

# راهبردی در استخراج مقررات مربوط به حداقل‌های مورد نیاز در مورد پوشش کف محل‌های دفن مواد زاید جامد در کشور

محمد علی عبدلی<sup>۱\*</sup>

حسین غیائی نژاد<sup>۲</sup>

۱- استاد دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

۲- دانشجوی دکترای مهندسی محیط زیست دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۴/۱۰/۱۹، تاریخ تصویب: ۱۳۸۵/۶/۲۹)

## چکیده

مقررات اجرایی قانون مدیریت پسماند اخیراً تصویب و ابلاغ شده است که می‌تواند فصل جدیدی بر تدوین مقررات مربوط به مدیریت مواد زاید جامد باشد. یکی از اجزای محل‌های دفن، روکش کف آنهاست که تعیین کننده‌ترین نقش را در کنترل انتشار آلودگی از محل‌های دفن داراست. در حال حاضر در کشور به علت عدم وجود قوانین و مقررات روشن، غالب محل‌های دفن به صورت گودهای کنترل نشده اداره می‌شوند که آسیب‌های جبران ناپذیری به محیط زیست وارد می‌کنند. این نوشتار در ابتدا روکش‌های کف مورد استفاده و مشخصات فنی مورد نیاز هریک را مورد بررسی قرار داده و سپس با بررسی مقررات مرتبط به محل‌های دفن در کشورهای توسعه یافته و کشورهای در حال توسعه سعی کرده است که زمینه مناسب برای تدوین مقررات در مورد روکش‌های کف را فراهم کند. همین‌طور در این بررسی به شرایط محلی مؤثر بر انتخاب روکش کف در ایران پرداخته شده و در مجموع، دو عامل نوع پسماند و میزان شیرابه هیدرولوژیک به عنوان عوامل تعیین کننده در انتخاب پسماند شناخته شده و بر اساس این دو عامل مشخصات حداقل برای روکش کف پیشنهاد شده‌اند. روکش‌های پیشنهادی در گستره وسیعی از لایه ۳۰ سانتیمتری رس کوبیده شده تا روکشی ترکیبی از ژئوممبرین با یک متر خاک رس برای شرایط مختلف ساختمانی معرفی شده‌اند.

## کلید واژه

پوشش کف، نفوذپذیری، شیرابه، مقررات، پسماند

## مقدمه

محل دفن مواد زاید جامد از اجزای جدایی ناپذیر سیستم مدیریت مواد زاید جامد است. حتی در کشورهای توسعه یافته که سابقه چشمگیری در استفاده از روش‌های پیش تصفیه و بازیافت دارند، همچنان محل‌های دفن به عنوان بخش انتهایی چرخه فرآوری زواید وجود دارند. همچنین بررسی‌های انجام شده در کشورهای در حال توسعه نشان می‌دهد که با توجه به محدودیت‌های اقتصادی موجود، دفن اصلی‌ترین روش برای مدیریت و دفع نهایی مواد زاید جامد است (Ramke, 2001; Johannesson and Boyer, 1999).

در کشور ما نیز دفن به عنوان سهل‌الوصول‌ترین و ارزانه‌ترین گزینه مدیریت زواید همواره مورد توجه بوده است. تقریباً تمامی مراکز جمعیتی و صنعتی بزرگ در کشور دارای محل‌هایی برای دفع پسماندهای تولیدی خود هستند، اما به علت عدم وجود قوانین و مقررات محدود کننده در مورد نحوه ساخت و بهره‌برداری این محل‌ها در عمل به صورت گودهای کنترل نشده زباله در آمده‌اند. سیاست ارگان‌های مسئول در این زمینه نیز بیشتر متوجه نحوه جانمایی محل‌های دفن بوده تا با دور کردن این مکان‌ها از مراکز مهم جمعیتی و نقاط آسیب پذیر زیست محیطی از آثار نامطلوب این مکان‌ها بر محیط اطراف کاسته شود. جهت‌گیری که در قانون پسماندهای مصوب سال ۱۳۸۳ و آیین‌نامه اجرایی آن نیز ادامه داشته است. در ماده ۵ آیین‌نامه اجرایی مدیریت پسماند مصوب سال ۱۳۸۴ بیان شده است که شیوه‌نامه‌های اجرایی مدیریت پسماندهای عادی و کشاورزی شامل شیوه‌نامه‌های دفع باید به وسیله وزارت کشور تدوین و ابلاغ شود که گام مهمی به منظور ساماندهی عملکرد محل‌های دفن خواهد بود.

یکی از مهمترین عوامل کنترل‌کننده رفتار محیط زیستی محل دفن، نحوه عملکرد پوشش کف<sup>(۱)</sup> محل دفن است. پوشش کف مانع نفوذ شیرابه تولیدی در محل دفن به منابع آبی می‌شود. اهمیت این موضوع آنگاه آشکار می‌شود که نمونه‌گیری‌های انجام شده از شیرابه در کشور نشان دهنده آن است که که مقادیر COD<sup>(۲)</sup> موجود در شیرابه گاهی به ۷۰۰۰۰ می‌رسد و آلودگی‌های دیگری از جمله فلزات سنگین و یون‌های آمونیوم بیش از مقادیر مجاز معرفی شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست در آن وجود دارد (BC Berlin, 2004).

با توجه به اینکه ادامه روش کنونی دفن، زیان‌های جبران ناپذیری را به محیط زیست کشور وارد می‌کند این نوشتار سعی بر آن دارد که با پرداختن به حداقل‌های مورد نیاز در مورد پوشش کف، راه را برای تدوین شیوه‌نامه‌ای فنی در مقیاس ملی برای نحوه طراحی و بهره‌برداری از محل‌های دفن زواید، با توجه به خصوصیات مناسب برای پوشش کف هموار کند.

## انواع روش‌های قابل استفاده در محل دفن

مواد زیادی می‌توانند به عنوان روکش آب بند در کاربردهای مهندسی استفاده شوند. خصوصیت مشترک این مواد نفوذ پذیری کم آنهاست. این نفوذ پذیری کم مانع از تراوش مایعات به محیط حفاظت شده می‌شود. اما روکش‌های محل دفن باید واجد خصوصیات دیگری نیز باشند:

- نفوذ پذیری آنها باید بسیار کم باشد تا در اثر گذشت زمان طولانی دبی چشمگیری از آنها عبور نکند.

