محیط شناسی، سال سی و دوم، شماره ۴۰، زمستان ۱۳۸۵، صفحهٔ ۱۸-۹

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

محمد علی عبدلی[1]*
حسین غیاثی نژاد[2]

۱- استاد دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران
۲- دانشجوی دکترای مهندسی محیط زیست دانشکدهٔ محیط زیست دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸٤/۱۰/۱۹، 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 وسپس با بررسی مقررات مرتبط به محل‌های دفن در کشورهای توسعه یافته و کشورهای در حال توسعه سعی کرده است که زمینهٔ 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 گسترهٔ وسیعی از لایهٔ ۳۰ سانتیمتری رس کوبیده شده تا روکشی ترکیبی از ژئوممبرین با یک متر خاک رس برای شرایط مختلف ساختگاهی معرفی شده‌اند.

کلید واژه

پوشش کف، نفوذپذیری، شیرابه، مقررات، پسماند

***نویسنده مسئول:** تلفن:۶۱۱۱۳۱۵۵-۰۲۱، فکس: ۶۶۴۰۷۷۱۹ -۰۲۱، Email: mabdoli@ut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

محل دفن مـواد زاید جامد از اجزای جدایی ناپذیر سیسـتم مدیریت مواد زاید جامد اسـت. حتی در کشورهای توسعه یافته که سابقهٔ چشمگیری در اسـتفاده از روش‌های پیش تصفیه و بازیافت دارند، همچنان محل‌های دفـن به عنوان بخـش انتهایی چرخهٔ فرآوری زواید وجـود دارند. همچنین بررسی‌های انجام شده در کشورهای در حال توسعه نشان می‌دهد که با توجه بـه محدودیت‌های اقتصادی موجود، دفن اصلی‌ترین روش برای مدیریت و دفع نهایی مواد زاید جامد اسـت(Ramke,2001; Johannesson and Boyer, 1999).

در کشـور ما نیز دفن به عنوان سهل‌الوصول‌ترین و ارزانترین گزینهٔ مدیریـت زواید همواره مورد توجه بوده اسـت. تقریباً تمامی‌مراکز جمعیتی و صنعتی بزرگ در کشـور دارای محل‌هایی برای دفع پسماندهای تولیدی خود هستند، اما به علت عدم وجود قوانین و مقررات محدود کننده در مورد نحوهٔ ساخت و بهره‌برداری این محل‌ها در عمل به صورت گودهای کنترل نشـده زباله در آمده‌اند. سیاست ارگان‌های مسئول در این زمینه نیز بیشتر متوجـه نحوهٔ جانمایی محل‌های دفـن 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 مادهٔ ۵ آیین نامه اجرایی مدیریت پسـماند مصوب سال ۱۳۸۴ بیان شده است که شیوه نامه‌های اجرایی مدیریت پسماندهای عادی و کشاورزی شامل شیوه نامه‌های دفع باید به وسیلهٔ وزارت کشور تدوین و ابلاغ شود که گام مهمی به منظور سـاماندهی عملکرد محل‌های دفن خواهد بود.

یکی از مهمترین عوامل کنترل کنندهٔ رفتار محیط زیستی محل دفن، نحوهٔ عملکرد پوشش کف[۱] محل دفن است. پوشش کف مانع نفوذ شیرابه تولیدی در محل دفن به منابع آبی می‌شود. اهمیت این موضوع آنگاه آشکار می‌شـود که نمونه‌گیری‌های انجام شـده از شیرابه در کشـور نشان دهندهٔ آن‌است‌که که مقادیر COD[۲] موجود در شیرابه گاهی به ۷۰۰۰۰ می‌رسد و آلودگی‌های دیگری از جمله فلزات سنگین و یون‌های آمونیوم بیش از مقادیر مجاز معرفی شـده توسط سـازمان حفاظت محیط زیست در آن وجود دارد (BC Berlin,2004).

بـا توجه به اینکه ادامهٔ روش کنونی دفـن، زیان‌های جبران ناپذیری را به محیط زیسـت کشور وارد می‌کند این نوشتار سعی برآن دارد که با پرداختن به حداقل‌های مورد نیاز در مورد پوشش کف، راه را برای تدوین شیوه‌نامه‌ای فنـی در مقیاس ملی برای نحوهٔ طراحـی و بهره‌برداری از محل‌های دفن زواید، با توجه به خصوصیات مناسب برای پوشش کف هموار کند.

انواع روکش‌های قابل استفاده در محل دفن

مواد زیادی می‌توانند به عنوان روکش آب بند در کاربردهای مهندسی استفاده شوند. خصوصیت مشـترک این مواد نفوذ پذیری کم آنهاست. این نفوذ پذیری کم مانع از تراوش مایعات به محیط حفاظت شـده 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 قابـل توجه باشـند تا در محیط خورنـده و مدت زمان طولانی خاصیت نفوذ ناپذیری خود را حفظ کنند.

– نسبت به آسیب‌های محلی حساس نباشند و بتوان بدون اینکه نیاز به بازدیدهای چشمی‌باشد در طولانی مدت به آنها اطمینان کرد.

بنابراین با توجه به مسائل فوق بسیاری از مصالح مهندسی که کاربرد آب بندی دارند از فهرسـت روکش‌های محل دفن حذف می‌شوند.در ادامه با توجه به اینکه یک روش یکسـان در تعریف لاینرها و مشـخصات فنی مورد نیاز هر یک در کشور وجود ندارد به معرفی گزینه‌های مختلف روکش و مشخصات فنی حداقلی هریک می‌پردازیم. باید توجه داشت که روکش‌ها در شرایطی که معیارهای فنی حداقل بیان شده در این نوشتار را دارا نباشند، روکش‌های مناسـبی برای محل دفن محسوب نمی‌شـوند و کارفرمایان و مشـاوران باید به این موضوع توجه داشته باشند که روکش اجرا شده بدون مشـخصات فنی ولو اینکه ارزانتر باشـد گزینهٔ مناسـبی برای اختیار کردن نخواهدبود.

روکش‌های ایجاد شده با پروفیله کردن خاک محلی

این روش در مورد محل دفن زباله‌های شـهری و در کشـورهای در حال توسعه کاربرد دارد. لازمهٔ استفاده از این روش وجود خاکی رسی‌ـلومی با قطر زیاد در زیر سـاختگاه محل دفن است تا بتوان با جابه‌جایی وکوبیدن آنها به ضخامت‌های مختلف، عملاً شـیب بندی مورد نیاز برای زهکشـی شیرابه را به همراه یک پوشش زیرین ایجاد کرد. مسئلهٔ دیگری که می‌باید مورد توجه قرار گیرد این‌اسـت‌که در فرایند سـاخت در ایـن روش،کنترل کیفیت (آزمایش تراکم، رطوبت و کنترل چشمی‌اجزای خاک) در مورد خاک محلی صورت نمی‌گیرد.

روکش‌های رسی

روکش‌های رسـی از قدیمی‌ترین انواع روکش‌ها هسـتند و اخیرا"در اکثـر قریب بـه اتفاق روکش‌هـای مرکب به اتفـاق ژئوممبرین اسـتفاده می‌شوند. از امتیازات این نوع روکش، سابقه طولانی رس در زمینهٔ مقاومت

Archive of SID

www.SID.ir

شـیمیایی مناسب نسبت به ترکیبات مختلف، ضخامت چشمگیر روکش که از حساسـیت آن به آسـیب‌های 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 قرضه از ساختگاه و بالا بودن ریسک نشت مواد به خارج محل دفن(مواد زاید جامد خطرناک) این گزینه پر هزینه و پر خطر خواهد بود.

آنچـه در مورد این روکش‌ها اهمیت دارد ضخامت، خصوصیات خاک و برنامه کنترل کیفیت اجراسـت و باید از صحت کلیه خواصی‌که در سطور بعد برشـمرده می‌شـوند می‌باید با اجرای نوعی برنامه کنترل کیفیت دقیق، اطمینان حاصل کرد. اجرای لاینر رسـی 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 داشـت آنچه بیشـتر در کشـور به عنوان لایه‌های رسی کوبیده شـده مورد نظر اسـت با لایه‌های رسـی مورد احتیاج در محل دفن تفاوت اساسـی دارد. خاک کوبیده شده بدون کنترل کیفیت منظم از مصالح قرضـه، با خاصیت خمیری نامناسـب، بدون کنترل دائـم رطوبت، متراکم شـده در لایه‌های باضخامت بیش از ۱۵ سـانتیمتر و خاکهای ترک خورده، لاینرهای مناسبی برای محل دفن نیستند. لازم است مشاوران و کارفرمایان در هنگام برآورد اولیهٔ هزینه‌های اجرا این نکته را در نظر داشـته باشـند که اجرای لایه‌های رسـی با مشخصات لازم بسیار گرانتر و مشکل‌تر از هزینه اجرای این مصالح بدون کنترل کیفیت دقیق است.

روکش‌های ژئوممبرینی

ASTM D4439[۳] ژئوممبرین را به صورت زیر تعریف می‌کند: "غشای با نفوذپذیری پایین که دراندرکنش با مصالح مورد توجه در مهندسی ژئوتکنیک برای کنترل جریان آب در سیسـتم‌ها یا سازه‌های انسان‌ساخت به‌کارمی‌رود."

