty, Nevada [abs.]: Geological Society of America, Abstracts with Programs, v. 26, no. 7, p. 391.

Prudic, D.E., and Striegl, R.G., 1994, Water and carbon dioxide movement through unsaturated alluvium near an arid disposal site for low-level radioactive waste, Beatty, Nevada [abs.]: Eos, American Geophysical Union Transactions, v. 75, no. 16, p. 161.

Roberts, D. W. 1984. Soil Properties Classification, and Hydraulic Conductivity Testing.
Cincinnati, OH: U.S. EPA, SW-925, Draft, March 1984.

SBC (2002) Secretariat of the Basel Convention: Technical Guidelines on Specially Engineered Landfill (D5), Basel Convention series/SBC No. 02/03 First Published in 1997 and reprinted in November 2002

Solid Waste Landfill Design Manual, Washington State Department of Ecology, 1987

Schmeltzer, J. S., L. E. Barker, and D. O. Blout, 1996. *Site Characterization Data from the U-3ax/bl Exploratory Boreholes at the Nevada Test Site*. DOE/NV/11718--003. Bechtel Nevada, Las Vegas, Nevada.

Schafer, R. G. (1978). The Behavioral Characteristics of Selected Northeastern Ohio Clays When Subjected to a Liquid Industrial Waste. In: Proceedings of the First Annual Conference of Applied Research and Practice on Municipal and Industrial Waste. Madison, WI: Dept. of Civil & Environmental Engineering, University of Wisconsin, Sept. 10-13, 1978.

Schroeder, P.R., Dozier, T.S., Zappi, P.A., McEnroe, B.M., Sjostrom, J.W. and Peyton, R.L. (1994) The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model: Engineering Documentation for Version 3, EPA/600/9-94/xxx, U.S. Environmental Protection Agency Risk Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati, OH.

Sharma, H. D., and Lewis Sangeeta, P. (1994). *Waste containment systems, waste stabilization, and landfills design and evaluation*, Wiley, New York.

Solid Waste Landfill Design Manual, Washington State Department of Ecology, 1987 Stephens, D.B., and L.M. Coons. 1994. Landfill performance assessment at a semi-arid site: Modeling and validation. Ground Water Monitoring and Remediation IX(1):101-109.

Somasundaram, S., Caldwell, J. A., Loan, A. R., and LaFountain, L. J. 1999. "Design and Construction of an Evapotranspirative Cover at the OII Landfill," pp. 251–61 in *Proc. Solid Waste Association of North America's 4th Annual Landfill Symposium, Denver, Colorado*,

Stormont, J. C. 1997. "Incorporating Capillary Barriers in Surface Cover Systems," pp. 39-51 in *Landfill Capping in the Semi-Arid West: Problems, Perspectives, and Solutions, May 21–22, Grand Teton National Park, Wyoming*, eds. T. D. Reynolds and R. C. Morris, Environmental Science and Research Foundation, Idaho Falls, Id.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S. (1993). *Integrated solid waste management engineering principles and management issues*, Irwin McGraw-Hill, Boston.

White, R. (1995a). "EPS Geofoam: Unique Solutions to Forming Steep Landfill Embankments," *Geosynthetics World*, Geosynthetics Publications, Ltd., U.K., Vol. 5, No. 2, p. 10.

White, R. (1995b). "EPS Used to Assist in Methane and Radon Gas Venting," *Geosynthetics World*, Geosynthetics Publications, Ltd., U.K., Vol. 5, No. 2, p. 12.

Zimmie T.F. and Moo-Young H.K. (1995). "Hydraulic Conductivity of Paper Sludges Used for Landfill Covers," *Geoenvironment 2000*, Geotechnical Special Publication No. 46, D.E. Daniel and Y.B. Acar (eds.), ASCE, New York, NY, Vol. 2, pp. 932-946.

٧- الملاحق

ملحق (١)
قائمة الحضور للمشاركين فى أجتماعات الخبراء

الدول	اســـماء الخبراء	اجتماع الخبراء الأول ٥-٨/٧/٢٠٠٤	اجتماع الخبراء الثانى ٢٢-٢٥/١١/٢٠٠٤	اجتماع الخبراء الثالث ٢٣-٢٦/٥/٢٠٠٥	بريد الكتروني
اسماء الخبراء من الدول العربية					
مصر	١- م/ عادل الشافعي	√	√	√	Adel221261@yahoo. com
البحرين	٢- أ/ عبد الكريم حسن راشد	√	√	√	Kme2004@myway. com
المغرب	٣- السيد/ سمير يسرى	√		√	Sayousry@ yahoo.fr
	٤- السيد/ اجعير عبد القادر		√		ajirabdo@yahoo.fr
سوريا	٥- م/ فؤاد العك	√	√	√	Fa-ok@scs-net.org
الأردن	٦- د/محمد عقله الخشاشنة	√	√	√	mkhashashhneh@yahoo.com
قطر	٧- عبد الهادى ناصر المرى	√			hkhowar@hotmail.com
	٨- ا/حسن محسن خوار	√	√		hkhowar@hotmail. com
عمان	٩- م/خميس بن مرهون السيابي	√	√		Kmsalsiy@omantel.net.om
اليمن	١٠- م/ نصر عبد الله قحطان			√	n.qhtal@yahoo.com
	١١- م/ علي عبد الله الذبحاني	√	√	√	dobhani2822@ yahoo.com
	١٢- د. درهم منصور أبو حاتم			√	derhemmansor@ yahoo.co
الكويت	١٣- م/ فاطمة فرحان عويد			√	Fatima 1965@hotmail.com
	١٤- م/ منال أحمد صالح	√			Wish_ubest@yahoo.com
موريتانيا	١٥- أ/ سيدى ولد الطالب			√	Sidi_taleb78@ yahoo.com.fr
	١٦- حمود ولد سيد أحمد	√			Hosa65@hotmail.com
السعودية	١٧- م / سليمان بن محمد الزبن	√		√	Smz2002@hotmail. com
ليبيا	١٨- فرج أبو بكر المبروك	√			F_elmabrouk@ yahoo.co.uk
	١٩- م. عمر أبو القاسم أبو خراوطة			√	OmerApril@ hotmail.com
العراق	٢٠- أ/ رجاء عبد الوهاب			√	Rajaa_alassaf@ yahoo.com
	٢١- د/ جذوة عبد الكريم	√			Moen_iraq@yahoo.com
فلسطين	٢٢- د. محمد أبو شمالة			√	mshammaleh@ yahoo.com
	٢٣- م/ عاطف جابر	√			amjaber@hotmail.com