- دارای دوام قابل توجه باشند تا در محیط خورنده و مدت زمان طولانی خاصیت نفوذ ناپذیری خود را حفظ کنند.

- نسبت به آسیب‌های محلی حساس نباشند و بتوان بدون اینکه نیاز به بازدیدهای چشمی باشد در طولانی مدت به آنها اطمینان کرد.

بنابراین با توجه به مسائل فوق بسیاری از مصالح مهندسی که کاربرد آب بندی دارند از فهرست روکش‌های محل دفن حذف می‌شوند. در ادامه با توجه به اینکه یک روش یکسان در تعریف لاینرها و مشخصات فنی مورد نیاز هر یک در کشور وجود ندارد به معرفی گزینه‌های مختلف روکش و مشخصات فنی حداقلی هر یک می‌پردازیم. باید توجه داشت که روکش‌ها در شرایطی که معیارهای فنی حداقل بیان شده در این نوشتار را دارا نباشند، روکش‌های مناسبی برای محل دفن محسوب نمی‌شوند و کارفرمایان و مشاوران باید به این موضوع توجه داشته باشند که روکش اجرا شده بدون مشخصات فنی ولو اینکه ارزانه‌تر باشد گزینه مناسبی برای اختیار کردن نخواهد بود.

## روش‌های ایجاد شده با پروفیله کردن خاک محلی

این روش در مورد محل دفن زباله‌های شهری و در کشورهای در حال توسعه کاربرد دارد. لازمه استفاده از این روش وجود خاکی رسی-لومی با قطر زیاد در زیر ساختگاه محل دفن است تا بتوان با جابه‌جایی و کوبیدن آنها به ضخامت‌های مختلف، عملاً شیب بندی مورد نیاز برای زهکشی شیرابه را به همراه یک پوشش زیرین ایجاد کرد. مسئله دیگری که می‌باید مورد توجه قرار گیرد این است که در فرایند ساخت در این روش، کنترل کیفیت (آزمایش تراکم، رطوبت و کنترل چشمی اجزای خاک) در مورد خاک محلی صورت نمی‌گیرد.

## روش‌های رسی

روش‌های رسی از قدیمی‌ترین انواع روکش‌ها هستند و اخیراً در اکثر قریب به اتفاق روکش‌های مرکب به اتفاق ژئوممبرین استفاده می‌شوند. از امتیازات این نوع روکش، سابقه طولانی رس در زمینه مقاومت

اجرای صحیح، این مقادیر بسیار کم هستند اما، در مقایسه با نرخ محاسبه شده از نفوذپذیری‌های پیش‌گفته بسیار بزرگترند.

یکی از مهمترین خواص ژئوممبرین که باید در طراحی روکش به آن توجه داشت جنس ژئوممبرین است. در میان پلیمرهای مختلف موجود، HDPE به علت خواص اثبات شده پایداری در برابر مواد مختلف بشدت مورد توجه دستورالعمل‌های ملی و بین‌المللی بوده است. روکش‌هایی با پلیمرهای دیگر از جمله EPDM، PVC، VFPE ساخته شده‌اند، اما می‌توان گفت که ۹۰ درصد روکش‌های محل دفن‌های ساخته شده از جنس HDPE هستند.

در بعضی آیین‌نامه‌های کشورهای اروپایی مثل آلمان به‌طور مستقیم به HDPE اشاره شده است درحالی‌که در دستورالعمل جامعه اروپا اصولاً استفاده از هر نوع روکش با عملکرد معادل با جزئیات استاندارد مجاز دانسته شده، این اصل نیز به طور معمول در کلیه دستورالعمل‌ها رعایت شده است. به این معنی که استفاده از HDPE تصریح شده است، اما استفاده از دیگر پلیمرها در صورت اثبات عملکرد معادل، مجاز دانسته شده است. EPA در مورد انتخاب نوع ژئوممبرین محدودیتی قائل نشده است به‌شرطی که عملکرد کلی آب‌بندی مورد تردید نباشد. عمده ضعف HDPE انعطاف پذیری کم آن نسبت به دیگر پلیمرهاست که باعث می‌شود EPA برای این نوع ژئوممبرین ضخامت‌های بیشتری را معین کند.

#### روکش‌های ژئوسینتیکی - رسی (۴)

نوع دیگری از پوشاننده‌ها که به عنوان جایگزین لایه‌های به نسبت عمیق رسی برای آب‌بندی مطرح شده است، پوشاننده‌های رسی - ژئوسینتیکی هستند که به صورت زیر تعریف می‌شوند:

پوشاننده‌های رسی - ژئوسینتیکی، مواد آب بند پیش ساخته ای هستند که از یک لایه بتونیت تقویت شده با ژئوتکستایل ساخته می‌شود. این دو لایه به صورت مکانیکی با دوختن، میخ زدن، یا به صورت شیمیایی به وسیله چسباننده‌های شیمیایی به هم می‌پیوندند (Naue, 2000). در بعضی انواع محصول یک لایه ژئوممبرین آنچه به عنوان روکش رسی - ژئوسینتیکی کاربرد دارد، شامل مفهوم ژئوممبرین موجود در ساختار این محصولات نمی‌شود. این ژئوممبرین در واقع برای سهولت اجرا به لایه روکش رسی - ژئوسینتیکی متصل شده است. بنابراین در مفهوم روکش، روکش‌های رسی - ژئوسینتیکی از لایه بتونیت تشکیل شده‌اند که بین دو لایه ژئوتکستایل محبوس مانده است. در شکل شماره (۱) معمول‌ترین نقطه مورد استفاده در روکش‌های رسی - ژئوسینتیکی را مشاهده می‌کنید

شیمیایی مناسب نسبت به ترکیبات مختلف، ضخامت چشمگیر روکش که از حساسیت آن به آسیب‌های محلی می‌کاهد، نفوذ ناپذیری قابل قبول، روش ساده و در دسترس اجرا، و در دسترس بودن مصالح به صورت محلی است. هرچند با دور بودن فاصله محل قرصه از ساختگاه و بالا بودن ریسک نشست مواد به خارج محل دفن (مواد زاید جامد خطرناک) این گزینه پر هزینه و پر خطر خواهد بود.

