فرایند دفن پسماندهای خطرناک

مترجم: بهزاد ولی‌زاده
کارشناس ارشد مهندسی عمران ـ محیط زیست

مقدمه

خاکچال‌ها بخش ویژه‌ای از فرایند مدیریت پسماندهای خطرناک را همواره به خود اختصاص داده‌اند. خاکچال به سیستمی طراحی شده اطلاق می‌شود که پسماندهای دورریز را به منظور جلوگیری و به حداقل رساندن انتقال آلودگی به محیط زیست در خود جای می‌دهد.

وجود خاکچال‌ها بنا به دلایل ذیل ضرورت دارد:

۱) سایر فناوری‌های مدیریت پسماندهای خطرناک همچون کاهش در مبدأ، بازچرخش و به حداقل رساندن پسماندها قادر به حذف پسماندهای تولید شده نمی‌باشد.

۲) در نتیجه به‌کارگیری فناوری‌های تصفیه پسماندهای خطرناک همچون زباله‌سوزی و تصفیه بیولوژیکی همواره زایدات جانبی دیگری تولید می‌شود.

از آنجایی که تولید پسماندهای خطرناک در آینده قابل پیش‌بینی نمی‌تواند به صفر برسد بنابراین گزینه دفن اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

به لحاظ تاریخی بسیاری از تسهیلات دفع زمینی پسماندها بدون توجه به مسائل حفظ محیط زیست طراحی، ساخت و راهبری شده و در نتیجه، هزینه‌های کلی اجتماعی و زیست محیطی دفن مدنظر و مورد توجه واقع نبوده است.

در حال حاضر جامعه باید هزینه‌های مذکور را از طریق پاک‌سازی سایت‌های قدیمی از جمله آن مواردی که توسط برنامه سوپرفاند[1] در ایالات متحده آمریکا و فهرست منابع آلاینده زمین در جامعه اروپا تعیین شده است پرداخت نماید. این موضوع موجب تحریک و افزایش حساسیت عمومی به ساخت تسهیلات جدید نگهداری و دفن پسماند می‌گردد.

با وجود این منظر تاریخی، مسئولیت‌های مدیران جدید پسماندهای خطرناک چه خواهد بود؟

نکته قابل توجه این است که به دو مسئله کاهش میزان پسماندهای تولیدشده در مبدأ و تصفیه پسماندهای غیرقابل کاهش به صورت توأم پرداخته شود.

برای پسماندهای خطرناک غیرقابل اجتناب و بقایای خطرناک حاصل از فرایند تصفیه آن، طراحی و ساخت تسهیلات ایمن دفن ضرورت دارد. ساخت تسهیلات مذکور باید از بهترین فناوری‌های دردسترس و پیشرفته‌ترین روش‌های طراحی و تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده گردد، به نحوی که انتشار آلاینده‌های موجود به محیط زیست طبیعی به حداقل و در حالت ایده‌آل به صفر برسد.

در قوانین و مقررات فدرال ایالات متحده آمریکا خاکچال پسماندهای شهری به عنوان «بخش جداگانه‌ای از یک زمین یا منطقه گودبرداری شده که پسماندهای خانگی را در خود جای می‌دهد» تعریف شده است و طبق این مقررات،

پسماندهای خطرناک نباید به خاکچال های در نظر گرفته شده برای پسماندهای خانگی وارد شوند.

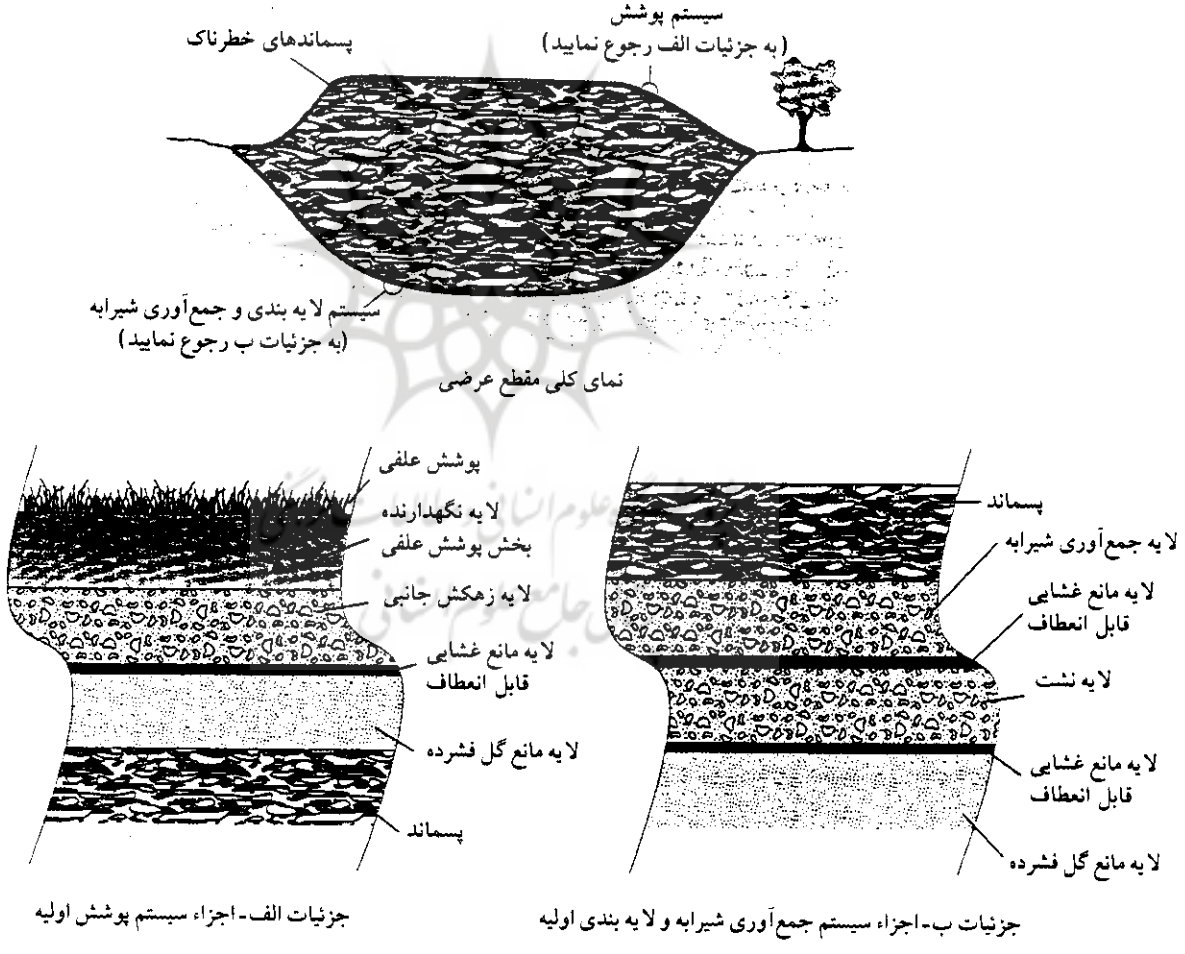
در این بخش طراحی خاکچال های پسماندهای شهری موردنظر نمی باشد ولی در هر حال به علت اینکه محل های دفن پسماندهای شهری مقادیر قابل توجهی از پسماندهای خطرناک خانگی را دریافت می کنند، بسیاری از مفاهیم طراحی و مواردی که برای تسهیلات دفن پسماندهای خطرناک به کار برده می شود، برای پسماندهای شهری هم کاربرد دارد.