ژئوممبرین‌ها مانند کلیهٔ مصالح دیگر کاملا" نفوذ ناپذیر نیسـتند، اما نفـوذ پذیری آنها در دامنهٔ $۱۰^{-۱۵}$ تا $۱۰^{-۱۲}$ تغییر می‌کند به‌طوری‌که می‌توان آنها را تقریبا" نفوذ ناپذیر دانسـت. اما باید توجه داشـت که بیشـتر بخش آبی‌که ازروکش‌های ژئوممبرینی عبور می‌کند معمولا" از منافذ ایجاد شـده یا مکان‌های اتصال ژئوممبرین به اجزای دیگر سازه نشت خواهد کرد، و نه از بدنه ژئوممبرین، به همین دلیل است‌که وجود یک برنامه کنترل کیفیت جامع برای نصب ژئوممبرین الزامی است. تجربه نشان داده است‌که همواره مقـدار ناچیزی از جریان از ژئوممبرین عبـور می‌کند که هرچند در صورت اجرای صحیح، این مقادیر بسـیار کم هستند اما، در مقایسه با نرخ محاسبه شده از نفوذپذیری‌های پیش‌گفته بسیار بزرگترند.

یکـی از مهمترین خواص ژئوممبرین که بایـد در طراحی روکش به آن توجه داشـت جنس ژئوممبرین است. در میان پلیمرهای مختلف موجود، HDPE به علت خواص اثبات شـده پایداری در برابر مواد مختلف بشدت مورد توجه دسـتورالعمل‌های ملی و بین المللی بوده اسـت. روکش‌هایی با پلیمرهای دیگر از جمله EPDM ، PVC ، VFPE سـاخته شـده‌اند، اما می‌توان گفت که ۹۰ درصد روکش‌های محل دفن‌های سـاخته شده از جنس HDPE هستند.

در بعضی آیین‌نامه‌های کشورهای اروپایی مثل آلمان به‌طور مستقیم به HDPE اشاره شده است درحالی‌که در دستورالعمل جامعهٔ اروپا اصولا" استفاده از هرنوع روکش با عملکرد معادل با جزئیات استاندارد مجاز دانسته شده، این اصل نیز به طور معمول در کلیهٔ 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 دانسـته شـده است. EPA در مورد انتخاب نوع ژئوممبرین محدودیتی قائل نشـده اسـت به‌شرطی‌که عملکـرد کلی آب‌بندی مورد تردید نباشـد. عمدهٔ ضعف HDPE انعطاف پذیری کم آن نسـبت به دیگر پلیمرهاسـت که باعث می‌شود EPA برای این نوع ژئوممبرین ضخامت‌های بیشتری را معین کند.

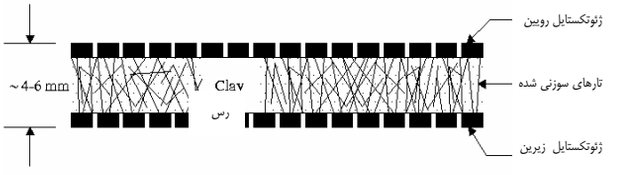
روکش‌های ژئوسینتتیکی–رسی[۴]

نـوع دیگری از پوشـاننده‌ها که به عنـوان جایگزیـن لایه‌های به نسـبت عمیق رسی برای آب بندی مطرح شده است، پوشاننده‌های رسی ـ ژئوسـنتتیکی هسـتند که به‌صورت زیر تعریف می‌شـوند:

پوشاننده‌های رسی ـ ژئوسنتتیکی، مواد آب بند پیش ساخته ای هستند که از یک لایه بنتونیت تقویت شده با با ژئوتکستایل ساخته می‌شود. این دو لایه به صورت مکانیکی با دوختن، میخ زدن، یا به صورت شیمیایی به‌وسیلهٔ چسباننده‌های شیمیایی به هم می‌پیوندند(Naue,2000). در بعضی انواع محصول یک لایه ژئوممبرین آنچه به عنوان روکش رسی–ژئوسـینتتیکی کاربرد دارد، شـامل مفهوم ژئوممبرین موجود در سـاختار این محصولات نمی‌شـود. ایـن ژئوممبریـن در واقع برای سـهولت اجرا بـه لایهٔ روکش رسی–ژئوسـینتتیکی متصـل شـده اسـت. بنابرایـن در مفهـوم روکش، روکش‌های رسی–ژئوسـینتتیکی از لایهٔ بنتونیت تشـکیل شده‌اند که بین دولایه ژئوتکسـتایل محبوس مانده است. در شکل شمارهٔ (۱) معمول‌ترین نقطـه مـورد اسـتفاده در روکش‌هـای رسی–ژئوسـینتتیکی را مشـاهده می‌کنیـد

Archive of SID

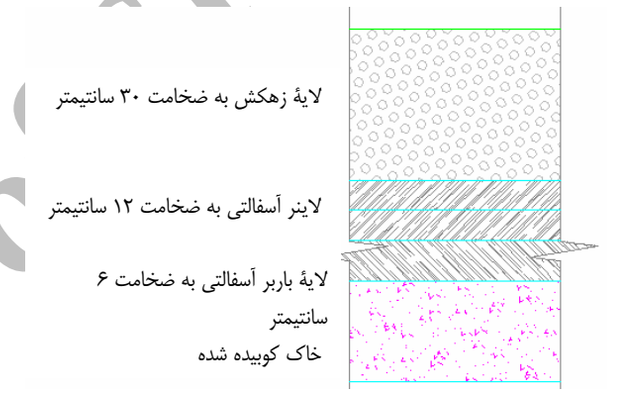
www.SID.ir



شکل شمارهٔ (۱): ساختارهای مختلف روکش‌های رسی–ژئوسینتتیکی

روکش‌های آسفالتی

این‌گونه 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 شمارهٔ (۲): جزئیات پیشنهاد شده استاندارد برای روکش آسفالتی

در شکل شمارهٔ (۲) جزئیات پیشنهادی ادارهٔ 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 سوراخ‌شدگی است. به همین دلیل در زیر ژئوممبرین غالبا" از رس و روکش ژئوسینتتیکی–رسی استفاده می‌شود. این ترکیب یکی از متداول‌ترین انواع روکش در دنیاست و اغلب کشورهای توسعه یافته از این ساختار روکش استفاده می کنند.

حداقل‌های پیشنهادی برای روکش کف محل دفن در کشورهای مختلف

کشورهای مختلف جهان، بویژه کشورهای توسعه یافته مانند ایالات متحده و اتحادیهٔ اروپا قوانین روشنی در مورد حداقل‌های مورد نیاز برای روکش کف ارائه کرده‌اند. بعضی کشورهای در حال توسعه مانند افریقای جنوبی نیز مقرراتی متناسب با نیازهای محلی خود ارائه کرده‌اند. همینطور در دستورالعمل‌ها و گزارشات ارائه شده به‌وسیلهٔ سازمان‌های بین المللی مانند بانک جهانی نیز در مورد نحوهٔ انتخاب روکش محل دفن اظهار نظر کرده‌اند. در ادامه به این ضوابط که چکیدهٔ تجربیات بین المللی در این زمینه محسوب می‌شوند می‌پردازیم.

با بررسی کلی از ضوابط ارائه شده مشخص می‌شود که نحوهٔ انتخاب روکش وابستگی مستقیم به جنس پسماند انباشت شده در محل دفن دارد. بهترین تقسیم بندی به‌دست‌آمدهٔ تفکیک جنس پسماند، به سه دستهٔ خنثی، زباله شهری و پسماند خطرناک هستند. تعاریف کلی این سه دسته به شرح زیرند، هرچند در دستورالعمل‌های ارائه شده در کشورهای مختلف ممکن است تفاوت‌های‌اندکی 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، خاکروبه، 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: پسماندهایی‌که در صورت انتشار به محیط خطر زیادی را متوجه محیط زیست می‌کنند و شامل تمامی‌پسماندهایی 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 است‌که ارتباط انواع محل‌های دفن اشاره شده در سطور فوق با این دسته بندی از پسماندها معرفی شود. در جدول (۱) برای انواع پسماندهای

Archive of SID
www.SID.ir

مشخص شده در قانون پسماندها نوع مناسب محل دفن پیشنهاد شده است. در ادامه با توجه به حداقل‌های پیشنهاد شده روکش به‌وسیلهٔ 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 پیش‌تصفیه(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 الزامی‌است.
پسماندهای کشاورزی	پسماندهای مربوط به دامپزشکی و لاشهٔ حیوانات بدون پیش‌تصفیه 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 هریک مشخص می‌شود.

اتحادیهٔ اروپا

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

حفاظت آبهای زیرزمینی می‌باید به واسطهٔ روکش کف و یک لایه نفوذ ناپذیر خاکی[۵] انجام گیرد. لایه نفوذ ناپذیر خاکی دارای شرایط زیر است:

- برای پسماندهای خنثی(محل دفن نوع۱) لایهٔ خاکی به ضخامت بیشتر یا مساوی ۱ متر وبا نفوذ پذیری $K \le 1.0\times10^{-7}\ m/s$
- برای پسماندهای شهری و مشابه(محل دفن نوع۲) لایه خاکی به ضخامت بیشتر، یا مساوی ۱ متر و با نفوذپذیری $k \le 1.0\times10^{-9}\ m/s$
- برای پسماندهای خطرناک(محل دفن نوع۳) لایهٔ خاکی به ضخامت بیشتر، یا مساوی ۵ متر و با نفوذپذیری $K \le 1.0\times10^{-9}\ m/s$

در مکان‌هایی‌که 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 مشخص‌سازند.