آنچه در مورد این روکش‌ها اهمیت دارد ضخامت، خصوصیات خاک و برنامه کنترل کیفیت اجراست و باید از صحت کلیه خواصی که در سطور بعد برشمرده می‌شوند می‌باید با اجرای نوعی برنامه کنترل کیفیت دقیق، اطمینان حاصل کرد. اجرای لاینر رسی نیاز به عملیات مشکل و پر هزینه دارد و تضمین عملکرد مناسب لاینر رسی کار مشکلی است. مطالعات آماری بر روی موارد عملکرد نامطلوب روکش‌های رسی نشان داده است که در اکثر موارد، کیفیت نامناسب اجرا عامل اصلی بوده است (Daniel, 1993).

باید در نظر داشت آنچه بیشتر در کشور به عنوان لایه‌های رسی کوبیده شده مورد نظر است با لایه‌های رسی مورد احتیاج در محل دفن تفاوت اساسی دارد. خاک کوبیده شده بدون کنترل کیفیت منظم از مصالح قرصه، با خاصیت خمیری نامناسب، بدون کنترل دائم رطوبت، متراکم شده در لایه‌های با ضخامت بیش از ۱۵ سانتیمتر و خاکهای ترک خورده، لاینرهای مناسبی برای محل دفن نیستند. لازم است مشاوران و کارفرمایان در هنگام برآورد اولیه هزینه‌های اجرا این نکته را در نظر داشته باشند که اجرای لایه‌های رسی با مشخصات لازم بسیار گرانتر و مشکل‌تر از هزینه اجرای این مصالح بدون کنترل کیفیت دقیق است.

#### روکش‌های ژئوممبرینی

ASTM D4439<sup>(۳)</sup> ژئوممبرین را به صورت زیر تعریف می‌کند: "غشای با نفوذپذیری پایین که در اندرکنش با مصالح مورد توجه در مهندسی ژئوتکنیک برای کنترل جریان آب در سیستم‌ها یا سازه‌های انسان ساخت به کار می‌رود."

ژئوممبرین‌ها مانند کلیه مصالح دیگر کاملاً "نفوذ ناپذیر نیستند، اما نفوذپذیری آنها در دامنه ۱۰<sup>-۱۵</sup> تا ۱۰<sup>-۱۲</sup> تغییر می‌کند به طوری که می‌توان آنها را تقریباً "نفوذ ناپذیر دانست. اما باید توجه داشت که بیشتر بخش آبی که از روکش‌های ژئوممبرینی عبور می‌کند معمولاً از منافذ ایجاد شده یا مکان‌های اتصال ژئوممبرین به اجزای دیگر سازه نشست خواهد کرد، و نه از بدنه ژئوممبرین، به همین دلیل است که وجود یک برنامه کنترل کیفیت جامع برای نصب ژئوممبرین الزامی است. تجربه نشان داده است که همواره مقدار ناچیزی از جریان از ژئوممبرین عبور می‌کند که هرچند در صورت

و اتحادیه اروپا قوانین روشنی در مورد حداقل‌های مورد نیاز برای روکش کف ارائه کرده‌اند. بعضی کشورهای در حال توسعه مانند آفریقای جنوبی نیز مقرراتی متناسب با نیازهای محلی خود ارائه کرده‌اند. همینطور در دستورالعمل‌ها و گزارشات ارائه شده به وسیله سازمان‌های بین‌المللی مانند بانک جهانی نیز در مورد نحوه انتخاب روکش محل دفن اظهار نظر کرده‌اند. در ادامه به این ضوابط که چکیده تجربیات بین‌المللی در این زمینه محسوب می‌شوند می‌پردازیم.

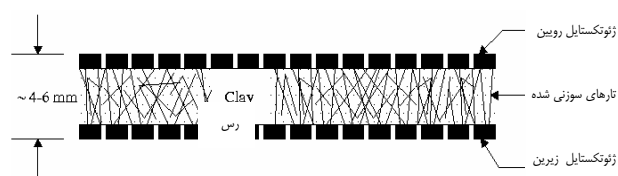
با بررسی کلی از ضوابط ارائه شده مشخص می‌شود که نحوه انتخاب روکش وابستگی مستقیم به جنس پسماند انباشت شده در محل دفن دارد. بهترین تقسیم بندی به دست‌آمده تفکیک جنس پسماند، به سه دسته خنثی، زباله شهری و پسماند خطرناک هستند. تعاریف کلی این سه دسته به شرح زیرند، هر چند در دستورالعمل‌های ارائه شده در کشورهای مختلف ممکن است تفاوت‌های اندکی وجود داشته باشند. بر همین اساس برای اینکه امکان مشخص کردن حداقل‌های پیشنهادی مربوط به روکش‌ها برای هر دسته مشخص وجود داشته باشد محل‌های دفن به سه گروه متمایز تقسیم می‌شوند:

- محل دفن‌های نوع یک برای دفن پسماندهای خنثی. پسماندهای خنثی شامل پسماندهایی هستند که دارای خطر بالقوه برای محیط زیست نیستند: بسته‌بندی‌های سبک و تمیز، شیشه، نخاله‌های ساختمانی، تایرها، خاک، بتن، آسفالت، خرده‌های چوب، خاکروب، یا روباره آهن گدازی،...
- محل دفن نوع دو برای دفن پسماندهای شهری و مشابه آن. پسماندهای شهری و پسماندهای مشابه: پسماندهایی هستند که با مجموعه‌ای از اقدامات حداقلی، خطر آنها برای محیط زیست کاهش می‌یابد: زباله مخلوط شهری، زباله‌های آلی شهری، کاغذ، پسماندهای حجیم مانند وسایل خانگی، پلاستیک‌ها و خاکستر زباله سوزی
- محل دفن نوع پسماندهای خطرناک: پسماندهایی که در صورت انتشار به محیط خطر زیادی را متوجه محیط زیست می‌کنند و شامل تمامی پسماندهایی که مطابق با ضوابط موجود در کشور جزء پسماندهای خطرناک محسوب می‌شوند.