تونس	٢٤- أ. عبد الرازق المرزوقى			√	marzoukazbderrazak@yahoo.fr
سكرتارية اتفاقية بازل					
جنيف	Mr. Jeremy Richardson	√			Jeremy.richardson@unep.ch
جنيف	٢٦- د. ابراهيم شافعى		√	√	Ibrahim.Shafii @ unep.ch
المركز الإقليمى للتدريب ونقل التكنولوجيا للدول العربية					
مصر	٢٧- أ.د/ مرتضي العارف	√	√	√	elaref@baselegypt. org
مصر	٢٨- أ.د/ سعيد أبو العلا	√	√	√	saidlec@ig-eg.com
مصر	٢٩- د/ سعيد دحروج	√	√	√	sdahroug@ baselegypt.org
مصر	٣٠- د/ أشرف المغربي	√	√	√	amoe@baselegypt.org
مصر	٣١- د/ أحمد فاروق	√	√	√	afarouk@ baselegypt.org
مصر	٣٢- أ.د/ محمد عز الدين الراعي	√	√	√	Elraey@ link.net
مصر	٣٣- أ.د/ ابراهيم الشامي		√	√	I_shamy@hotmail.com
مصر	٣٤- أ.د. محمد الزرقا			√	m_elzarka@hotmial. Com
مصر	٣٥- أ.د/ نفيسة أبو السعود		√		Nefisa_sayed@hotmail.com
مصر	٣٦-أ.د. محمد عبد الحميد الشرقاوي	√	√		maelsharkawi@yahoo.com
مصر	٣٧- د/ عصام عبد الحليم	√		√	
مصر	٣٨- أ.د. طارق العربى			√	
مصر	٣٩- د/ عدلى عبد العزيز			√	
مصر	٤٠- د/ شوقى سكران			√	shaw kusakran@ yahoo.com
مصر	٤١- أ.د. أحمد ابو خضره	√			
مصر	٤٢- د. عيد رجب	√		√	
مركز تنمية البحوث					
مصر	٤٣- أ.د. ايناس مصطفى	√	√	√	Inas2001us@yahoo.com
مؤسسة يوم المستشفيات					
مصر	٤٤- د/ محمد عبد السلام البنا			√	dayhospl@internetegypt. com
مصر	٤٥- ك/ نهى عبد الحميد			√	noha_hamdy@ yahoo. com
شركة جرين للاستشارات البيئية					
مصر	٤٦- د/ طارق عبد الحميد		√	√	green@green grouf. info
شركة انفيرونكس					
مصر	٤٧- م/ راجية عفيفى		√	√	environies@link.net
جهاز شئون البيئة – وزارة الدولة لشئون البيئة – مصر					

مصر	٤٨– م/ أحمد ابو السعود	√			aahmed_hm@yahoo.com
مصر	٤٩– د. موسى ابراهيم موسى	√	√	√	moussai@link.net
مصر	٥٠– ك . محمد حامد على			√	mhenv@yahoo.com
مصر	٥١ – د. طارق عيد	√	√	√	Tarek_elruby@yahoo.com
هيئة الاستشعار عن بعد					
مصر	٥٢– أ.د. عاطف شريف	√			aosherif@navsr.sc.eg
مصر	٥٣– د/ ممدوح عابدين	√			
هيئة الثروة المعدنية					
مصر	٥٤– د. زينهم الألفى	√			
مصر	٥٥–د/ أحمد محمد نور		√	√	Anoor51@yahoo.com
مصر	٥٦–قيصر حسين صابر			√	kaissersaleh@yahoo.co.uk
مشروع التخلص من النفايات الخطرة – محافظة الاسكندرية					
مصر	٥٧–د/ ماركو التونين		√		
	٥٨– د/ ضيف منصور		√		

يقدم المركز الاقليمى للتدريب و نقل التكنولوجيا للدول العربية هذه الادلة الارشادية بهدف المساهمة فى تطوير الممارسات البيئية السليمة للتخلص من المخلفات الخطرة فى المناطق الشديدة الجفاف من منطقتنا العربية. و على من يقرأ هذه الادلة الأرشادية و يود أن يساهم فى تحسينها و تطويرها فى الطبعات القادمة الكتابة الى المركز الاقليمى على العنوان المدون اسفل هذه الصفحة أو على البريد الالكترونى للمركز:

basel_cairo@baselegypt.org
http://www.baselegypt.org

المركز الاقليمى للتدريب و نقل التكنولوجيا للدول العربية
جامعة القاهرة – الجيزة
ص.ب. ٤٥٣ الاورمان، جيزه ١٢٦١٢
جمهورية مصر العربية

ISSN: 19545-2005