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:

-لایه‌ای‌باضخامت۶۰سانتیمتر‌روکش‌رسی‌بانفوذپذیری $K \le 1*10^{-8}\ m/s$، یا معادل آن روکش رسی-ژئوسینتتیکی، 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 نوع۳) 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

Archive of SID

www.SID.ir

ژئوممبرین که دارای ضریب نفوذ پذیری $K \geq 1\times10^{-2}\ cm/s$ باشد، یا لایه ای با توانایی زهکشی معادل.

– در زیر لایهٔ 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.

–لایه‌ای‌باضخامت۶۰سانتیمتر‌روکش‌رسی‌بانفوذپذیری $K \leq 1*10^{-8}\ m/s$ ،یا معادل آن روکش رسی–ژئوسینتتیکی.

همان‌گونه‌که مشاهده می‌شود لایهٔ زهکش برای این تعبیه شده است که در صورت نشت لایهٔ اول این موضوع مشخص شود و شیرابه حاصل از نشت به محیط وارد نشود. این مقادیر به عنوان مقادیر حداقلی مورد نیاز در محل دفن پیشنهاد شده‌اند و دولت‌های ایالتی می‌توانند در ایالات متحده می‌توانند ضوابط سختگیرانه تری در چارچوب موارد فوق عرضه کنند.

آیین نامهٔ ملی کشور آلمان در مورد محل‌های دفن

در این آیین نامه محل‌های دفن مربوط به سه نوع پسماند معرفی شده در بخش‌های قبل در قالب سه نوع مختلف روکش پیشنهادی در نظر گرفته شده‌اند(Mulloy et al,2001). برای محل دفن مواد خنثی آیین‌نامهٔ مذکور موارد زیر را پیشنهاد می‌کند که تنها از لایه روکش رسی به ضخامت ۰/۵ متر و با نفوذ پذیری $K \leq 1*10^{-8}\ m/s$ استفاده شود.

برای روکش محل دفن مواد زاید شهری و مواد مشابه اجزای زیر پیشنهاد شده است:

– یک لایهٔ روکش ژئوممبرین با ضخامت حداقل ۲/۵ میلیمتر از جنس HDPE.

– لایه‌ای با ضخامت ۶۰ سانتیمتر روکش رسی با نفوذپذیری $K \leq 1*10^{-8}\ m/s$ ، یا معادل آن روکش رسی–ژئوسینتتیکی.

برای روکش محل دفن مواد زاید جامد خطرناک (محل دفن نوع۳) آیین‌نامهٔ ملی آلمان مقادیر زیر را پیشنهاد می‌کند:

– یک لایه روکش ژئوممبرین با ضخامت حداقل ۲/۵ میلیمتر از جنس HDPE و لایه‌ای با ضخامت ۱۵۰ سانتیمتر روکش رسی با نفوذپذیری $K \leq 1*10^{-8}\ m/s$ یا معادل آن روکش رسی–ژئوسینتتیکی

کشور آلمان سختگیرانه‌ترین قوانین و مقررات مربوط به حفاظت از محیط زیست را داراست. اما در زمینه محل‌های دفن مواد خطرناک فلسفه متفاوتی با کشور ایالات متحده آمریکا اتخاذ کرده است. در کشور آلمان نیز دولت‌های ایالتی می‌توانند در چارچوب قوانین فدرال دستورالعمل‌های سختگیرانه تری برای ایجاد روکش‌ها اتخاذ کنند.

ضوابط تهیه شده توسط وزارت آب و جنگلداری افریقای جنوبی

افریقای جنوبی از معدود کشورهای در حال توسعه است که در زمینه محل‌های 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 یافته‌های علمی روز تدوین شده‌اند، تلاش داشته‌اند که محدودیت‌های منبع موجود در کشورهای در حال توسعه را نیز در نظر داشته باشند.

در ضوابط پیشنهادی وزارت آب و جنگلداری افریقای جنوبی روکش‌های 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 به‌نام روکش اولیه و ۱۵ سانتیمتر رس کوبیده شده به‌نام روکش ثانویه،

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

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

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

دامنه استفاده از انواع روکش بسته به شرایط محل دفن متفاوت است. روکش‌های نوع ۶،۷ و۸ فقط برای محل دفن مواد زاید جامد خطرناک استفاده می‌شوند درحالی‌که دیگر روکش‌ها برای مواد زاید جامد شهری کاربرد دارند. برای تعیین نوع دقیق روکش مشخصه‌هایی مانند بارش و تبخیر محلی، بزرگی و کوچکی محل دفن مد نظر قرار می‌گیرند.

توصیه‌های موجود در مورد کشورهای در حال توسعه

بسیاری از کشورهای در حال توسعه دارای ضوابط مشخصی در مورد نحوهٔ جانمایی، طراحی و ساخت محل‌های دفن نیستند. این موضوع باعث شده که برخی سازمان‌های بین المللی مانند بانک جهانی[۶] ، یا بخش برنامه توسعهٔ سازمان ملل[۷] و دیگر سازمان‌ها با کارکرد بین المللی به انتشار توصیه‌هایی برای نحوهٔ جانمایی، طراحی و ساخت محل‌های دفن در کشورهای در حال توسعه اقدام نموده‌اند که در ادامه به برخی از این توصیه و آمارهای موجود در این زمینه می‌پردازیم.

Archive of SID

www.SID.ir

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 به‌وسیلهٔ این سازمان در مورد پوشش محل دفن به شرح زیر است (Diaz et al,1998 ; Pugh et al, 1999):

- هنگامی‌که 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-ژئوسینتتیکی) استفاده شود.
- در مورد انتخاب نوع روکش، در دسترس بودن مصالح مناسب و ملاحظات مالی از عوامل اصلی تعیین کننده نوع روکش هستند.
- در مواردی‌که 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 درحال 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 تا۵ متر لایهٔ خاک طبیعی با نفوذ پذیری $K \le 10^{-7}\ m/s$ در کف محل دفن است. به این ترتیب لاینر با ضریب اطمینان متناسب و میزان سرمایه گذاری‌اندک 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 صحرایی 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 تا رس بهبود یافته با بنتونیت تغییر می‌کند. در روکش ۱۰ محل دفن نیز از ژئوممبرین به همراه رس یا روکش رسی-ژئوسینتتیکی استفاده شده است. فقط یک محل دفن نیز وجود داشته است که مستقیما" و بتنهایی از روکش رسی-ژئوسینتتیکی 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 به‌طورمعمول 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 پتروشیمی‌بندر 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 به‌گونه‌ای‌که 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 تمامی‌مطالب فوق به علت اینکه آب زیرزمینی

Archive of SID

www.SID.ir

یکی از منابع اصلی تامین آب در کشور محسوب شده ، با رشد برداشت از این منابـع می‌توان قطعا" اظهار نظر کرد که ظرفیت خودپالایی این منابع رو به ضعف اسـت. بنابراین به نظر می‌آید مواردی‌که منجر به آلودگی آبخوان‌های مورد استفاده می‌شوند را می‌باید از دامنه بررسی حذف کرد.

در کشـور ما روش کوبیدگی پسـماند با غلتک‌های مناسـب این کار تا جرم حجمی۸۰۰ تا ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب رایج نیسـت و کوبیدگی پسماند در انباشت‌های موجود به‌وسیلهٔ ماشین آلات معمول انجام می‌گیرد. کوبیدگی پسـماند موجب صرفه جویی در فضا می‌شـود و به طولانی شدن عمـر محل دفن کمک می‌کند. همین‌طور در اکثر محل دفن‌های موجود ما مشـکل عدم پایداری و آتش سوزی خودبه‌خودی دیده می‌شود که با انجام تراکم صحیح قابل پیشـگیری اسـت. بنابراین با توجه به مشکلات موجود در پیدا کردن زمین‌های مناسب با سخت تر شدن قواعد زیست محیطی در کشـور پیش بینی می‌شود که روش تراک زباله به مرور در کشور رواج یابد. تراکم زباله سـبب کمتر شدن ظرفیت میدانی پسماند شده و تولید شیرابه را (تولید تجمعی شیرابه در کل مدت زمان انتشار شیرابه از محل دفن) افزایش می‌دهد که در مقابل آثار مطلوب این امر قابل چشم‌پوشی است.

بحث مهم دیگر، میزان رطوبت بالای پسماندهای تولید شده در کشور اسـت. رطوبت بالای این پسـماندها به معنای تولید بیشتر شیرابه مستقل از وجود بارندگی اسـت. بررسـی‌های انجام شـده بر روی پسماند کهریزک تهران نشان می‌دهد که بخش اعظم شیرابه تولیدی در این محل دفن ناشی از آب اولیه موجود در پسـماند اسـت، و نه بارندگی‌هایی‌که به بدنه پسـماند نفوذ کرده‌اند. این مسـئله نشان می‌دهد که حتی در مناطق خشک کشور ما نیروی زیادی برای تولید شـیرابه وجود دارد(Safari and Baroniak, 2004).