تقسیم بندی موجود در قانون پسماندها مصوب سال ۱۳۸۳ دارای تفاوت‌هایی با تقسیم بندی فوق است. در این تقسیم بندی ۵ نوع پسماند معرفی شده‌اند (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۸۳):

- پسماندهای عادی
- پسماندهای پزشکی
- پسماندهای ویژه
- پسماندهای کشاورزی
- پسماندهای صنعتی

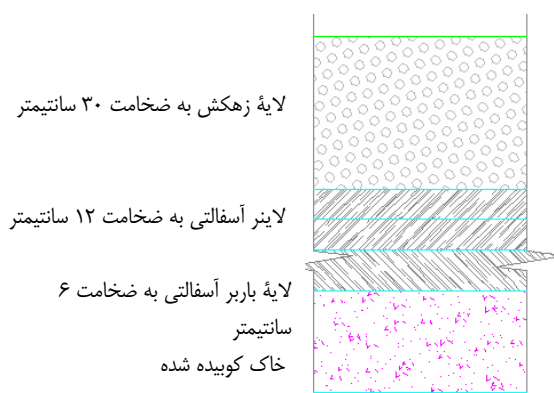
بنابراین لازم است که ارتباط انواع محل‌های دفن اشاره شده در سطور فوق با این دسته بندی از پسماندها معرفی شود. در جدول (۱) برای انواع پسماندهای



شکل شماره (۱): ساختارهای مختلف روکش‌های رسی-ژئوسینتیکی

## روکش‌های آسفالتی

این گونه روکش‌ها با توجه به کارکرد مرسوم در راه سازی برای کشورهای در حال توسعه پیشنهاد می‌شوند. در مورد این سیستم‌های آب بند تجربیاتی در کشورهای در حال توسعه وجود دارد. در کشورهای خاورمیانه یک مورد ساخت محل دفن با استفاده از لاینر آسفالتی گزارش شده است.



شکل شماره (۲): جزئیات پیشنهاد شده استاندارد برای روکش آسفالتی

در شکل شماره (۲) جزئیات پیشنهادی اداره حفاظت از منابع آب کشور آلمان را برای روکش‌های آسفالتی مشاهده می‌کنید (BCBerlin, 2004)

## روکش‌های ترکیبی

در میان روکش‌ها، ژئوممبرین به ندرت به تنهایی استفاده می‌شود. دلیل این امر حساسیت بالای این سیستم به پارگی و سوراخ شدگی است. به همین دلیل در زیر ژئوممبرین غالباً از رس و روکش ژئوسینتیکی-رسی استفاده می‌شود. این ترکیب یکی از متداول‌ترین انواع روکش در دنیا است و اغلب کشورهای توسعه یافته از این ساختار روکش استفاده می‌کنند.

## حداقل‌های پیشنهادی برای روکش کف محل دفن در کشورهای مختلف

کشورهای مختلف جهان، بویژه کشورهای توسعه یافته مانند ایالات متحده

### اتحادیه اروپا

اتحادیه اروپا با توجه به جایگاه قانونی خود، جزئیات لاینر مورد نظر را ارائه نمی‌کند. در دستورالعمل مصوب این اتحادیه در سال ۱۹۹۹ در پیوست شماره (۱) دستورالعمل این‌گونه اشاره شده است. (EU Council, 1999):

حفاظت آب‌های زیرزمینی می‌باید به واسطهٔ روکش کف و یک لایه نفوذ ناپذیر خاکی<sup>(۵)</sup> انجام گیرد. لایه نفوذ ناپذیر خاکی دارای شرایط زیر است:

- برای پسماندهای خنثی (محل دفن نوع ۱) لایهٔ خاکی به ضخامت بیشتر یا مساوی ۱ متر و با نفوذپذیری  $K \leq 1.0 \times 10^{-7} m/s$

- برای پسماندهای شهری و مشابه (محل دفن نوع ۲) لایه خاکی به ضخامت بیشتر، یا مساوی ۱ متر و با نفوذپذیری  $k \leq 1.0 \times 10^{-9} m/s$

- برای پسماندهای خطرناک (محل دفن نوع ۳) لایهٔ خاکی به ضخامت بیشتر، یا مساوی ۵ متر و با نفوذپذیری  $K \leq 1.0 \times 10^{-9} m/s$

در مکان‌هایی که لایه خاکی مناسب وجود نداشته باشد، یا اجرای آن مشکل باشد می‌توان از روکش مصنوعی معادل با مصالح خاکی استفاده کرد. ضخامت این روکش نباید از ۰/۵ متر کمتر باشد. علاوه بر این لایهٔ خاکی در محل دفن مواد زاید جامد خطرناک می‌باید روکشی مصنوعی نیز وجود داشته باشد.

در پایان در این دستورالعمل اشاره شده که کشورهای عضو می‌توانند در چارچوب ضوابط فوق جزئیات بیشتر را در دستورالعمل‌های خود مشخص سازند.

### سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده

سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده محل دفنی را به عنوان محل دفن مواد خنثی معرفی نمی‌کند (EPA, 1990). اما در مورد محل دفن مواد زاید جامد شهری اجزای روکش را به صورت زیر پیشنهاد می‌کند:

- لایه‌ای با ضخامت ۶۰ سانتیمتر روکش رسی با نفوذپذیری  $K \leq 1 \times 10^{-8} m/s$  یا معادل آن روکش رسی - ژئوسینتتیک، روکش ژئوممبرین با ضخامت ۱/۵ میلیمتر از جنس HDPE، یا بیشتر از ۰/۷۵ میلیمتر، چنانچه ژئوممبرین از جنس دیگری باشد.

در مورد محل دفن مواد زاید خطرناک (محل دفن نوع ۳) سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده استفاده از لاینر دو گانه را که دارای سیستم نشت یابی باشد به صورت زیر اجباری می‌داند. این سیستم تاکنون بهترین عملکرد را در جلوگیری از نشت شیرابه داشته است (Zhao and Richardson, 2003):

- یک لایه روکش ژئوممبرین با ضخامت ۱/۵ میلیمتر از جنس HDPE یا بیشتر از ۰/۷۵ میلیمتر، چنانچه ژئوممبرین از جنس دیگری باشد.  
- لایه‌ای زهکش با ضخامت حداقل ۳۰ سانتیمتر در زیر روکش

مشخص شده در قانون پسماندها نوع مناسب محل دفن پیشنهاد شده است. در ادامه با توجه به حداقل‌های پیشنهاد شده روکش به وسیلهٔ نهادهای مختلف بین المللی و جهانی می‌پردازیم.

