دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال یازدهم، شماره‌ی ٤٤
پاییز ۱۳۹۹، صفحات ۲۱-۹

مروری بر اصول مهندسی و مدیریت پسماند

سمانه خدادادی
گروه مهندسی شیمی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

محراب فلاحی سامبران *
گروه مهندسی شیمی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران
Email: Mehrab.fallahi@aut.ac.ir

چکیده

امروزه میزان پسماند به دلیل افزایش جمعیت و شهرنشینی به طور پیوسته در حال افزایش است. مواد زائد از فرآیندهای تولید، صنایع و پسماندهای جامد شهری تولید می‌شوند. تعداد زیادی از اجزاء موجود در پسماند جامد شهری مشکلات بهداشتی و زیست محیطی ایجاد می‌کنند. اثرات بهداشتی عبارت اند از: قرار گرفتن در معرض عفونت، آلاینده‌های بیولوژیکی و مواد شیمیایی سمی از طریق آب، خاک و هوا. اثرات زیست محیطی نیز عبارتند از: آلودگی، گرمایش جهانی، ایجاد اکسیدان فوتوشیمیایی، کاهش منابع ، اسیدی شدن، اوتروفیکاسیون و سمیت اکولوژیکی برای آب. بنابراین امروزه جوامع، صنایع و افراد، چندین راه برای کاهش و مدیریت بهتر پسماند جامد شهری از طریق ترکیبی از شیوه‌ها پیدا کرده‌اند که نه تنها شامل استخراج اجزای قابل بلکه تولید انرژی به شکل گرما یا برق نیز می‌باشد. این اقدامات عبارتند از: کاهش در مبداء، بازیافت، و فرآیند/ دفع از طریق فناوری‌های مختلف مانند کمپوست‌سازی، احتراق/ سوزاندن، تبدیل به گاز، هضم بی هوازی، خاک چال و غیره. افزایش آگاهی در مورد محیط زیست نیز به طور چشمگیری به نگرانی‌های مربوط به دفع پسماندهای تولید شده کمک کرده است. این مقاله یک بررسی دقیق در مورد پسماند و گزینه‌های مدیریتی پسماند و تحقیقات منتشر شده در مورد تأثیر مواد زائد بر محیط زیست است.

کلید واژه: مدیریت پسماند، تبدیل پسماند به انرژی و روش‌های دفع پسماند.

مقدمه

مدیریت پسماند یکی از دغدغه‌های مهم زیست محیطی در جهان است. فعالیت‌های انسانی و تغییر در شیوه زندگی و الگوهای مصرف منجر به افزایش نرخ تولید زباله جامد شده است. مدیریت پسماند نیز برای بازیابی منابع از آن انجام می-شود. مدیریت پسماند می‌تواند شامل مواد جامد، مایع، گازی یا رادیواکتیو، روش‌ها و زمینه‌های تخصصی متفاوت برای هر یک باشد. یک سیستم مدیریت ضایعات معمولی شامل جمع‌آوری، حمل و نقل، پیش تصفیه، عملیات فرآیندی و کاهش نهایی باقیمانده‌ها است. انواع زباله‌ها می‌تواند جداگانه جمع‌آوری شود. گفته می‌شود که مدیریت پسماند یکی از زیرساخت‌های عمومی است که بر اساس نوع خاصی از زیرساخت‌های فیزیکی برای ارائه کالا یا خدمات استوار است و از این نظر، شبیه بخش برق، گاز طبیعی و آب است [۱].

شیوه‌های مدیریت پسماند برای کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، برای مناطق شهری و روستایی و برای پسماندهای مسکونی و صنعتی متفاوت است. مسئولیت مدیریت پسماندهای غیر خطرناک مسکونی و سازمانی در کلان‌شهرها معمولا با مقامات دولت محلی است، در حالی که مدیریت پسماندهای تجاری و صنعتی غیر خطرناک معمولا بر عهده تولیدکننده است. هنگامی که بازیافت هم به دلایل زیست محیطی و هم مدیریت منابع ضروری شناخته شد، نرخ بازیافت زباله‌های خانگی در اکثر کشورهای توسعه یافته در دهه ۱۹۸۰ در درصدهای پایین تک رقمی قرار داشت. سیستم‌های مدرن غربی مدیریت پسماند طی ۲۰ سال گذشته نرخ‌های بازیافت را بازسازی کرده‌اند [۲].