عمده ترین ضوابط طراحی که برای تسهیلات دفن پسماندها مورد توجه می باشد عبارتند از:

۱)کنترل قسمت بالای خاکچال به منظور به حداقل رساندن انتشار هوا و نفوذ از طریق نزولات جوی و رواناب های سطحی

۲) کنترل قسمت کف خاکچال به منظور حداکثر جمع آوری شیرابه و به حداقل رساندن انتقال آلودگی از این قسمت

اگرچه انواع مختلف طراحی خاکچال ممکن می باشد، در شکل (۱)مقطع عرضی خاکچال پسماندهای خطرناک نمایش داده شده است.



شکل ۱.مقطع عرضی خاکچال پسماندهای خطرناک با جزئیات ذکر شده در قسمت الف و ب

در این بخش تأکید بر فناوری‌های به کار گرفته شده در طراحی و ساخت تسهیلات دفن پسماند می‌باشد.

عملیات خاکچال

ردیابی پسماند در مدیریت پسماندهای خطرناک در تسهیلات دفن، که شامل ثبت جزئیات مرتبط با پسماند از محل تولید تا لحظه دفن نهایی می‌باشد، بسیار ضروری است. محل دفن نهایی شامل واحدهایی تحت عنوان سلول[۲] هستند که به شکل شطرنجی طراحی و ساخت می‌شوند. اطلاعات ثبت شده درخصوص واحد ایجادکننده پسماند، نوع و ویژگی پسماند و همچنین مکان و زمان دفن پسماند نگهداری می‌شوند. اساسی‌ترین دلیل ردیابی دقیق و دفن در سلول‌های مذکور، اطمینان یافتن از سازگاری پسماندها است. بسیاری از پسماندهای دفن شده در اثر واکنش با هم می‌توانند موجب تولید حرارت، احتراق و یا گازهای سمی شوند. با ردیابی نوع پسماند و محل استقرار آن در تسهیلات دفن پسماند می‌توان از طریق کنترل سازگاری و هماهنگی پسماندها، شرایط ایمنی را برای پرسنل و کارکنان محل دفن پسماند و همچنین ایمنی بلندمدت محل دفن از طریق به حداقل رساندن یا جلوگیری از واکنش‌های شیمیایی خطرناک و بالقوه زیانبار فراهم نمود. جزئیات مرتبط با سازگاری پسماندها در شکل (۲) آورده شده است.

از دیگر مقاصد سیستم دقیق ردیابی پسماند می‌توان به بازیابی منابع و یا بهبود روش‌های تصفیه جایگزین در آینده، همچنین توانایی تعیین دقیق نقایص موجود در سیستم که در آینده منجر به انتشار و نمایان شدن آلاینده‌های خاص در محیط زیست خواهد شد، به عنوان مثال نشت شیرابه‌ها، اشاره نمود.

از جمله ملاحظات ضروری در عملیات خاکچال، فرایند پوشش روزانه است که در پایان هر روز کاری روی پسماندهای دفن شده انجام می‌شود. پوشش روزانه عمدتاً متشکل از خاک با ضخامت ۰/۳ متر می‌باشد. هدف از پوشش روزانه، به حداقل رساندن انتشار بو و انتقال آلاینده‌ها و رعایت حداکثر ملاحظات زیباشناختی است.