بحث دیگر در این زمینه مقدار شـیرابه هیدرولوژیک تولیدی اسـت. شـیرابه هیدرولوژیک بـه مقدار تفاوت میزان بارش بـا تبخیر در یک دوره خاص گفته می‌شـود که مقدار آن نسبت مسـتقیم با مقدار شیرابه تولیدی در اثر بارش دارد. در مناطق خشـک این مقدار اغلب منفی اسـت (هر چند این به مفهوم عدم تولید شیرابه در اثر بارش نیست) که نشان‌دهندهٔ نیروی کـم میزان تولید شـیرابه در اثر بارندگی اسـت. در مناطق مرطوب به ویژه شـمال کشور مقدار شـیرابه هیدرولوژیک تولید شـده مثبت است و این به معنای نیروی تولید شـیرابه بیشـتر در اثر بارندگی می‌باشد. در یک تقسیم بندی سـاده می‌توان مناطق موجود در کشور را به دو دسته تقسیم کرد. در دستهٔ اول میزان تبخیر سالانه از بارش سالانه بیشتر است (مناطق با مقدار شـیرابه هیدرولوژیک منفی) و در دسـتهٔ دوم، میزان تبخیر سالانه از بارش کمتر اسـت (مناطق با میزان شیرابه هیدرولوژیک مثبت)، به نظر می‌رسد با توجه به اختلاف قابل توجه در نیروی شـیرابه تولیدی باید انواع متفاوتی از روکش‌ها در این مناطق استفاده شوند.

استاندارد پیشنهادی برای محل‌های دفن مواد زاید جامد

با توجه به موارد پیش‌گفته می‌توان موارد کلی زیر را در مورد مقررات مربوط به روکش‌های کف بیان داشت:

۱- برای تعیین نوع روکش کف لازم اسـت محل‌های دفن بر اساس نوع پسماند طبقه‌بندی شوند. یکی از طبقه‌بندی‌های مورد قبول دسته بندی محل‌های دفن به سه نوع خنثی، شهری و مشابه و خطرناک است.

۲- در مـورد محل‌هـای دفن مـواد خطرناک، قواعد مورد اسـتفاده سختگیرانه‌تری باید وضع شوند.

۳- در روش‌های 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 محل‌های دفن جهت تنظیم بهینه مقررات پیشنهاد می‌شود:

- دسـته بندی محل‌های دفن به سـه نوع خنثی، شهری و مشابه و محل‌های دفن خطرناک
- دسته بندی محل‌های دفن به لحاظ ساختگاهی به محل‌های دفن واقع در ساختگاه‌هایی با میزان شیرابه هیدرولوژیک مثبت و محل‌های دفن واقع در ساختگاه‌هایی با میزان شیرابه هیدرولوژیک منفی

با توجه به دسته‌بندی فوق در جدول شمارهٔ (۳) برای هر یک از محل‌های دفن دسته بندی شده نوعی روکش کف به عنوان حداقل پیشنهاد شده است:

همان‌گونه‌که در جدول شـمارهٔ (۲) مشـاهده می‌شـود مشـخصات روکش‌های کف پیشـنهادی از یک لایه ۳۰ سـانتیمتری رس تا یک لایه ترکیبـی ژئوممبرین با رس کوبیده شـده به ضخامـت ۱ متر تغییر می‌کند. همین‌طور GCL همواره می‌تواند به عنوان گزینه جایگزین روکش رسـی اسـتفاده شود. این جایگزینی بنا به شرایط سـاختگاهی مانند فواصل منابع قرضه و صعوبت اجرای لایهٔ رسـی در شـرایط سـاختگاهی و درآخر قیمت تمام شده دارد.

عامل دیگر مورد توجه این‌اسـت‌که حتی در مناطق کاملا" خشک با تبخیر زیاد نیز به علت وجود میزان آب مازاد بر ظرفیت میدانی در پسماندهای شهری، شیرابه زیادی تولید می‌شود. بنابراین حتی در این مناطق نیز استفاده از روکش در محل‌های دفن شـهری ضروری به نظر می‌رسد که در جدول مورد بحث نیز منعکس شده است.

روکش‌های آسـفالتی به علت اینکه کارکرد گسترده ای نداشته‌اند در جدول شـمارهٔ (۲) مورد اشـاره قرارنگرفته‌اند. اگرچه استفاده از این روکش می‌توانـد در موارد خاص و به صورت ویژه و با رعایت کلیه اسـتانداردهای شناخته شده مد نظر باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول شمارهٔ (۲): حداقل مشخصات پیشنهادی برای روکش کف در کشور

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

نتیجه گیری

در جـدول شـمارهٔ (۲) خلاصـه‌ای از مقـررات پیشـنهادی در مورد روکش‌های کف محل دفن ذکر شـده اسـت. بدیهی اسـت‌که جدول فوق راه حل نهایی نیسـت، اما آنچه این نوشـتار سـعی برتأکید بـر آن دارد آن است‌که راهبرد مورد نظر را در مورد تعیین نوع لاینر که شامل نوعی دیدگاه فراگیر زیست‌محیطی و اجرایی است معرفی کند. در ارایهٔ راهبرد سعی شده اسـت با در نظر داشـتن شرایط ویژه یک کشـور در حال توسعه از پیشنهاد قانون‌های سختگیرانه مختص کشورهای در حال توسعه احتراز شود، ضمن آنکه توجه به حفظ محیط زیسـت 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 نه تنها باید به ساختار روکش اشاره شود بلکه مشخصات فنی مورد اشاره در این نوشتار نیز می‌باید مورد توجه قرارگرفته و در حین تنظیم مقررات روشن شـود. 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

سـازمان حفاظت از محیط زیست جمهوری اسلامی‌ایران. ۱۳۸۳. مجموعه قوانیـن و مقـرات حفاظت از محیط زیسـت ایران، جلـد 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.

Archive of SID

www.SID.ir

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.

Archive of SID

www.SID.ir

محیط شناسی، سال سی و دوم، شماره ۴۰، زمستان ۱۳۸۵، صفحهٔ ۲۶-۱۹

بررسی کارایی همزن مکانیکی از نوع پایروبی ویژه دستگاه‌های بیوگاز به مدل چینی

قاسم علی عمرانی[1]*
مهیار صفا[2]
فریده گلبابایی[3]

۱- استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران
۲- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، مرکز تحقیقات تکمیلی دانشگاه آزاد اسلامی تهران
۳- استاد گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۳/٤/۱۷، تاریخ تصویب: ۱۳۸٤/۳/۱۰)

چکیده

دراین تحقیق ابتدا یک واحد بیوگاز مدل چینی با حجم ۱/۸ مترمکعب گاز تولیدی در روز و زمان ماه ۵۰ روز با مخزن تخمیری به قطر ۳ متر از آجر و سیمان و کانال خروجی در اندازه ۱/۲۰× ۰/۶۵ × ۱/۳۵ متر طراحی و ساخته شد. سپس باتوجه خاص بر سادگی عملکرد دستگاه، یک‌همزن مکانیکی از نوع پاروئی (Paddle Mixer) طراحی و بر روی واحد مربوط نصب شد. میزان بارگیری این دستگاه در ابتدا بالغ بر ۵۰ تن فضولات گاوی و زواید گیاهی است که به‌صورت مساوی و با همان مقدار آب مخلوط شده و در دستگاه تخلیه شده است. از آن پس بنابه روال فوق به مدت ۴هفته، روزانه ۴۹ کیلوگرم کود گاوی و زائدات گیاهی به دستگاه اضافه شد. نتیجه این که میزان گاز تولیدی این دستگاه (به‌وسیلهٔ گاز متر خشک هرهفته یک‌بار اندازه گیری شده است) پس از استفاده از همزن تا حدود ۴۲ درصد افزایش یافته است. جداسازی بخار آب و کاهش میزان COD و BOD تا حدود ۹۰/۲ و ۸۹/۲ درصد و pH = ۷/۵ از جمله نتایج دیگر این تحقیق است. اضافه می‌شود که میزان فشار گاز دراین بررسی در طول ۴ هفته تا حدود ۲۵ سانتیمتر ستون آب اندازه گیری شده است.

کلیدواژه

بیوگاز، همزن مکانیکی، مدل چینی

Archive of SID

***نویسنده مسئول:** تلفن:۰۹۱۲۱۵۴۶۸۳۷، Email:gh.warazist@yahoo.com

www.SID.ir

سرآغاز

واحدهـای بیـوگاز علاوه بر تولید انرژی و سـوخت، کود بهداشـتی خاصـی تولید می‌کننـد که منبع اصلی مواد مغـذی (N.P.K) و عاری از تخـم علف‌های هرز و عوامل بیماریزاسـت. این کـود حاصلخیزی خاک را زیاد کرده و بازده تولید محصولات کشـاورزی را نیز تا حدود ۱۰-۲۰ درصد افزایش می‌دهد. دسـتگاه‌های بیوگاز سبب کاهش قطع درختان و درنتیجه جلوگیری از فرسایش خاک می‌شوند.