سیستم‌های مدرن مدیریت پسماند، که بسیاری از شهرهای کشورهای در حال توسعه به دنبال آن هستند، همگی دارای نرخ بالای بازیافت مواد تمیز و جدا سازی شده در مبدا هستند. اکثر فناوری‌های مدیریت پسماند به تکامل و رشد کامل خود رسیده و برای چندین دهه در بسیاری از کشورها با موفقیت اجرا شده‌اند. مثلا در ترکیه، مقررات کنترل ضایعات جامد به منظور مدیریت پسماند جامد در سال ۱۹۹۱ اعمال شد. این مقررات به طور مداوم به روز شده است. در آیین نامه‌ها و مقررات مربوط به مدیریت پسماند روش‌های طبقه بندی ضایعات، جمع‌آوری، حمل و نگهداری موقت پسماندها در موسسات و حمل آن‌ها به منطقه دفع نهایی توضیح داده می‌شود.

– اهداف مدیریت پسماند

۱-کاهش مقدار کلی پسماند از طریق بازیافت آن.

۲-بازیافت و وارد کردن مجدد گروه‌های مناسبی از مواد به چرخه تولید به عنوان مواد خام کمکی یا حامل انرژی.

۳-وارد کردن مجدد پسماندهای بیولوژیکی به چرخه طبیعی

۴-کاهش حداکثر مقدار پسماند باقی‌مانده که باید در محل-های مناسب دفن دفع شوند.

۵- ارائه مفهوم انعطاف پذیر در مورد نوسانات مقدار پسماند و ترکیب زباله‌های خانگی، تحولات جدید و توسعه در زمینه مدیریت پسماند باید در سیستم گنجانده شود.

مقادیر زیادی از این زباله‌ها قابل حذف نیستند. با این حال با استفاده پایدارتر از این زباله‌ها می‌تواند تاثیرات زیست محیطی کاهش یابد. این به عنوان سلسله مراتب پسماند شناخته می‌شود [۳]. سلسله مراتب پسماند به کاهش، استفاده مجدد و بازیافت اشاره می‌کندکه استراتژی‌های مدیریت پسماند را مطابق مطلوبیت آن‌ها از نظر کمینه‌سازی طبقه بندی می‌کند. سلسله مراتب گزینه‌های دفع تأثیرات زیست محیطی را در شش سطح از پایین به بالا یعنی کاهش، استفاده مجدد، بازیافت، کمپوست، سوزاندن و دفن طبقه بندی می‌کند [۴]. سلسله مراتب پسماند سنگ بنای بسیاری از استراتژی‌های کمینه سازی پسماند باقی می‌ماند. هدف از سلسله مراتب پسماند بهره برداری حداکثری از محصولات و مزیت‌های عملی آن‌ها و تولید حداقلی پسماند است. روش‌های جمع آوری پسماند بین کشورها و مناطق مختلف بسیار متفاوت است. خدمات جمع آوری پسماندهای داخلی اغلب توسط مقامات دولتی محلی یا صنعت خصوصی ارائه می‌شود. برخی

مناطق به ویژه مناطق کم‌تر توسعه یافته به طور رسمی سیستم جمع‌آوری پسماند ندارند.