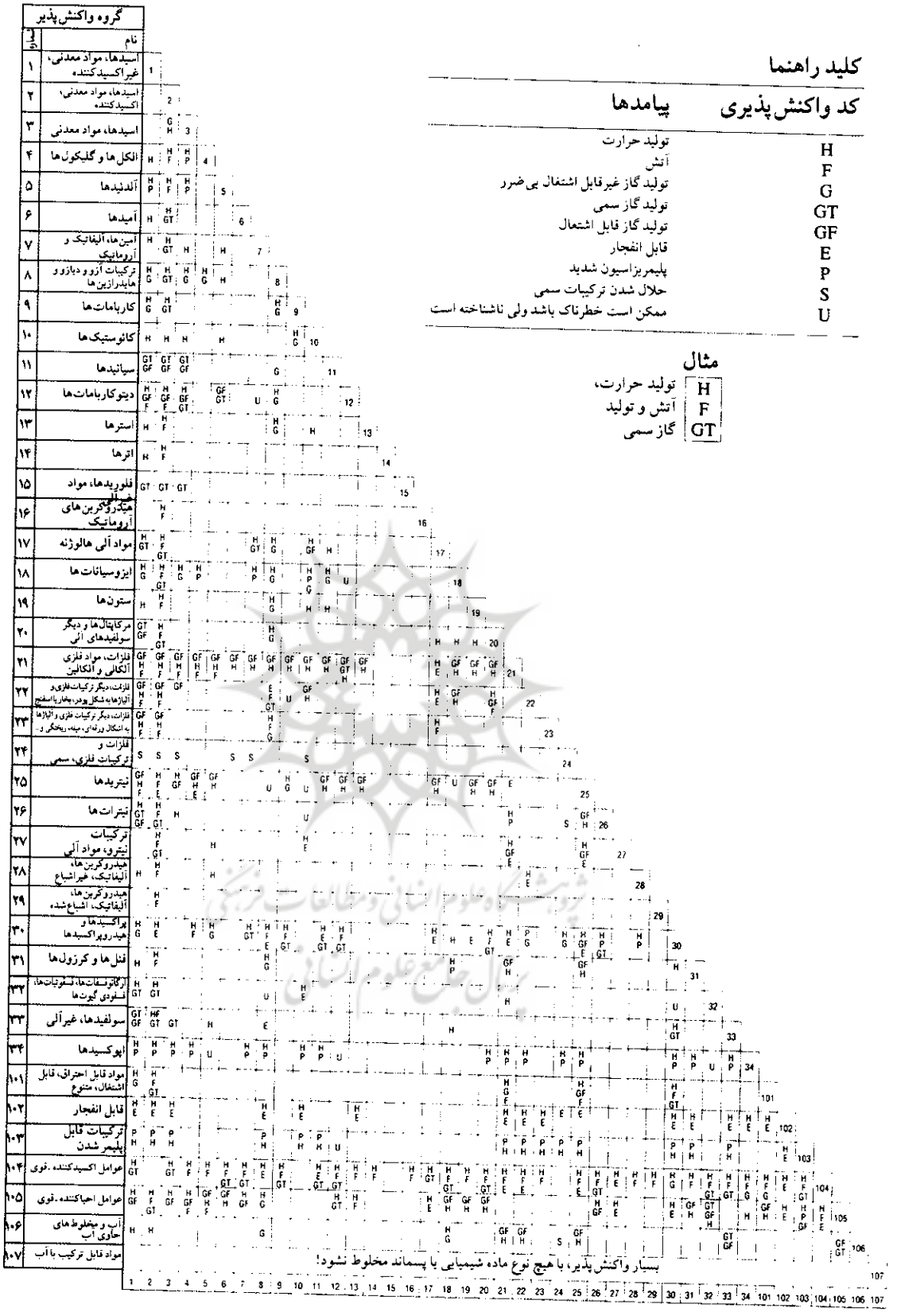
اگرچه فواید پوشش روزانه پسماند دفن شده واضح و روشن است ولی از سوی دیگر استفاده از خاک غیرآلوده برای این منظور نه تنها هزینه بالایی دارد بلکه موجب پر شدن و مصرف فضای باارزش خاکچال می‌گردد. همچنین با عبور مواد تراوش شده از لایه‌های پوشش داده شده موجب به وجود آوردن محیطی با ترکیب پیچیده در خاکچال می‌گردد. بنابراین انجام پوشش روزانه باید از نظر فواید و مضاری که ممکن است ایجاد نماید مورد ارزیابی قرار بگیرد.

برای انجام عملیات دفن پسماند علاوه بر وجود وسایط و تجهیزات سنگین نیاز به وسایل حفاظت فردی برای کارکنان محل مذکور لازم و ضروری است. وسایل و تجهیزات سنگین شامل بلدوزر، کمپکتور و همچنین جرثقیل برای دفن کانتینرهای حاوی پسماندهای خطرناک می‌باشد. در تمام مراحل دفن پسماندهای خطرناک باید اقدامات ایمنی لازم برای جلوگیری از بروز هرگونه حادثه‌ای که سلامت کارکنان و محیط زیست منطقه را به خطر بیاندازد به عمل آورده شود.

پس از به اتمام رسیدن مراحل دفن پسماند، با پر شدن خاکچال و انجام پوشش نهایی، شیرابه در اثر فعل و انفعالات مربوطه ایجاد می‌شود. بنابراین پیش‌بینی تسهیلات لازم برای جمع‌آوری و تصفیه شیرابه ضروری است. فرایند تصفیه شیرابه پسماندهای خطرناک مشابه دیگر پسماندهای مایع خطرناک است که در فصول ۹ و ۱۰ منبع حاضر به آن پرداخته شده است.