طبق یک محاسـبهٔاجمالی، نیروی جایگزینی انرژی بیوگاز باتوجه به تعـداد دامهای موجود در کشـور، معادل ۲۵۵۰۰ بشـکه نفت خام در روز با ارزشـی برابر ۱۳۳/۲۸ میلیون دلار است. حال اگر فقط ۱۰ درصد از نیروی موجود مورد اسـتفاده قرارگیرد، پیامد اقتصادی جایگزینی بیوگاز سالانه بالغ بـر ۱۳/۳ میلیون دلار خواهدبود. براین اسـاس اسـتفاده از فناوری بیوگاز موجب آزادشدن بخش بزرگی از یارانهٔ ۱۱ میلیارد دلاری سوخت‌های نفتی داخل کشـور خواهد بود که می‌توانند بخوبی بـه منظور اجرای برنامه های عمرانی کشور هزینه شود (سازمان انرژی اتمی ایران، ۱۳۷۵).

تأمین سـوخت از طریق واحدهای بیوگاز نه تنها برای مناطق محروم بلکه در مناطق شهری نیز می‌تواند پاسخگوی بسیاری از مشکلات اقتصادی – بهداشـتی باشد. بدین ترتیب برنامه‌های بیوگاز برای روستاهای دورافتاده و صعب العبور که بزودی امکان سـوخت رسانی آسان وجودندارد با اهمیت ویژه‌ای جلوه‌گر خواهندشد (عمرانی، ۱۳۷۵).

روش بررسی

واحد بیوگاز مورد نظر در واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی واقع در حصارک تهران طراحی و اجرا شـد. پایلوت سـاخته شـده در این تحقیق از نوع واحدهای بیوگاز با مخزن گاز ثابت است. ورودی این دستگاه از طریق لوله و خروج مواد توسط کانال خروجی انجام می‌گیرد که این کانال بـه عنوان آدم رو[1] نیز عمل می‌کند. سـاختمان مخزن تخمیر این واحد به صورت نیمکره با کف مخروطی اسـت و کاملاً در زیر خاک قرار می گیرد. این واحد برای تولید ۱/۸ مترمکعب گاز در روز طراحی شـده و برای تأمین خوراک ورودی دسـتگاه از فضولات گاوی و مواد زاید گیاهی به نسبت ۱ : ۱ استفاده شد. میزان مواد ورودی واحد ۴۹ kg/day و زمان ماند فضولات نیز ۵۰ روز درنظرگرفته شد.

طراحی ابعاد پایلوت مورد نظر به شرح زیر است :

لجن تخمیری روزانه $S_d = 49 \times 2 = 98$ lit/day

حجم مخزن تخمیر $V_D = S_d \times RT = 98 \times 50 = 4900$ lit

دمای مخزن تخمیر $T = 30\ ^oC$

گاز تولید شدهٔ خالص (شکل شماره ۱) $G_d = 37$ lit/kg/day

تولید روزانهٔ گاز $G = 37 \times 49 = 1813$ lit/day

حجم مخزن نگهدارندهٔ گاز(ضریب ظرفیت مخزن ۵۵ ٪ درنظرگرفته شد).

$V_G = 1813 \times 0.55 = 997$ lit

نسبت حجم مخزن نگهدارندهٔ گاز به حجم مخزن تخمیر

$V_G : V_D = 997 : 4900 = 1 : 5$

باتوجه به جدول شمارهٔ (۱) خواهیم داشت :

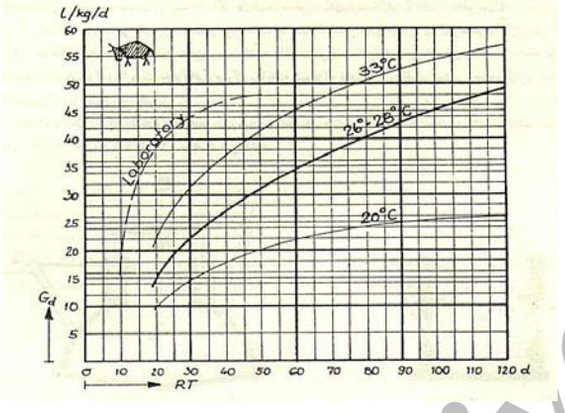
شعاع مخزن تخمیر $R = \sqrt[3]{0.76 V_D}$ $R = 1.5$m

شعاع مخزن جبرانی $r = 0.52\ R = 0.8$ m

ارتفاع کف مخروطی $h' = 0.25\ R = 0.38$m

$h = 0.4\ R = 0.6$ m

$P = 0.62\ R = 0.93$m



شکل شمارهٔ (۱): تولید بیوگاز از پهن تازهٔ گاو، باتوجه به زمان ماند و دمای مخزن تخمیر (ساسه، لودویک، ۱۳۷۴)

جدول شمارهٔ (۱): مشخصه‌های طراحی واحدهای بیوگاز مدل چینی

(Werner Uli and et al. 1989)

$V_g : V_d$	1 : 5	1 : 6	1 : 8
R	$\sqrt[3]{0.76 V_d}$	$\sqrt[3]{0.76 V_d}$	$\sqrt[3]{0.76 V_d}$
r	0.52 R	0.49 R	0.45 R
h	0.40 R	0.37 R	0.32 R
p	0.62 R	0.59 R	0.5 R

مخزن جبرانی در محاسـبات ذکر شده به‌صورت نیمکره درنظرگرفته شـده است (r شعاع مخزن جبرانی). ازآنجاکه هدف ما طراحی واحد بیوگاز با کانال خروجی اسـت، مخزن جبرانی نیمکرهٔ فوق را به صورت یک کانال مکعب مستطیل شکل معادل سازی می‌کنیم.

ابعاد این مکعب مستطیل به قرار زیر خواهدبود:

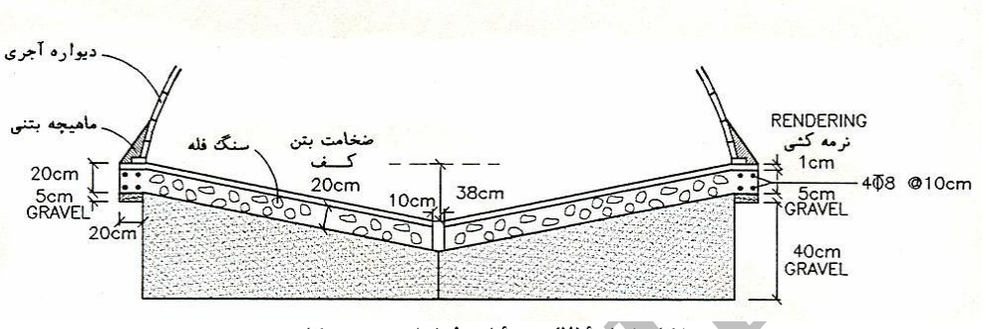
حجم کانال خروجی = $\frac{2}{3}\pi r^3 = 1.08$ m^3

Archive of SID

www.SID.ir

براین اســاس ابعاد کانال خروجی را ۱/۲۵ × ۰/۶۵ × ۱/۳۵ متردرنظر می‌گیریم.

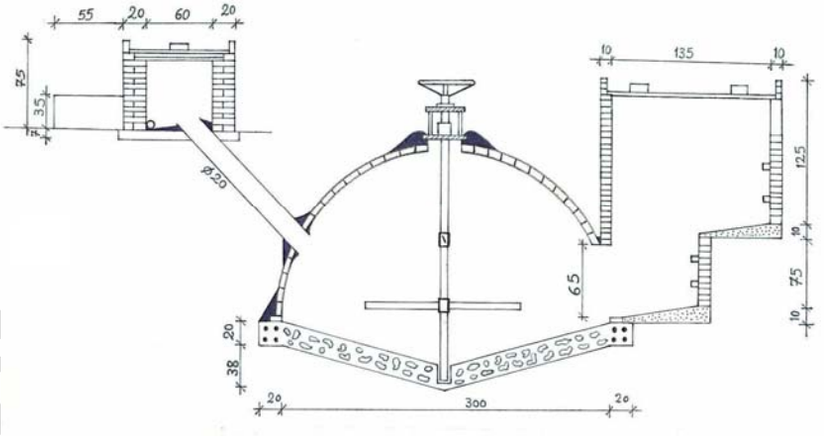
برای ساخت پایلوت مورد نظر ابتدا گودالی به ابعاد ۳ × ۴ × ۶ مترحفر شده و سپس فونداسیون دستگاه به قطر ۳ m از ملات بتنی (سیمان، ماسه و شــن به نســبت‌های ۱ ، ۴ ، ۴ همراه با قلوه ســنگ) احداث شد. جزئیات فونداسیون واحد بیوگاز موردنظر در شکل شمارهٔ (۲) آمده است.



شکل شمارهٔ(۲): جزئیات فونداسیون دستگاه

برای به حداقل رساندن ترک‌خوردگی‌های ناشی از تمرکز تنش‌ها در نقطهٔ اتصال فونداسیون به دیوارهٔ آجری مخزن، در این محل از میلگرد Φ8 استفاده شد (حداقل سطح مقطع فولاد در این محل کفایت می‌کند).

لولــه ای به قطــر ۲۰ cm از جنس پولیکا موجــب هدایت خوراک ورودی از حوضچهٔ اختلاط ورودی به داخل مخزن تخمیر می‌شود. این لوله با زاویهٔ ۴۵ درجه نسبت به افق قرار دارد. مقطع طولی واحد بیوگاز مورد نظر در شکل شمارهٔ (۳) ملاحظه می‌شود. در قسمت فوقانی مخزن، حفره ای به قطر ۳۳ cm برای قرارگیری همزن مکانیکی درنظر گرفته شد.