### جدول شماره (۱): نوع محل دفن مناسب برای انواع پسماندهای مشخص شده

#### در قانون مدیریت پسماند

نوع پسماند مطابق با قانون مدیریت پسماندها مصوب سال ۱۳۸۳	نوع محل دفن پیشنهادی
پسماندهای عادی	نخاله‌های ساختمانی در محل دفن مواد نوع یک دفن شوند و زباله‌های شهری در محل دفن نوع دو
پسماندهای پزشکی	پسماندهای پزشکی بدون پیش تصفیه (اتوکلاو یا زباله سوز یا...) نباید در زمین دفن شوند. باقیمانده پس از پیش تصفیه باید در محل دفن نوع دو دفن شوند.
پسماندهای ویژه	این نوع پسماند باید در محل دفن نوع سه مدفون شود. باید به این نکته توجه داشت که در مورد برخی پسماندهای خطرناک، پیش تصفیه قبل از دفن الزامی است.
پسماندهای کشاورزی	پسماندهای مربوط به دامپزشکی و لاشهٔ حیوانات بدون پیش تصفیه نباید در زمین دفن شوند. باقیمانده‌ها پس از پیش تصفیه می‌توانند در محل دفع نوع ۲ دفن شوند. دیگر پسماندها می‌توانند به طور مستقیم در محل دفن نوع ۲ دفن شوند.
پسماندهای صنعتی	پسماندهای صنعتی باید پیش از دفن بدرستی شناسایی شوند و به صورت موردی مطابق با شناسایی انجام گرفته نوع محل دفن مورد قبول برای هر یک مشخص می‌شود.

محل های دفن، قوانین کامل و قابل مقایسه با کشورهای در حال توسعه دارد. تنظیم کنندگان قوانین زیست محیطی این کشور علاوه بر اینکه با در نظر گرفتن یافته های علمی روز تدوین شده اند، تلاش داشته اند که محدودیت های منبع موجود در کشورهای در حال توسعه را نیز در نظر داشته باشند.

در ضوابط پیشنهادی وزارت آب و جنگلداری آفریقای جنوبی روکش های زیر پیشنهاد شده است:

۱- ۱۵ سانتیمتر خاک محلی کوبیده شده

۲- ۳۰ سانتیمتر رس کوبیده شده

۳- ۴۵ سانتیمتر رس کوبیده شده به همراه ۱۵ سانتیمتر خاک پوشش برای جلوگیری خشک شدن رس

۴- سیستم روکش دوگانه متشکل از ۶۰ سانتیمتر رس کوبیده شده به نام روکش اولیه و ۱۵ سانتیمتر رس کوبیده شده به نام روکش ثانویه،

۵- سیستم روکش دوگانه متشکل از یک لایه ژئوممبرین به ضخامت ۱/۵ میلیمتر و ۶۰ سانتیمتر رس کوبیده شده به عنوان روکش اولیه و ۱۵ سانتیمتر رس کوبیده شده به نام روکش ثانویه،

۶- سیستم روکش دوگانه متشکل از یک لایه ژئوممبرین به ضخامت ۲ میلیمتر و ۶۰ سانتیمتر رس کوبیده شده به نام روکش اولیه و ۳۰ سانتیمتر رس کوبیده شده به نام روکش ثانویه

۷- سیستم روکش دوگانه متشکل از یک لایه ژئوممبرین به ضخامت ۲ میلیمتر و ۶۰ سانتیمتر رس کوبیده شده به نام روکش اولیه و یک لایه ژئوممبرین به ضخامت ۱ میلیمتر و ۳۰ سانتیمتر لایه رس به نام روکش ثانویه.

دامنه استفاده از انواع روکش بسته به شرایط محل دفن متفاوت است. روکش های نوع ۶ و ۷ فقط برای محل دفن مواد زاید جامد خطرناک استفاده می شوند در حالی که دیگر روکش ها برای مواد زاید جامد شهری کاربرد دارند. برای تعیین نوع دقیق روکش مشخصه هایی مانند بارش و تبخیر محلی، بزرگی و کوچکی محل دفن مد نظر قرار می گیرند.

#### توصیه های موجود در مورد کشورهای در حال توسعه

بسیاری از کشورهای در حال توسعه دارای ضوابط مشخصی در مورد نحوه جانمایی، طراحی و ساخت محل های دفن نیستند. این موضوع باعث شده که برخی سازمان های بین المللی مانند بانک جهانی<sup>(۶)</sup>، یا بخش برنامه توسعه سازمان ملل<sup>(۷)</sup> و دیگر سازمان ها با کارکرد بین المللی به انتشار توصیه هایی برای نحوه جانمایی، طراحی و ساخت محل های دفن در کشورهای در حال توسعه اقدام نموده اند که در ادامه به برخی از این توصیه و آمارهای موجود در این زمینه می پردازیم.

ژئوممبرین که دارای ضریب نفوذ پذیری  $K \geq 1 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$  باشد، یا لایه ای با توانایی زهکشی معادل.

- در زیر لایه زهکش یک لایه روکش ژئوممبرین با ضخامت ۱/۵ میلیمتر از جنس HDPE یا بیشتر از ۰/۷۵ میلیمتر، چنانچه ژئوممبرین از جنس دیگری باشد.

- لایه ای با ضخامت ۶۰ سانتیمتر روکش رسی با نفوذ پذیری  $K \leq 1 * 10^{-8} \text{ m/s}$ ، یا معادل آن روکش رسی - ژئوسینتتیک.

همان گونه که مشاهده می شود لایه زهکش برای این تعبیه شده است که در صورت نشست لایه اول این موضوع مشخص شود و شیرابه حاصل از نشست به محیط وارد نشود. این مقادیر به عنوان مقادیر حداقلی مورد نیاز در محل دفن پیشنهاد شده اند و دولت های ایالتی می توانند در ایالات متحده می توانند ضوابط سختگیرانه تری در چارچوب موارد فوق عرضه کنند.

#### آیین نامه ملی کشور آلمان در مورد محل های دفن

در این آیین نامه محل های دفن مربوط به سه نوع پسماند معرفی شده در بخش های قبل در قالب سه نوع مختلف روکش پیشنهادی در نظر گرفته شده اند (Mulloy et al, 2001). برای محل دفن مواد خنثی آیین نامه مذکور موارد زیر را پیشنهاد می کند که تنها از لایه روکش رسی به ضخامت ۰/۵ متر و با نفوذ پذیری  $K \leq 1 * 10^{-8} \text{ m/s}$  استفاده شود. برای روکش محل دفن مواد زاید شهری و مواد مشابه اجزای زیر پیشنهاد شده است:

- یک لایه روکش ژئوممبرین با ضخامت حداقل ۲/۵ میلیمتر از جنس HDPE.