پیش‌بینی میزان شیرابه تولید شده ساده است. تجربیات به دست آمده نشان داده است که پیش‌بینی میزان شیرابه در سلول‌هایی که انواع پسماندها در آن دفن می‌شود در مقایسه با سایت‌های کنترل نشده دفن پسماندهای خطرناک امکان‌پذیرتر می‌باشد.

یکی از الزامات ضروری در طراحی، ساخت و عملیات تسهیلات دفن پسماند پایش بلندمدت اطلاعات موردنیاز شامل اندازه‌گیری کیفیت آب‌های زیرزمینی و هوای اطراف محل دفن و همچنین ترکیب و میزان شیرابه و روند انتقال آلاینده‌های تولید شده به منظور حفاظت پایدار محیط زیست می‌باشد. پایش موردنظر باید قبل از راه‌اندازی تسهیلات دفن در هنگام راهبری و پس از پر شدن و بسته شدن سایت دفن به طور مستمر انجام شود.



شکل ۲.نمودار سازگاری برای نگهداری پسماندهای خطرناک

مکان یابی

انتخاب محل دفن پسماندهای خطرناک، همان گونه که در فصل هشتم منبع حاضر توضیح داده شده است، از نظر مسائل سیاسی بسیار حائز اهمیت است. در این بخش به طور خلاصه به جنبه هایی از مسائل فنی تسهیلات نگهداری موقت و دفن پرداخته شده است.

به لحاظ فنی در انتخاب محل باید ملاحظات مربوط به مسائل زمین شناختی، لرزه نگاری، هیدروژئولوژی، هیدرولوژی، تراکم جمعیت، دریافت کننده های آلاینده های زیست محیطی و انتقال را در نظر بگیرند.

محیط طبیعی محل دفن پسماندها باید به گونه‌ای باشد که سیستم های مهندسی طراحی شده آن در جهت حفظ سلامت عمومی و محیط زیست برنامه ریزی شده باشد. به عنوان مثال منطقه‌ای که با شیب رو به بالا نسبت به پائین ترین سطح آب های زیرزمینی قرار گرفته است در صورت انتخاب برای محل دفن و نشت غیرقابل پیش بینی شیرابه، آلاینده ها در مسیر خلاف جهت منابع آب زیرزمینی انتشار خواهند نمود. از سوی دیگر قرار گرفتن محل دفن در منطقه رسی و حفره های آب زیرزمینی دقیقاً در زیر محل در نظر گرفته شده، نیازمند انجام اقدامات ایمنی شدید جهت حفظ محیط زیست می باشد.

ویژگی طبیعی محیط زیست محل دفن نیز باید در نظر گرفته شود. به عنوان مثال مناطق زیادی در ایالات متحده آمریکا وجود دارد که آب های زیرزمینی آن به علت دارا بودن ترکیبات شیمیایی خاص به طور طبیعی غیرقابل مصرف می باشند. انتخاب این گونه مناطق برای راه‌اندازی محل دفن پسماندها بسیار مناسب تر از مناطقی است که سفره های آب زیرزمینی قابل شرب و مصرف دارند. به همین قیاس مناطق خاکی و خشک از مناطق سبز مناسب تر می باشند.

علاوه بر مسائل زمین شناختی و هیدرولوژی طبقات زیرین زمین محل دفن، همچنین باید مسائل مربوط به هیدرولوژی آب های سطحی نیز در نظر گرفته شود.

بی شک ساخت پوشش نهایی محل دفن به طریق مهندسی موجب افزایش انحراف آب های محیطی از محل مذکور می شود. در طراحی محل دفن باید به میزان ظرفیت و حساسیت آب های پذیرنده نسبت به رواناب های سطحی و تخلیه شیرابه تصفیه شده توجه شود. جریانات آبی با ارزش همچون مواردی که برای آب آشامیدنی و یا آنچه که برای ورزش ماهیگیری در نظر گرفته شده است باید توجه خاص شوند.

علاوه بر موارد ذکر شده در مکان یابی محل دفن باید مسائل مربوط به حمل و نقل (همچون ظرفیت جاده های دسترسی و نزدیک بودن به بازار منطقه‌ای) در نظر گرفته شود.

از دیگر مسائل مرتبط با انتخاب محل دفن و تسهیلات پسماندهای خطرناک می توان به مواردی همچون همجواری با مناطق سیل گیر،[3] تالاب ها،[4] زیستگاه های گونه های در معرض خطر، مناطق پرورش پرندگان، زمین های حاصلخیز کشاورزی، نزدیکی به مناطق مسکونی (تراکم جمعیت، مدارس، بیمارستان ها، خانه های مراقبت از سالمندان و موارد این چنینی) اشاره نمود.

سیستم های لایه‌بندی[5] و جمع آوری شیرابه

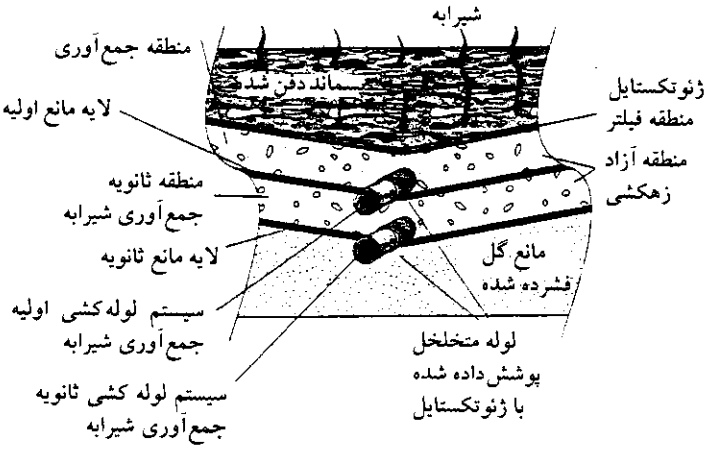
در دهه های اخیر مطالعات و سرمایه گذاری های بسیار زیادی جهت توسعه سیستم های لایه‌بندی تسهیلات دفن پسماندهای خطرناک، در مقایسه با سایر فناوری های دفع پسماند، صورت گرفته است. هدف از لایه‌بندی محل دفن پسماند، جلوگیری از انتقال آلاینده ها است. از آنجایی که هیچ سیستم لایه‌بندی کارایی ۱۰۰ درصد ندارد، ملاحظات مهندسی ارائه شده در ذیل جهت جبران نقایص موجود در عملکرد سیستم های مذکور به کار برده می شود.