شکل شماره (۳): مقطع طولی واحد بیوگاز احداث شده

به منظور اســتحکام و آب بندی واحد، قسمت خارجی دستگاه به‌وسیلهٔ ملات ماسه و سیمان به ضخامت یک سانتیمتر اندودکاری شده و روی آن نیز قیروگونی شد. جدارهٔ داخلی مخزن را نیز با سه لایهٔ ملات با نسبت‌های معیــن اندودکاری کرده و ناحیهٔ تحتانی دیوارهٔ مخزن و کف مخروطی واحد نیز با قیروگونی پوشیده شدند.

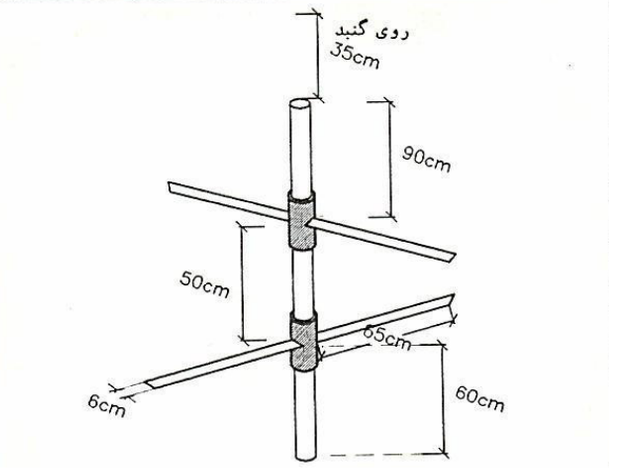
دراین تحقیق به منظور افزایش میزان گازدهی از یک‌همزن مکانیکی استفاده شد. همزن مورد نظر با شکستن لایهٔ کف شناور روی لجن تخمیری بــه افزایش میزان گاز تولیدی کمک فراوانــی می‌کند. از طرف دیگر عمل همزدن موجب همگن شــدن مخلــوط (از نظر پخش مواد غذایی) و توزیع یکسان درجه حرارت و با کتری‌های بی هوازی، بویژه باکتری‌های متانزا در

www.SID.ir

مخزن تخمیر می‌شود(Khandelwal, 1989). باتوجه به نوع فرایند و نیز به علت سهولت ساخت و سادگی فناوری در ایران و از آنجا که ویسکوزیته مایع مورد نظر در حد متوسط بوده و سرعت دورانی همزن نیز نمی‌باید خیلی زیاد و یا خیلی کم باشد (برای ایجاد شرایط مناسب برای فعالیت باکتری‌ها) از بین انواع مختلف همزن‌ها از همزن پارویی[۲] از لحاظ شکل و نوع عملکرد در این دستگاه استفاده شد. از آنجا که کف واحد بیوگاز مورد نظر بصورت مخروطی است باید از اختلاط کافی مایع دراین قسمت نیز اطمینان حاصل شود. برای همزدن افقی مواد و اطمینان از اختلاط کامل آنها از دو ردیف پره در بالا و پایین شفت مرکزی استفاده شد. در هر ردیف ۲ تیغه قرار داده شد.

مشخصات مورد نیاز برای طراحی همزن مکانیکی به قرار زیر است (شکل شماره ۴):

قطر همزن $D = 138$ cm ، قطر مخزن تخمیر $T = 3$m ،عرض هرتیغه $W = 60$ mm ، زاویهٔ تیغه ها $\alpha = 45^o$ ،تعداد تیغه‌ها $nb=4$ ، جرم همزن $m_p = 60$ kg، طول شفت $L_{sh}=2350$ mm ، چگالی فولاد $\rho_s=8000$ kg/m^3 ، چگالی مایع $\rho = 1000$ kg/m^3 ، سرعت دورانی (فرض شده است که در هر ۴ ثانیه همزن یک دور کامل بزند) $N= 0.25$ rev/s.



شکل شمارهٔ (۴): طرح شماتیک از همزن مکانیکی واحد بیوگاز

محاسبهٔ توان موتور

ابتدا توان مورد نیاز همزن را از رابطهٔ زیر محاسبه می‌کنیم (Harnby, et al., 1992): $P=P_0.\rho D^5.N^3$.

دراین رابطه P_0 عدد توان نامیده می‌شود که برای همزن‌های از نوع پارویی برابر ۱/۳ است.

$P= 1.3 \times 1000 \times (0.25)^3 \times (1.38)^5= 102$ w$= 0.102$ kw

توان تولید شده توسط موتور (P') باید تأمین کنندهٔ توان مورد نیاز همزن (P) بعلاوهٔ افت‌های حاصل از گیربکس، یاتاقان‌ها و عایق‌ها باشد. برای جبران این افت‌ها مقدار توان مورد نیاز همزن را ۱/۵ برابر می‌کنیم.

$P'= 1.5\ P$

$P'= 1.5 \times 102 = 150$w $= 0.15$ kw

گشتاور موتور نیز چنین محاسبه می‌شود (Harnby, et al., 1992):

$$M'r = M'r = \frac{P'}{2\pi N} \qquad (۲)$$

$$M'r = \frac{150}{2\pi(0.25)} = 95.5Nm$$

طراحی شفت (روش EEUA) :

(Harnby, et al., 1992)

به‌طورکلی اساس نظریه‌ای این روش برمبنای گیرکردن همزن و از حرکت ایستادن موتور استوار است. براین اساس گشتاور تحت فشار برابر خواهدبود با:

$$M_{pt} = F_{pt} .\ M'r \qquad (۳)$$

باتوجه به اینکه همزن در لجن فیبردار کار می‌کند شرایط را سخت درنظر گرفته و فاکتور F_{pt} را ۲/۵ فرض می‌کنیم.

$M_{pt} =2.5 \times 95.5 = 239$ Nm

هرگاه فرض شود که نیروی بازدارنده F_s در فاصلهٔ سه چهارم ($\frac{3}{4}$) از طول تیغهٔ پارویی وارد می شود، خواهیم داشت:

$$F_s = \frac{8M_{pt}}{3D} \qquad (۴)$$

$$\frac{8\times 239}{3\times 1.38} = 462N = F_{max}$$

لنگر خمشی M_b که نتیجهٔ نیروی وارده (F_s) و طول شفت است در انتهای شفت که متصل به موتور خواهد شد، ایجاد می‌شود.

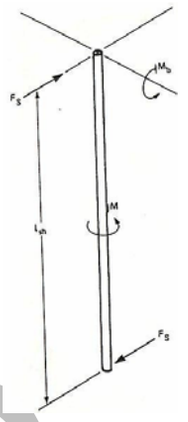
$$M_b = F_{max}.\ L_{sh} \qquad (۵)$$

$M_b = 462 \times 2.35 = 1086$ Nm

نیروها و گشتاورهای وارده بر شفت در شکل شمارهٔ (۵) نشان داده شده اند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل شمارهٔ (۵): نیروها وگشتاورهای وارده بر شفت (Harnby, et al., 1992)

لنگر خمشی معادل، باتوجه به نظریهٔ ماکزیمم انرژی تغییر شکل برشی الاستیک، چنین به‌دست می‌آید:

$$M_{be} = {}^{2}\sqrt{(M_b^2 + 0.75M_{pt}^2)} \qquad (۶)$$

$$M_{be} = {}^{2}\sqrt{(1086^2 + 0.75\times 239^2)} = 1106Nm$$

حال باتوجه به رابطهٔ زیر و با روش سعی و خطا قطر شفت (D_{sh}) به‌دست می‌آید.

$$\frac{32M_{be}}{\pi D_{sh}^{3}} + \frac{4m_p.g}{\pi D_{sh}^{2}} + L_{sh}.\rho_s.g < \sigma_y \qquad (۷)$$

دراین رابطه g ، شتاب جاذبه، D_{sh} قطر شفت و σ_y تنش تسلیم فولاد به‌کاررفته در ساختمان همزن و پره های آن می‌باشند.

فولاد ST37 $\rightarrow \sigma_y = 2400\ kg/cm^2 = 235\times 10^6\ N/m^2$

Assume: $D_{sh} = 40\ mm = 0.04\ m$

$$\frac{32\times 1106}{\pi(0.04)^3} + \frac{4\times 60\times 9.81}{\pi(0.04)^2} + 2.35\times 8000\times 9.81$$

$$= 177\times 10^6 < \sigma_y \quad O.K$$

مقدار تنش تسلیم مجاز فولات تحت بارگذاری کششی خالص برابر است با :

$$\tau_y = 0.577\ \sigma_y \qquad (۸)$$

$$\tau_y = 0.577\times \quad 235\times 10^6 = 136\times 10^6\ N/m^2$$

تنش برشی ناشی از شتاب گرفتن موتور از رابطهٔ زیر قابل محاسبه است ؛

$$\tau_{pk} = \frac{16(2.5M')}{\pi.D_{sh}^{3}} \qquad (۹)$$

$$\tau_{pk} = \frac{16(2.5\times 95.5)}{\pi(0.04)^3} = 19\times 10^6\ N/m^2$$

طراحی پره ها:

(Harnby, 1992) & (Hoggendoon, 1967)

برای طراحی پره ها ابتدا باید سرعت زاویه ای همزن تعیین شود.