- لایه ای با ضخامت ۶۰ سانتیمتر روکش رسی با نفوذ پذیری  $K \leq 1 * 10^{-8} \text{ m/s}$ ، یا معادل آن روکش رسی - ژئوسینتتیک. برای روکش محل دفن مواد زاید جامد خطرناک (محل دفن نوع ۳) آیین نامه ملی آلمان مقادیر زیر را پیشنهاد می کند:

- یک لایه روکش ژئوممبرین با ضخامت حداقل ۲/۵ میلیمتر از جنس HDPE و لایه ای با ضخامت ۱۵۰ سانتیمتر روکش رسی با نفوذ پذیری  $K \leq 1 * 10^{-8} \text{ m/s}$  یا معادل آن روکش رسی - ژئوسینتتیک

کشور آلمان سختگیرانه ترین قوانین و مقررات مربوط به حفاظت از محیط زیست را داراست. اما در زمینه محل های دفن مواد خطرناک فلسفه متفاوتی با کشور ایالات متحده آمریکا اتخاذ کرده است. در کشور آلمان نیز دولت های ایالتی می توانند در چارچوب قوانین فدرال دستورالعمل های سختگیرانه تری برای ایجاد روکش ها اتخاذ کنند.

#### ضوابط تهیه شده توسط وزارت آب و جنگلداری آفریقای جنوبی

آفریقای جنوبی از معدود کشورهای در حال توسعه است که در زمینه

تا رس بهبود یافته با بنتونیت تغییر می‌کند. در روکش ۱۰ محل دفن نیز از ژئوممبرین به همراه رس یا روکش رسی-ژئوسینتتیک استفاده شده است. فقط یک محل دفن نیز وجود داشته است که مستقیماً و بتنهایی از روکش رسی-ژئوسینتتیک استفاده کرده است. در ۳ محل دفن نیز از روکش دوگانه با سیستم ماندگاری نشت استفاده شده است. در یک محل دفن نیز از روکش ساخته شده با بتن و یک محل دفن نیز از پرده‌های آب بند استفاده شده است.

البته باید توجه کرد که محل دفن‌های مورد بررسی به‌طور معمول محل‌های دفن بزرگ و مورد توجه بوده‌اند و در میان محل دفن‌های کوچکتر به طور طبیعی باید محل دفن‌های کف روکش دار کمتری یافت. با وجود این بررسی فوق و مقایسه آن با کشور ایران نشان می‌دهد که عدم وجود یک محل دفن کف روکش دار (اگر دو موردی که هنوز مورد بهره‌برداری قرار نگرفته‌اند (محل دفن جدید پتروشیمی بندر امام و محل دفن جدید شهر مشهد مستثنی نماییم) در کشور ما در مقایسه با دیگر کشورهای توسعه یافته روند مطلوبی نیست. دلیل اصلی این کمبود را می‌توان به عدم وجود قوانین و مقررات ناظر بر عملکرد محل‌های دفن بر کشور برشمرد.

### شرایط محلی موجود و مؤثر بر انتخاب روکش در ایران

شرایط محلی مؤثر بر انتخاب روکش را می‌توان به صورت زیر

خلاصه کرد:

- ۱- میزان آب مازاد موجود در پسماندهای دفن شده.
- ۲- میزان بارش و تبخیر.
- ۳- عمق و حساسیت آبهای زیرزمینی به آلودگی.
- ۴- در دسترس بودن منابع قرضه برای ایجاد روکش‌های خاکی.
- ۵- شرایط ساختگاهی.
- ۶- نحوه کوبیدگی پسماند در محل دفن و میزان شیرابه حاصل از آن.
- ۷- بزرگی محل دفن.

در میان عوامل فوق، شرایط ساختگاهی و دسترسی منابع قرضه دارای طبیعت کاملاً محلی‌اند به‌گونه‌ای که نمی‌توان در مقررات ملی به طور مستقیم این عوامل را در نظر گرفت. در مورد آبهای زیرزمینی نیز همین مسئله تا حدودی صدق می‌کند. هرچند در مناطق ساحلی جنوب و شمال کشور می‌توان مطمئن بود که آب زیرزمینی در عمق بسیار کم یافت می‌شود اما در مناطق مرکزی کشور این اطمینان وجود ندارد. در برخی مناطق بیابانی آب زیرزمینی وجود ندارد اما در مجاورت همین مناطق می‌توان مناطقی با عمق آب زیرزمینی ۱۰ تا ۲۰ متر با آب زیرزمینی با کیفیت بالا یافت.

از سوی دیگر میزان ظرفیت خودپالایی آبخوان نیز از عوامل پر اهمیت در این زمینه است. باوجود تمامی مطالب فوق به علت اینکه آب زیرزمینی

بانک جهانی و سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده در مورد روکش کف محل دفن در کشورهای در حال توسعه از اظهار نظر صریح خودداری می‌کند و در توصیه‌های خود حتی به محل دفن‌های بدون روکش نیز اشاره دارد. جمع بندی برداشت شده از مطالب منتشر شده به‌وسیله این سازمان در مورد پوشش محل دفن به شرح زیر است (Diaz et al, 1998 ; Pugh et al, 1999):

- هنگامی که نیروی تولید شیرابه ناچیز باشد و امکان آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی به علت فاصله قابل توجه زیاد باشد می‌توان از محل دفن بدون روکش استفاده کرد.
- در دیگر موارد، محل دفن نیاز به روکش دارد و این روکش می‌تواند از مصالح خاکی (مانند رس)، یا مصالح مصنوعی (مانند ژئوممبرین یا روکش رسی-ژئوسینتتیک) استفاده شود.
- در مورد انتخاب نوع روکش، در دسترس بودن مصالح مناسب و ملاحظات مالی از عوامل اصلی تعیین کننده نوع روکش هستند.
- در مواردی که امکان انجام کنترل کیفیت مناسب وجود ندارد از استفاده از مصالحی که نیاز به کنترل کیفیت دقیق دارند (بیشتر ژئوممبرین) خودداری شود.