از آنجایی که تولید شیرابه اجتناب ناپذیر می باشد، جمع آوری شیرابه لازم و ضروری است. بنابراین کف ترانشه دفن باید تشکیل شده باشد از:

۱) لایه های جایگزین از موادی که از عبور آلاینده ها ممانعت به عمل آورد.

۲) لایه بندی هایی که در جمع آوری شیرابه ایجاد شده از کف ترانشه دفن به کار رود (شکل ۱)

با تکامل پیدا کردن فناوری لایه‌بندی با استفاده از مواد و ترکیبات جدید، سیستم لایه‌بندی چندگانه ابداع شده است که در حال حاضر در ایالات متحده آمریکا به کار برده می شود (شکل ۳).



شکل ۳.نمایی از سیستم لایه‌بندی و جمع‌آوری شیرابه برای پسماندهای خطرناک خانگی

در ادامه، مفاهیم و اصطلاحات مربوط به ساختار و عملکرد سیستم لایه بندی ارائه شده در شکل ۳ به تفصیل بیان خواهد شد.

نفوذ و حرکت تدریجی رسوبات در طی دوره راهبری و حتی پس از پر شدن ترانشه و تعطیلی محل دفن، البته با روندی بسیار آهسته تر از دوره راهبری، اجتناب ناپذیر است.

شیرابه تلفیقی از نفوذ مستقیم رسوبات از مواد دفن شده و مایعات خارج شده در اثر فشردگی پسماندهای دفن شده می باشد. شیرابه تراوش شده در اثر نیروی جاذبه به سمت کف ترانشه حرکت می کند. در اثر یکی شدن و به هم پیوستن نیروهای رانش، مواد ذره‌ای در حالت معلق (جامدات معلق) و مواد معلق به همراه شیرابه انتقال پیدا می کنند. به طور کلی به استثنای کف ترانشه دفن، محیط خاکچال به صورت محیطی نسبتاً اشباع شده در نظر گرفته می شود.

اولین قسمتی که شیرابه از آن عبور می کند بخش فیلتر[۶] است (شکل ۳). بخش فیلتر می تواند از ژئوتکستایل[۷] و یا شن و ماسه با دانه‌بندی مناسب تشکیل شده باشد که با عبور شیرابه از آن مواد معلق فیلتر می شوند. برای افزایش ثبات ساختاری این بخش می توان ژئوگرید[۸] نیز به آن اضافه کرد.

بخش فیلتر، جداکننده پسماندهای دفن شده از قسمت نسبتاً آزاد زهکشی که در اطراف لوله‌کشی اولیه جمع آوری شیرابه قرار دارد می باشد. در اولین بخش جمع آوری شیرابه،[۹] شیرابه ایجاد شده می تواند بدون ممانعت به قسمت لوله جمع آوری شیرابه جهت تصفیه نهایی حرکت کند.

از آنجایی که حرکت شیرابه از لایه‌بندی، بستگی به فشار هیدرولیکی[۱۰] دارد، بهتر است که این فشار به حداقل رسانده شود. فشار روی لایه بند را می توان از طریق طراحی مناسب سیستم جمع آوری شیرابه با انتخاب صحیح فضا و اندازه لوله جمع آوری، مواد زهکشی و شیب به حداقل رساند. سیستم جمع آوری شیرابه به طور معمول از مواد دانه بندی شده با قابلیت انتقال بالا تشکیل شده است که در آن فرایند زهکشی به سهولت انجام شود. در انتخاب موادی همچون شن و ریگ باید ضوابط طراحی فیلتراسیون رعایت گردد. این ضوابط شامل نفوذپذیری کافی برای سهولت در حرکت شیرابه و ممانعت از عبور مواد جامد است.

از لایه ژئوتکستایل می توان به عنوان فیلتری بین پسماندهای دفن شده و سیستم جمع آوری شیرابه استفاده نمود. مواد دانه‌بندی منطقه زهکش باید قابلیت کافی برای نگهداری و پایداری سیستم لوله‌کشی جمع آوری شیرابه داشته باشد.

لوله‌کشی مخصوص جمع آوری شیرابه نیز باید استحکام کافی در برابر شکستگی[۱۱] داشته باشد.