$$\omega = 2\pi N \qquad (۱۰)$$

$$\omega = 2\pi(0.25) = 1.6\ rad/s$$

حال نیروی وارده بر پره از طرف مایع را محاسبه می‌کنیم:

$$F = \int_{r_1}^{r_2} P.dA = \int_{r1}^{r2} \frac{\rho.b\omega^2}{2}.y^3.dy = \rho.b.\omega^2 \qquad (۱۱)$$

$$\frac{y3}{6}\Big|_{r1}^{r2}$$

r_1 شعاع قرارگرفتن لبهٔ ابتدایی پره و r_2 شعاع قرارگرفتن لبهٔ انتهایی پره نسبت به مرکز شفت هستند.

$$M = 1000\times 0.06\times 1.6^2\times \frac{(0.69^3 - 0.04^4)}{6}$$

$$= 8.5\ N$$

ملاحظه می‌شود که

$$\tau_{pk} < \tau_y$$

$$\therefore \text{ Shaft is OK}$$

همچنین مقدار ممان نیروی وارده از طرف مایع نسبت به مرکز دوران برابر است:

$$M = \int_{r1}^{r2} y.dF = \int_{r1}^{r2} \frac{\rho.b.\omega^2}{2}{}^{2}\, y^3.dy = \rho.b.\omega^2.\frac{y^4}{8}\Big|_{r1}^{r2} \qquad (۱۲)$$

$$M = 1000\times 0.06\times 1.6^2\times \frac{(0.69^4 - 0.04^4)}{8}$$

$$= 4.4\ Nm$$

درنهایت باتوجه به رابطهٔ زیر، ضخامت پره ها تعیین می‌شود.

$$\frac{M'C}{I} = \frac{\sigma y}{n} \qquad (۱۳)$$

ماکزیمم تنش‌ها در لایه‌های خارجی هر پره ایجاد می‌شود، یعنی در جایی‌که:

تنش تسلیم فولاد $\sigma y = 235\times 10^6\ N/m^2$

ضریب اطمینان $n = 3$

لنگردوم سطح $\frac{1}{12}t^3 = I = \frac{1}{12}.b.\times 0.06\times t^3$

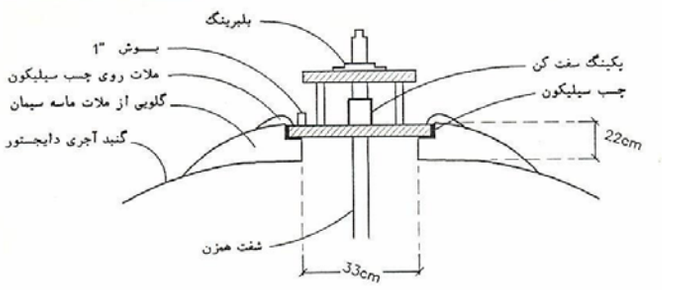
Archive of SID

www.SID.ir

بنابراین خواهیم داشت :

$$(4.4 \times \frac{t}{12}) / (\frac{1}{12} \times 0.06 \times t^3) = \frac{235 \times 10^6}{3}$$

ضخامت پره ها باتوجه به تسمه‌های موجود در محل کارگاه برابر ۱۰ mm درنظرگرفته شـد. نتایج طراحی و مشخصات نهایی همزن در جدول شمارهٔ (۲) ثبت شده اند. جزئیات مهار همزن در حفرهٔ فوقانی واحد بیوگاز در شکل شمارهٔ (۶) نشان داده شده‌است.



شکل شمارهٔ (۶): جزئیات مهار همزن در حفرهٔ فوقانی واحد بیوگاز

جدول شمارهٔ (۲): مشخصات نهایی همزن مکانیکی ازنوع پارویی

مشخصهٔ مورد نظر	نتیجهٔ طراحی
قطر مخزن تخمیر (T)	۳ m
سرعت دورانی (N)	۰/۲۵ rev/s
سرعت زاویه‌ای همزن (ω)	۱/۶ rad/s
جرم همزن (m_p)	۶۰ Kg
توان مورد نیاز همزن (P)	۰/۱۰۲ KW
توان موتور (P′)	۰/۱۵ KW
گشتاور موتور (M′r)	۹۵/۵ Nm
قطر همزن (D)	۱۳۸۰ mm
عرض هر پره (W)	۶۰ mm
زاویهٔ پره‌ها (α)	۴۵ °
تعداد پره‌ها (nb)	۴
لنگر خمشی معادل (M_{be})	۱۱۰۶ Nm
تنش برشی ناشی از شتاب گرفتن موتور (τ_{pk})	۱۹ × ۱۰۶ N/m²
طول شفت (L_{sh})	۲۳۵۰ mm
قطر شفت (D_{sh})	۴۰ mm
نیروی وارده به پره از طرف مایع F)	۸/۵ N
ابعاد هریک از پره های بالایی	۵۵۰ × ۶۰ × ۱۰ mm
ابعاد هریک از پره های پایینی	۶۵۰ × ۶۰ × ۱۰ mm

ازآنجاکـه مصالح سـاختمانی و سـیمان روکار در مقابل گاز نشـت پذیرنـد، دیـوارهٔ محفظهٔ گاز از قسـمت داخـل می‌باید به‌وسـیلهٔ روکش مناسـبی در برابـر گاز غیرقابـل نفـوذ شـود. در ایـن طـرح از پارافیـن به‌دلیل عملکرد ساده و دوام خوب، بعنوان روکش غیرقابل نفوذ در برابر گاز اسـتفاده شد. ضخامت اندود پارافین در حدود ۳ mm تا ۴ بود که در محل اتصال صفحهٔ فلزی همزن به گنبد بیوگاز ضخامت پارافین بیش از ۴ mm نیز درنظر گرفته شـد. قابل ذکر است که دستگاه بیوگاز مربوط از نظر نشت آب وگاز مورد آزمایش وکنترل دقیق قرارگرفت.

باتوجه به اینکه آزمایش در فصل زمستان انجام گرفت, برای کمک به حفظ حرارت لجن داخل مخزن تخمیر از پشـم شیشه استفاده شد. درنهایت پس از خاکریزی بر روی دستگاه بیوگاز، یک عدد تلهٔ آب[۳]برای حذف بخار آب و یک عدد مانومتر U شکل آبی برای اندازه گیری فشار گاز، باتوجه به امکانات موجود در محل ساخته شدند.

بعـد از انجام ایـن مراحل، واحد مـورد نظر با ۴ تن مـواد خام اولیه بارگیری شـد (۵۰ درصد فضولات گاوی و ۵۰ درصـد زواید گیاهی که به نسبت مسـاوی با آب مخلوط شـدند). مواد زاید گیاهی قبل از استفاده بـه صورت کمپوسـت درآمده (با زمان پوسـیدگی ۲۰ روز) و در اندازه های کوتاه خرد و ریز شـدند.

مدت زمان آزمایش در این تحقیق برابر چهار هفته بود که در این مدت عـلاوه بر انـدازه گیری هفتگی میـزان گاز، مقدار pH و درجهٔ حرارت مخزن نیز به‌طور روزانه کنترل و اندازه گیری شـدند. برای تعیین میزان تصفیـه پذیری فضولات در این دسـتگاه مقدار BOD و COD مواد ورودی وخروجی اندازه گیری شـدند.

نتایج

به‌طورکلـی نتایج حاصل از طراحی ابعـاد و مقیاس واحد بیوگاز مورد نظر وهمزن مکانیکی مربوط به ترتیب در جداول (۲) و (۳) ذکر شده است. شـایان ذکر است که علت اسـتفاده از مخلوط ۲ نوع ماده به عنوان خوراک ورودی، بازدهی مطلوب گاز و تخمیر است.

جدول شمارهٔ (۳): نتایج حاصل از طراحی ابعاد و مقیاس واحد بیوگاز مورد نظر

مشخصه‌های مورد نیاز برای طراحی	نتایج حاصل از محاسبات
مقدار مواد خام اولیه (D_d)	۴۹ Kg/day
لجن تخمیری روزانه (S_d)	۹۸ Lit/day
حجم مخزن تخمیر (V_D)	۴۹۰۰ Lit
گاز تولید شدهٔ خالص (G_d)	۳۷ Lit/kg/day
تولید روزانهٔ گاز (G)	۱۸۱۳ Lit/day
حجم مخزن نگهدارندهٔ گاز (V_G)	۹۹۷ Lit
نسبت $V_G : V_D$	۱ : ۵
شعاع مخزن تخمیر (R)	۱/۵ m
شعاع مخزن جبرانی (r)	۰/۸ m
ابعاد کانال خروجی معادل (a × b × c)	۱/۳۵ × ۰/۶۵ × ۱/۲۵ m
فاصلهٔ سطح لجن تخمیری تا قسمت فوقانی گنبد در حالت حداکثر	
میزان تجمع گاز (P)	۰/۹۳ m
ارتفاع مخروط فوندانسیون دستگاه (h′)	۰/۳۸ m

Archive of SID

www.SID.ir

نسبت $\frac{C}{N}$ مواد مخلوط ورودی در حدود ۲۵ به صورت زیر محاسبه شد که در محدودهٔ کاملاً مناسب برای تخمیر بی هوازی قراردارد.

$$MC/N = \frac{\left(\frac{C}{N}\right)_1 \times W_1 + \left(\frac{C}{N}\right)_2 \times W_2}{W_1 + W_2}$$

وزن هریک ازمواد ورودی $W_1 = W_2 = 24.5\ \text{Kg}$

نسبت $\frac{C}{N}$ فضولات دامی $\left(\frac{C}{N}\right)_1 = 15$

این نسبت با توجه به مواد خام اولیه (فضولات گاوی و موادزاید گیاهی) از رابطه زیر محاسبه شد:

نسبت $\frac{C}{N}$ آشغال سبزی $\left(\frac{C}{N}\right)_2 = 35$

$$\therefore MC/N = \frac{15 \times 24.5 + 35 \times 24.5}{24.5 + 24.5} = 25$$

(Werner Uli and et al., 1998)

همزن مورد نظر برای اتصال به الکتروموتور (گیربکس) محاسبه وطراحی شده است ولیکن دراین تحقیق به علت مدت زمان کوتاه اختلاط مواد (مسئله اقتصادی بودن طرح) و سادگی اجرای طرح و عملکرد آن در روستاها از نیروی انسانی برای چرخش و کارکرد همزن استفاده شد.