GTZ برای کشورهای در حال توسعه روش اصلاح شده‌ای را

توصیه کرده است که شامل ایجاد لایه‌ای ۳۰ سانتیمتری از خاک محلی با تراکم ۹۵ درصد پروکتور ( در صورت لزوم اختلاط ۲ تا ۳ درصد بنتونیت) بدون کنترل کیفیت دقیق مصالح و سپس ایجاد نوعی لایه رس محلی به ضخامت ۳۰ سانتیمتر، زیر نظر برنامه کنترل کیفیت جامع (شامل دانه بندی خاک و خصوصیات تراکم پذیری و پلاستیک، تراکم،...) است. پیش نیاز استفاده از این روش وجود ۳ تا ۵ متر لایه خاک طبیعی با نفوذ پذیری  $K \leq 10^{-7} \frac{m}{s}$  در کف محل دفن است. به این ترتیب لاینر با ضریب اطمینان متناسب و میزان سرمایه گذاری اندک ساخته می‌شود که با شرایط موجود کشورهای در حال توسعه هماهنگ است.

بررسی‌های انجام شده در محل دفن‌های کشورهای در حال توسعه نشان می‌دهد که در این کشورها محل دفن‌های با روکش کف در تعدادی بیش از حد اولیه تصور وجود دارند (Johannesson et al, 1999). بازدیدهای انجام شده از کشورهای افریقای جنوبی، برزیل، مکزیک و کشورهای در حال توسعه در جنوب شرق آسیا نشان می‌دهد در میان ۳۲ محل دفن مورد بررسی تنها ۷ مورد دارای روکش کف نبوده‌اند که از این ۷ مورد ۴ تای آنها در مناطقی خشک و صحرائی قرار داشته‌اند و نیروی تولید شیرابه و آلودگی آبهای زیرزمینی بسیار پایین است. از میان این محل‌های دفن، ۸ محل دفن دارای روکش خاکی و بیشتر رسی می‌باشند. کیفیت لایه‌ها از خاک محلی کوبیده شده

### استاندارد پیشنهادی برای محل های دفن مواد زاید جامد

با توجه به موارد پیش گفته می توان موارد کلی زیر را در مورد مقررات مربوط به روکش های کف بیان داشت:

- ۱- برای تعیین نوع روکش کف لازم است محل های دفن بر اساس نوع پسماند طبقه بندی شوند. یکی از طبقه بندی های مورد قبول دسته بندی محل های دفن به سه نوع خنثی، شهری و مشابه و خطرناک است.
- ۲- در مورد محل های دفن مواد خطرناک، قواعد مورد استفاده سختگیرانه تری باید وضع شوند.
- ۳- در روش های پیشنهادی بویژه در مورد کشورهای در حال توسعه، شرایط ساختگاهی در ارتباط با نیروی تولید شیرابه به عنوان عاملی اساسی مد نظر بوده است.

با توجه به شرایط فوق دو نوع دسته بندی برای محل های دفن جهت تنظیم بهینه مقررات پیشنهاد می شود:

- دسته بندی محل های دفن به سه نوع خنثی، شهری و مشابه و محل های دفن خطرناک
- دسته بندی محل های دفن به لحاظ ساختگاهی به محل های دفن واقع در ساختگاه هایی با میزان شیرابه هیدرولوژیک مثبت و محل های دفن واقع در ساختگاه هایی با میزان شیرابه هیدرولوژیک منفی
- با توجه به دسته بندی فوق در جدول شماره (۳) برای هر یک از محل های دفن دسته بندی شده نوعی روکش کف به عنوان حداقل پیشنهاد شده است: همان گونه که در جدول شماره (۲) مشاهده می شود مشخصات روکش های کف پیشنهادی از یک لایه ۳۰ سانتیمتری رس تا یک لایه ترکیبی ژئوممبرین با رس کوبیده شده به ضخامت ۱ متر تغییر می کند. همین طور GCL همواره می تواند به عنوان گزینه جایگزین روکش رسی استفاده شود. این جایگزینی بنا به شرایط ساختگاهی مانند فواصل منابع قرضه و صعوبت اجرای لایه رسی در شرایط ساختگاهی و در آخر قیمت تمام شده دارد.
- عامل دیگر مورد توجه این است که حتی در مناطق کاملاً خشک با تبخیر زیاد نیز به علت وجود میزان آب مازاد بر ظرفیت میدانی در پسماندهای شهری، شیرابه زیادی تولید می شود. بنابراین حتی در این مناطق نیز استفاده از روکش در محل های دفن شهری ضروری به نظر می رسد که در جدول مورد بحث نیز منعکس شده است.
- روکش های آسفالتی به علت اینکه کارکرد گسترده ای نداشته اند در جدول شماره (۲) مورد اشاره قرار نگرفته اند. اگرچه استفاده از این روکش می تواند در موارد خاص و به صورت ویژه و با رعایت کلیه استانداردهای شناخته شده مد نظر باشد.

یکی از منابع اصلی تامین آب در کشور محسوب شده، با رشد برداشت از این منابع می توان قطعاً اظهار نظر کرد که ظرفیت خودپالایی این منابع رو به ضعف است. بنابراین به نظر می آید مواردی که منجر به آلودگی آبخوان های مورد استفاده می شوند را می باید از دامنه بررسی حذف کرد.

در کشور ما روش کوبیدگی پسماند با غلتک های مناسب این کار تا جرم حجمی ۸۰۰ تا ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب رایج نیست و کوبیدگی پسماند در انباشت های موجود به وسیله ماشین آلات معمول انجام می گیرد. کوبیدگی پسماند موجب صرفه جویی در فضا می شود و به طولانی شدن عمر محل دفن کمک می کند. همین طور در اکثر محل دفن های موجود ما مشکل عدم پایداری و آتش سوزی خودبه خودی دیده می شود که با انجام تراکم صحیح قابل پیشگیری است. بنابراین با توجه به مشکلات موجود در پیدا کردن زمین های مناسب با سخت تر شدن قواعد زیست محیطی در کشور پیش بینی می شود که روش تراک زباله به مرور در کشور رواج یابد. تراکم زباله سبب کمتر شدن ظرفیت میدانی پسماند شده و تولید شیرابه را (تولید تجمعی شیرابه در کل مدت زمان انتشار شیرابه از محل دفن) افزایش می دهد که در مقابل آثار مطلوب این امر قابل چشم پوشی است.