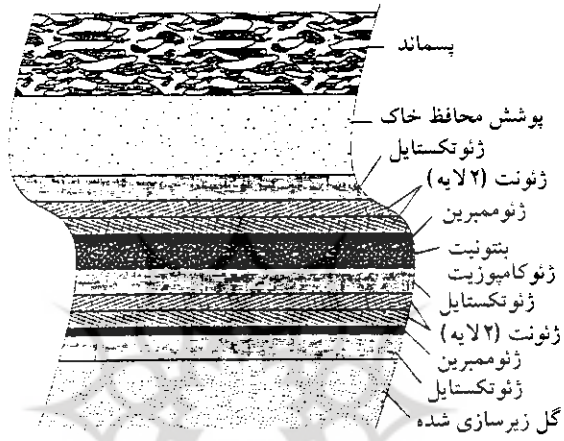
یکی از نگرانی های عمده در سیستم جمع آوری شیرابه، گرفتگی لوله های جمع آوری است. گرفتگی لوله های مذکور در اثر عملکرد نامناسب سیستم فیلتراسیون و ورود مواد جامد به آنها و همچنین واکنش های بیولوژیکی و شیمیایی انجام شده در لوله های انتقال شیرابه صورت می گیرد. به منظور جلوگیری از این امر می توان از لایه بندی های جایگزین همچون ژئونت[۱۴] استفاده نمود.

ژئونت ها مواد ساختگی به شکل توری های شبکه ای هستند که از عبور مواد ذره ای به شبکه جمع آوری شیرابه و گرفتگی آن جلوگیری می نمایند. ژئونت ها در سیستم های جمع آوری شیرابه مورد استفاده قرار می گیرند (شکل ۴).

اخیراً مطالعات آزمایشگاهی زیادی روی اثربخشی عملکرد تایرهای مستعمل تکه تکه شده به عنوان مواد زهکش در جمع آوری شیرابه صورت گرفته است. نتایج حاکی از آن بوده است که اگرچه استفاده از این مواد در اثر بارگذاری و فشردگی موجب کاهش قابلیت انتقال هیدرولیکی به میزان ۲ تا ۳ برابر می شود، ولی از سوی دیگر کارایی مثبت لاستیک های مذکور به عنوان مواد زهکشی به اثبات رسیده است. این مواد نه تنها نیاز هیدرولیکی را برای جمع آوری شیرابه تأمین می کنند بلکه نشان داده شده است که به عنوان جاذبی کارآمد در حذف آلاینده های ارگانیک همچون بنزن عمل می نمایند.

در قسمت زیرین اولین بخش جمع آوری شیرابه، لایه مانع اولیه[۱۵] قرار می گیرد. در ایالات متحده آمریکا این لایه مانع باید از مواد ساختگی شناخته شده تحت عناوین ژئوممبرین[۱۶] یا لایه غشایی قابل انعطاف[۱۷] تهیه شده باشد.

هر دو لایه بند ژئوتکستایل و ژئوممبرین (همین طور سایر محصولاتی که برای جایگزینی با مواد مورد استفاده در گذشته توسعه و ساخته شده اند) تحت عنوان ژئوسنتتیک ها[۱۸] شناخته شده اند.



شکل ۴. نمایی از لایه بند ژئونت و سیستم های جمع آوری شیرابه

عملکرد دومین بخش جمع آوری شیرابه[۱۹] شبیه سیستم جمع آوری شیرابه اولیه است و زیر لایه مانع اولیه قرار گرفته است. این سیستم ثانویه تحت عنوان سیستم شناسایی و ردیابی نشت شناخته شده بود و در حال حاضر به آن سیستم ثانویه جمع آوری شیرابه گفته می شود که مایعات حاوی مواد آلاینده وارد شده به بخش دوم لایه بندی را دریافت می نماید.

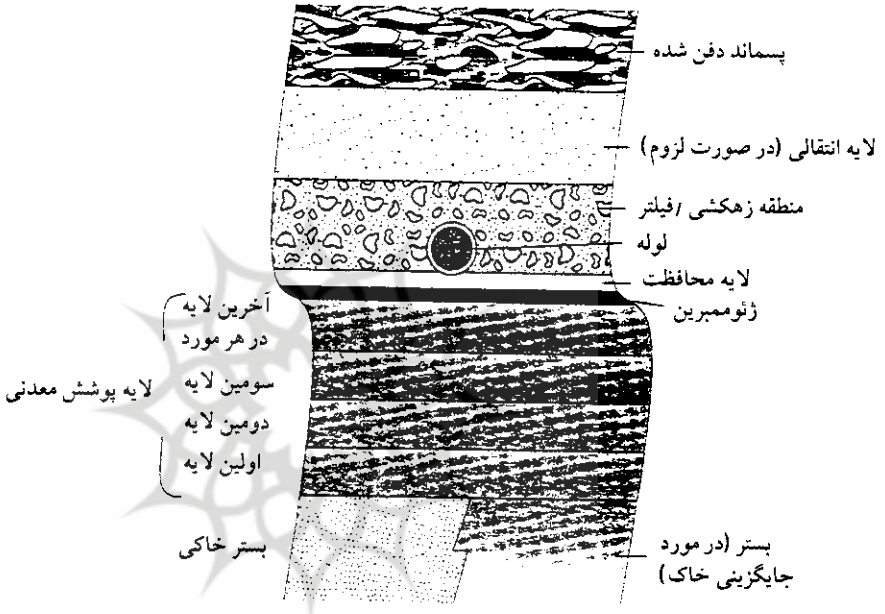
بخش زیرین سیستم جمع آوری شیرابه را لایه ژئوممبرین دیگری تحت عنوان لایه مانع ثانویه[۲۰] تشکیل داده که عملکردی شبیه لایه مانع اولیه دارد. این بخش مانعی هیدرولیکی است که از پائین رفتن آلاینده ها جلوگیری نموده و به سیستم جمع آوری ثانویه اجازه جمع آوری شیرابه ایجاد شده را می دهد.