در طی عمل آزمایش (چهار هفته) درجه حرارت هاضم و pH آن بطور روزانه مورد اندازه گیری قرارگرفتند. اندازه گیری درجهٔحرارت در ساعات بین ۲ الی ۴ بعدازظهر انجام گرفت. قابل ذکر است که به هنگام اندازه گیری درجه حرارت مخزن تخمیر، دمای محیط بیرون نیز قرائت شده است. میانگین درجهٔ حرارت هاضم ۱۰/۱ درجهٔ سانتی گراد و میانگین درجه حرارت محیط بیرونی ۷/۶ درجهٔ سانتیگراد ملاحظه گردید. PH لجن تخمیری نیز همراه با درجهٔ حرارت به‌طور روزانه اندازه گیری شد که میانگین آن در طی ۴ هفته برابر ۷/۵ به‌دست آمد.

نحوهٔ اندازه‌گیری میزان گاز حاصل در مدت ۴ هفته بدین صورت بود که هر روز به میزان ۴۹ کیلوگرم از خوراک را به همراه آب وارد هاضم کرده و سپس در انتهای هر هفته شیرگاز را باز نموده و میزان حجم کل بیوگاز تولید شده (درطی هفته) مورد اندازه گیری قرارگرفت. نکتهٔ مهم در این آزمایش آن‌است‌که هریک هفته در میان از همزن مکانیکی استفاده شد. به عبارت دیگر دو هفته، سیستم را به‌هم زدیم و دو هفته بدون همزدن، لجن تخمیری آزمایش انجام شد. درهر حالت میزان گاز تولید شده روزانه مورد اندازه گیری قرارگرفت و بایکدیگر مقایسه شد. برای یکسان بودن شرایط آزمایش علاوه بر ثابت بودن مقدار خوراک روزانه، به کمک اختلاط خوراک با آب گرم، دمای مخزن نیز یکسان نگه داشته شد. همزدن لجن تخمیری توسط نیروی انسانی روزی ۲ بار صورت گرفت. مدت زمان اختلاط، به‌طور روزانه ۳ دقیقه صبح و ۳ دقیقه بعدازظهرکنترل شد. باید درنظرداشت که طراحی واحد مورد نظر براساس تولید روزانهٔ ۱/۸ مترمکعب بیوگاز در دمای ۳۰ ^{o}C (در تابستان) است ولی باتوجه به این که آزمایش و اندازه‌گیری گاز حاصل در شرایط سرد زمستانی صورت‌گرفت (بدون وجود سیستم گرمایش و کویل داخل مخزن تعمیر)، میزان تولید گاز در حداقل مقدار خود بود. برای اندازه‌گیری میزان کل بیوگاز تولیدی از گاز متر خشک با دقت ۰/۰۱ لیتر استفاده شد.

فشار گاز تولیدی حدود ۲۵ cmH_2O در شرایط سرد زمستان و حجم کم بیوگاز به کمک مانومتر،U شکل قرائت شد. نتایج حاصل از آزمایش‌های BODو COD در جدول شماره(۴) آمده است.

جدول شمارهٔ (۴): مقادیر BOD و CODخوراک ورودی و لجن خروجی

	مواد خام اولیه (ورودی)	لجن تخمیر شدهٔخروجی
BOD	۳۷۵۹۶ mg/l	۳۶۷۱ mg/l
COD	۶۶۷۳۶ mg/l	۷۲۱۷ mg/l

بحث و نتیجه گیری

ازآنجایی‌که واحدهای بیوگاز مدل چینی در زیر سطح زمین ساخته می‌شوند درجه حرارت را نسبت به سایر انواع واحدها بهتر حفظ می‌کنند، بنابراین باتوجه به شرایط روستاهای کشور بیشتر توصیه می‌شوند. در این تحقیق برای خروج لجن هضم شده به‌جای لوله از یک کانال استفاده گردید. که در این‌حالت دیگر نیازی به دریچهٔ آدم رو در قسمت فوقانی مخزن تخمیر نیست (کانال خروجی خود مانند آدم رو نیز عمل می‌کند).

مقایسهٔ مقدارگاز تولید شده در هفتهٔ اوّل ودوم جدول شماره (۵) نشان می‌دهد که استفاده از همزن، ۴۴ درصد تولید گاز را افزایش داده است و همچنین از مقایسهٔ میزان بیوگاز حاصل در هفتهٔ سوم و چهارم ملاحظه می‌شود که به هنگام استفاده از همزن، میزان بیوگاز تا ۴۰ درصد افزایش داشته است. بنابراین میانگین درصد افزایش گاز را در اثر همزدن مواد در طی چهار هفته می‌توان ۴۲ درصد بیان نمود که بیقین باتوجه به میزان سرمایه گذاری برای ساخت همزن بسیار قابل توجه است.

جدول شمارهٔ (۵): میزان بیوگاز حاصل در شرایط آزمایش

	حجم بیوگاز تولیدی در انتهای هر هفته (lit)	میزان خوراک ورودی روزانه (Kg)
هفتهٔ اوّل بدون همزدن	۱۰۲	۴۹
هفتهٔ دوم با همزدن	۱۴۷	۴۹
هفتهٔ سوم بدون همزدن	۱۵۰	۴۹
هفتهٔ چهارم با همزدن	۲۱۰	۴۹

Archive of SID

www.SID.ir

از روی جدول شمارهٔ (۴) مشخص می‌شود که میزان کاهش BOD و COD لجن تخمیری به ترتیب ۹۰/۲ و ۸۹/۲ درصد است که در حد بسیار مطلوبی قراردارند. همچنین ملاحظه می‌شود که نسبت $\frac{COD}{BOD}$ برای مواد خام ورودی برابر ۱/۷۸ و برای لجن هضم شدهٔ خروجی برابر۱/۹۷ است. باتوجه به مطالب ذکر شده موارد زیر برای توسعه واحدهای بیوگاز، بویژه برای رفع مشکل انرژی و بهداشت در روستاهای کشور پیشنهاد می‌شود:

۱ – انتخاب روش‌های ساده و متناسب دستگاه‌های بیوگاز در شهرها و بویژه روستاهای کشور.

۲ – استفاده از مواد زاید گیاهی (بویژه آشغال سبزی) به همراه فضولات حیوانی به‌عنوان خوراک ورودی برای افزایش بازدهی گاز.

۳ – تهیهٔاستاندارد طراحی، ساخت ، تولید گاز و درصد عناصر تغذیهٔ گیاهی در خوراک ورودی متناسب با شرایط خاص کشور.

۴ – استفاده از همزن مکانیکی مناسب در واحدهای بیوگاز روستایی و شهری به منظور افزایش چشمگیر گاز. در مواردی که امکانات ساخت همزن وجود ندارد، همزدن لجن تخمیری به روش‌های بسیار ساده، نظیر به‌هم‌زدن و فشاردادن با چوب توصیه می‌شود.

۵ – به منظور تثبیت درجهٔ حرارت و بالابردن تولید بیوگاز بویژه در زمستان گرم کردن مخزن تخمیر واحدهای بیوگاز ضروری است. روش‌های مختلفی در این ارتباط وجود دارد که ساده ترین آن استفاده از یک کویل با جریان آب گرم، یا بخار آب در داخل محفظهٔ تخمیر میباشد.

یادداشتها

1.Manhole
2.Paddle Miner
3.Water trap

منابع مورد استفاده

ساسه، لودویک. ۱۳۷۴.تأسیسات واحدهای بیوگاز، ترجمهٔ دکترقاسم نجف پور، چاپ اوّل.

عمرانی, قاسمعلی. ۱۳۷۵. مبانی تولید بیوگاز از فضولات شهری و روستایی، انتشارات دانشگاه تهران, چاپ اوّل.

سازمان انرژی اتمی ایران. ۱۳۷۵. مرکز تحقیقات و کاربرد انرژی‌های نو، بخش بیوگاز، اولین سمینار بیوگاز در ایران.

Harnby N., Edwards M.F., Nienow A.W. 1992. Mixing in the Process Industries. Butterworth. *Heinemann Ltd Second edition*.

Khandelwal K.C., Mahdi S.S. 1989. Biogas Technology, McGraw-Hill, New Dehli.

Werner Uli., Stohr U., Hees N. 1989. Biogas Plants in Animal Husbandry. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn.

Archive of SID

www.SID.ir