بحث مهم دیگر، میزان رطوبت بالای پسماندهای تولید شده در کشور است. رطوبت بالای این پسماندها به معنای تولید بیشتر شیرابه مستقل از وجود بارندگی است. بررسی های انجام شده بر روی پسماند کهریزک تهران نشان می دهد که بخش اعظم شیرابه تولیدی در این محل دفن ناشی از آب اولیه موجود در پسماند است، و نه بارندگی هایی که به بدنه پسماند نفوذ کرده اند. این مسئله نشان می دهد که حتی در مناطق خشک کشور ما نیروی زیادی برای تولید شیرابه وجود دارد (Safari and Baroniak, 2004).

بحث دیگر در این زمینه مقدار شیرابه هیدرولوژیک تولیدی است. شیرابه هیدرولوژیک به مقدار تفاوت میزان بارش با تبخیر در یک دوره خاص گفته می شود که مقدار آن نسبت مستقیم با مقدار شیرابه تولیدی در اثر بارش دارد. در مناطق خشک این مقدار اغلب منفی است (هر چند این به مفهوم عدم تولید شیرابه در اثر بارش نیست) که نشان دهنده نیروی کم میزان تولید شیرابه در اثر بارندگی است. در مناطق مرطوب به ویژه شمال کشور مقدار شیرابه هیدرولوژیک تولید شده مثبت است و این به معنای نیروی تولید شیرابه بیشتر در اثر بارندگی می باشد. در یک تقسیم بندی ساده می توان مناطق موجود در کشور را به دو دسته تقسیم کرد. در دسته اول میزان تبخیر سالانه از بارش سالانه بیشتر است (مناطق با مقدار شیرابه هیدرولوژیک منفی) و در دسته دوم، میزان تبخیر سالانه از بارش کمتر است (مناطق با میزان شیرابه هیدرولوژیک مثبت)، به نظر می رسد با توجه به اختلاف قابل توجه در نیروی شیرابه تولیدی باید انواع متفاوتی از روکش ها در این مناطق استفاده شوند.



نه تنها باید به ساختار روکش اشاره شود بلکه مشخصات فنی مورد اشاره در این نوشتار نیز می‌باید مورد توجه قرار گرفته و در حین تنظیم مقررات روشن شود. بدیهی است سختگیرانه‌ترین ساختارهای پیشنهادی اگر با مصالح بی کیفیت و به صورت نادرست اجرا شوند عملکرد مطلوب نخواهند داشت.

### یادداشت‌ها

1. Liner
2. Chemical Oxygen Demand
3. American Standard Testing Method
4. Geosynthetic Clay Liner
5. Geological Barrier
6. World Bank
7. United Nation Development Program

### منابع مورد استفاده

سازمان حفاظت از محیط زیست جمهوری اسلامی ایران. ۱۳۸۳. مجموعه قوانین و مقررات حفاظت از محیط زیست ایران، جلد اول، تدوین دفتر حقوقی و امور مجلس.

BC Berlin in Cooperation with Gueno. 2004. Tehran Landfill Preparation Study. Addendum for Further Tests.

Daniel, D. E. 1993. Geotechnical Practice for Waste Disposal. Chapman & Hall.

Diaz, L.F. et al., 1998. Guidance for Landfilling of Waste in Economically Developing Countries. National Risk Management Research Laboratory

EPA. 1990. Code of Federal Regulation. 40 CFR 258.60. Washington D.C.

EU Council. Council Directive 1999/31/EC on the Landfill of Waste. Official Journal of European Communities. April.

Johannesson, L.M. and Boyer, G. 1999. Observation of solid Waste Landfills in Developing Countries: Africa, Asia and Latin America. Urban Development Division, The World Bank.

Mulloy, M. et al. 2001. German Environmental Law.

Naue. GmbH. 2000. Bentofix Specification and Production system.

### جدول شماره (۲): حداقل مشخصات پیشنهادی برای روکش کف در

#### کشور

وضعیت اقلیمی ساختگاه	نوع محل دفن	روکش کف پیشنهادی
میزان شیرابه هیدرولوژیکی مثبت	خنثی	لایه رسی به ضخامت ۳۰ سانتیمتر، یا معادل GCL
	شهری و مشابه	لایه ژئوممبرین به ضخامت حداقل ۱/۵ میلیمتر به همراه لایه‌ای رسی به ضخامت ۶۰ سانتیمتر، یا معادل GCL
میزان شیرابه هیدرولوژیکی منفی	خطرناک	لایه ژئوممبرین به ضخامت حداقل ۲ میلیمتر و لایه‌ای رسی به ضخامت ۱ متر، یا معادل GCL
	خنثی	لازم نیست
میزان شیرابه هیدرولوژیکی منفی	شهری و مشابه	لایه‌ای رسی به ضخامت ۶۰ سانتیمتر، یا معادل GCL
	خطرناک	لایه ژئوممبرین به ضخامت حداقل ۵/۱ میلیمتر به همراه لایه‌ای رسی به ضخامت ۶۰ سانتیمتر، یا معادل GCL

### نتیجه گیری

در جدول شماره (۲) خلاصه‌ای از مقررات پیشنهادی در مورد روکش‌های کف محل دفن ذکر شده است. بدیهی است که جدول فوق راه حل نهایی نیست، اما آنچه این نوشتار سعی بر تأکید بر آن دارد آن است که راهبرد مورد نظر را در مورد تعیین نوع لاینر که شامل نوعی دیدگاه فراگیر زیست‌محیطی و اجرایی است معرفی کند. در آرایه راهبرد سعی شده است با در نظر داشتن شرایط ویژه یک کشور در حال توسعه از پیشنهاد قانون‌های سختگیرانه مختص کشورهای در حال توسعه احتراز شود، ضمن آنکه توجه به حفظ محیط زیست نیز مد نظر قرار گیرد. در پایان باز توجه عوامل دست‌اندر کار قانونگذاری را به این موضوع جلب می‌کنیم که کنترل آلودگی‌های حاصل از دفن یکی از جدی‌ترین مسائل مدیریت پسماند است و نیاز به توجه سریع و مؤثر دارد. از سوی دیگر باید توجه شود که در مقررات

Ramke, H.G. 2001. Appropriate Design and Operation of Sanitary Landfills, Prepared for International Conference on Sustainable Economic Development and Sound Source Management in Central Asia. Tashkent. Uzbekistan.

Safari. E. and Baronian, C. 2004. Modeling Temporal Variations in Leachate Quantity Generated at Kahrizak Landfill.

Zhao, A. and Richardson, G.N. 2003. US Regulation on Solid Waste Containment Facilities. The Second International Exhibition on Solid Waste Treatment Technology and Equipment. Beijing.