در یک سیستم ایده‌آل، جریان شیرابه توسط لایه مانع اولیه متوقف شده و در آنجا برای فرایند تصفیه جمع‌آوری می‌شود. ولی در هر حال اثبات شده است که امکان نشت در همه انواع لایه‌بندی وجود دارد. مطالعات انجام شده نشان داده است که نرخ قابل انتظار نشت شیرابه از لایه اولیه حدود ۲۲ گالن در ایکر[۳۱] در روز می‌باشد.

پائین‌ترین بخش سیستم اولیه و ثانویه جمع‌آوری شیرابه و موانع ژئوممبرین را مانع سوم تشکیل داده است. این لایه فیلترها از جنس ژئوتکستایل، لایه‌های زهکش از نوع ژئونت و لایه‌های مانع از ژئوممبرین و ژئوکامپوزیت[۳۲] تشکیل شده‌اند.

ژئوکامپوزیت یا لایه گل ژئوسنتتیک،[۳۳] گل مونت موریلونتیک سدیم[۳۴] متصل به ژئوتکستایل است که با ایجاد یک لایه گل نازک میزان نفوذ را به حداقل می‌رساند.

در طراحی اروپایی، تأکید بر مواد طبیعی و به حداقل رساندن استفاده از ژئوسنتتیک‌هاست. (شکل ۵) مثالی از لایه‌بندی



شکل ۵. سیستم‌های لایه‌بندی و جمع‌آوری شیرابه در اروپا

عمدتاً متشکل از «مواد طبیعی»، گل فشرده شده یا گل مخلوط شده با خاک طبیعی مخصوص لایه‌بندی می‌باشد. وجود سومین لایه مانع برای جلوگیری از عبور احتمالی آلاینده‌های نشت شده از دومین سیستم جمع‌آوری شیرابه، ضروری می‌باشد.

نوع دیگری از سیستم لایه‌بندی که در (شکل ۴) نشان داده شده است نمونه‌ای است که در خاکچال‌های مخصوص پسماندهای صنعتی و شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این سیستم عمدتاً از لایه‌بندی ژئوسنتتیک برای هر دو بخش زهکش و مانع استفاده می‌شود.

ترکیبی است که از ژئوممبرین در لایه گل (لایه پوشش معدنی) مستقیماً استفاده شده است. بدیهی است در به‌کارگیری رویکرد مذکور نسبت به تعیین درجه ایمنی قابل حصول در ارتباط با استفاده از عناصر مختلف باید پایش مخاطرات ممکن در انتقال آلاینده‌ها به منابع پذیرنده در محیط زیست صورت بگیرد.

تحلیل سیستم‌های ترکیبی

همان طور که در قسمت‌های قبل گفته شد، در طراحی لایه‌بندی خاکچال باید تأکید بر مقاومت در برابر انتقال

آلاینده‌ها با اصول هیدرولیکی باشد. استفاده از سیستم‌های لایه‌بندی ترکیبی این امکان را برای محدود نمودن انتقال نفوذی و ادوکتیو[۲۵] آلاینده‌ها فراهم کرده است. انتقال آلاینده‌ها تحت تأثیر فاکتورهای مختلفی همچون هیدرولیز، جذب، یونیزاسیون، رسوب و تغییر ماهیت زیستی قرار دارد.

یک لایه‌بندی طراحی شده برای کاهش نرخ انتقال آلاینده‌ها به محیط زیست باید:

۱) قابلیت انتقال هیدرولیکی را به حداقل برساند.

۲) نرخ نفوذ ملکولی را به حداقل برساند.

۳) به تعویق انداختن انتقال را بالا ببرد.

لایه‌بندی‌های ترکیبی از مواد متفاوتی تشکیل شده‌اند که هر کدام در به دست آمدن یک یا چند مورد از اهداف فوق کارایی دارند. مواد و ترکیبات سیستم لایه‌بندی ترکیبی می‌تواند شامل موارد ذیل باشد:

بنتونیت،[۲۶] ژئولیت[۲۷] (مناسب برای مواد غیرآلی در شیرابه)، گل عمل‌آوری شده آلی، خاکستر با میزان کربن بالا (مناسب برای ترکیبات آلی موجود در شیرابه) و مواد ژئوسنتتیک.

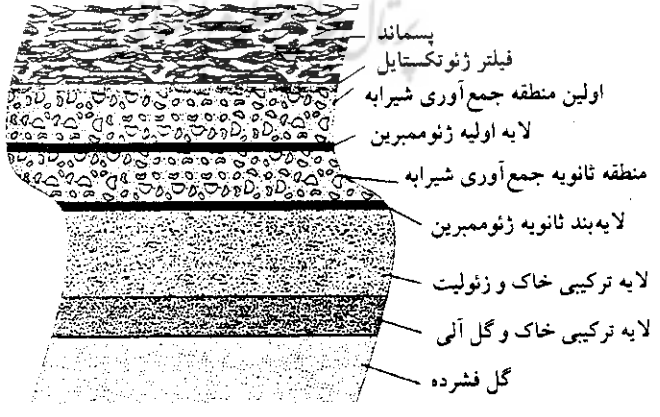
استفاده از مواد با قابلیت جذب بالا برای تقلیل دادن روند انتقال آلاینده‌ها به خوبی به اثبات رسیده است. نظریه تراوش آلاینده‌ها از طریق نفوذ ملکولی به تنهایی در سیستم‌های لایه‌بندی مورد آزمایش قرار گرفته است. در این رویکرد مبنای طراحی در محدود ساختن روند انتقال هیدرولیکی از طریق موانع هیدرولیکی و مکانیسم ابقای انتقال، نفوذ، است. در این رویکرد می‌توان با معرفی سیستم لایه‌بندی ترکیبی، گامی فراتر در به حداقل رساندن انتقال نفوذی برداشت.

(شکل ۶) مثالی از سیستم لایه‌بندی ترکیبی است که بخش‌های جمع‌آوری کننده شیرابه و ممانعت کننده در انتقال آن را به همراه موادی که نرخ نفوذ را در سیستم کاهش می‌دهد به صورت توأم مورد استفاده قرار داده است.

موادی که انتقال آلاینده‌های غیرآلی را به تعویق می‌اندازند شامل بنتونیت کلسیم، بنتونیت سدیم و ژئولیت می‌باشند. موادی که انتقال آلاینده‌های آلی را کاهش می‌دهند شامل خاکستر با کربن بالا و گل آلی عمل‌آوری شده می‌باشد. گل آلی موجود در ترکیب سیستم لایه‌بند ترکیبی در نگهداری مواد آلی با وزن ملکولی بالا مؤثر می‌باشد در حالی که قابلیت خاکستر در نگهداری مواد آلی با وزن ملکولی پائین می‌باشد. مطالعات انجام شده همچنین نشان داده است که مواد افزودنی همچون بنتونیت توانایی لایه‌بندی‌های خاکی را در به تعویق انداختن و کاهش انتقال آلاینده‌های رادیونوکلئید[۲۸] افزایش می‌دهد.

ضخامت لایه‌های کاهش‌دهنده انتقال آلاینده‌ها بستگی به زمان نفوذ مجاز و نرخ انتقال در حالت پایداری که تحت تأثیر عواملی همچون قابلیت انتقال هیدرولیکی، فشار هیدرولیکی، پتانسیل شیمیایی، نفوذ مؤثر و میزان کاهش

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی



شکل ۶ نمایی از سیستم لایه‌بندی ترکیبی برای تسهیلات دفن پسماندهای خطرناک

می باشد، دارد.

روش محاسبه میزان ضخامت لایه کاهش دهنده انتقال آلاینده‌ها با در نظر گرفتن عوامل مذکور در بخش دوم از فصل چهارم منبع حاضر توضیح داده شده است.

مواد جاذب ممانعت کننده از انتقال آلاینده‌ها را می توان با گل مخلوط کرده یا به ژئوممبرین‌ها متصل نمود. امروزه لایه‌بندی‌های خاکی اختلاط یافته را عمدتاً از خاک طبیعی در منطقه با مخلوطی از بنتونیت جهت کاهش قابلیت انتقال هیدرولیکی تهیه می کنند.

مواد کاهش دهنده انتقال می توانند با مواد با قابلیت انتقال هیدرولیکی پائین (کمتر از 1×10^{-7} سانتی متر بر ثانیه) موجب کاهش انتقال نفوذی و ادوکتیو به صورت توأم بشوند.

متصل نمودن گل به موانع ژئوممبرین، یک فناوری توسعه یافته و کارآمد می باشد. استفاده از این ترکیبات به تنهایی در فرایندهای جذب به خوبی شناخته شده است. زئولیت کربن و گل‌های آلی عمل آوری شده در فرایندهای تصفیه فاضلاب به کار برده می شوند.

لایه‌های جاذب باید در قسمت زیرین دومین لایه ژئوممبرین قرار گیرند، چرا که ممبرین‌ها از طریق ایجاد ممانعت هیدرولیکی به عنوان اولین مانع در برابر انتقال آلاینده‌ها عمل می کنند. بنابراین میزان آلاینده‌هایی که به بخش جاذب می رسد در حدی کاهش می یابد که عملکرد این سیستم را در حد مطلوب حفظ نماید.

سیستم لایه‌بندی ترکیبی در به حداقل رساندن نرخ انتقال نفوذی و ادوکتیو آلاینده‌ها در مقایسه با سایر لایه‌بندی‌هایی که فقط انتقال ادوکتیو را در نظر می گیرند بسیار مؤثرتر می باشند. به تأخیر انداختن و کاهش نرخ نفوذ آلاینده‌ها در نتیجه عملکرد زئولیت و یا بنتونیت و گل طبیعی از طریق فرایند جذب و تبادل کاتیونی و همچنین عملکرد گل آلی عمل آوری شده و یا خاکستر اشباع شده از کربن آلی از طریق جذب آلاینده‌های آلی می باشد. به منظور بالا بردن میزان کاهش نرخ انتقال آلاینده‌ها می توان از روش‌های الکتروسینتیک[29] که به طور خلاصه در فصل شانزدهم منبع حاضر توضیح داده شده است استفاده نمود.

پی‌نوشت

1- Superfund
2- Cells
3- Flood plains
4- Wetlands
5- Liner Systems
6- Filter Zone
7- Geotextile
8- Geogrid
9- Primary Leachate Collection Piping
10- Primary Leachate Collection Zone
11- Hydraulic head
12- Hydraulic Conductivity
13- Collapse (Crushing)
14- Geonet
15- Primary barrier Layer
16- Geomembrain
17- Flexible membrain Liner (FML)
18- Geosynthetics
19- Secondary Leachate Collection Zone
20- Secondary barrier Layer
21- 1 acre = 4047m^2
22- Geocomposite
23- Geosynthetic Clay Liner
24- Sodium montmorillonitic
25- Advective
26- Bentonite
27- Zeolite
28- Radionuclides
29- Electrokinetics

منبع:

Michael D. LaGrega, Phillip L. Buckingham, Jeffrey C. Evans. (2001), "Hazardous Waste Management", Mc GRAW HILL INTERNATIONAL EDITION.