جدول ۱- فرآیندهای منتخب تصفیه پسماند

جریان پسماند		روش‌های دفع پسماند
پسماند قابل احتراق		سوزاندن در برشته کن
		سوزاندن بستر سیال
		پیرولیز - سوزاندن
		پیرولیز- گازسازی
		تفکیک- کمپوست- سوزاندن
		تفکیک (مرطوب و خشک)- هضم- سوزاندن
		جداسازی- هضم- پیرولیز
		جداسازی- هضم- گازسازی
		تفکیک- هضم- سوزاندن در کارخانه سیمان
		تفکییک انتخابی- سوزاندن
پسماند غیر قابل احتراق		خاک چال
جزئی قابل اشتعال	چوب	پیرولیز و سوزاندن مشترک در نیروگاه زغال سنگ
		پیرولیز و سوزاندن مشترک با زغال سنگ پودر شده در نیروگاه
		سوزاندن در کوره بستر سیال- گاز سازی
	پلاستیک	گاز سازی
		بازیافت شیمیایی و تبدیل به مونومر اولیه
	پسماند آلی	کمپوست سازی
		هضم بی هوازی

- روش‌های مدیریت پسماند

طبقه‌بندی و تخصیص مواد پسمانده به طبقه‌ها در کلاس‌ها نمی‌تواند به راحتی با پارامترهای متداول انجام شود. برخی از تکنیک‌های جدید پیشنهاد شده و توسط محققین توسعه یافته است. امروزه همه پسماندها در یک طبقه بندی کلاسیک یکسان که مستلزم روش حذف یکسان می‌باشد، طبقه‌بندی نمی‌شوند. به ویژه در صنایعی که دارای انواع پسماند بسیار متنوع هستند، راه اندازی و استفاده از یک سیستم مدیریتی متفاوت برای انواع مختلف پسماندها بسیار دشوار و غیر عملی است. بنابراین ضرورت وجود یک سیستم مدیریتی که بتواند انواع زباله‌ها را حذف کند، ظاهر شده است. جدول ۱ مجموعه‌ای از فرآیندهای امیدوار کننده تصفیه پسماند را ارائه کرده است.

- روش‌های دفع

یک رویکرد یکپارچه در تلاش برای مدیریت چنین مقادیر وسیعی از مخلوط آلوده و گوناگون از پسماند در یک روش کارآمد از نظر انرژی و بی خطر از نظر محیط زیست مورد نیاز است. این امر در کل مستلزم بررسی مراحل بحرانی مختلف در حیات پسماند از جمله مواد اولیه برای تولید آن‌ها، فرآیندهای تولید، طراحی و ساخت محصولات نهایی، استفاده مجدد احتمالی از این اقلام و دفع مناسب پسماند است. چنین مفهوم مدیریت پسماند یکپارچه شامل موارد زیر است: ۱-کاهش در مبداء۲- استفاده مجدد ۳- بازیافت ۴- دفن زباله و تبدیل گاز به انرژی ۵-تبدیل پسماند به انرژی.

- خاک چال

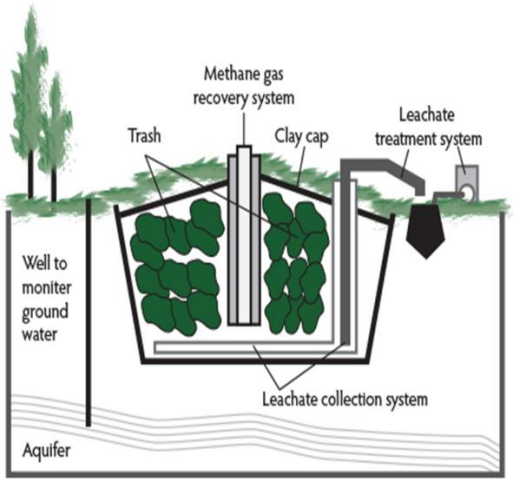
خاک چال دفن نه یک شرایط زیست محیطی طبیعی است و نه قرار است باشد در عوض، یک خاک چال بیشتر شبیه یک محفظه ذخیره سازی در بسته است. یک خاک چال به منظور جلوگیری از تخریب برای محافظت از محیط زیست در برابر آلودگی‌های مضر طراحی می‌شود. به دلیل محرومیت از هوا و آب، حتی پسماندهای آلی مانند کاغذ و بریده‌های چمن در یک خاک چال بسیار کند تخریب می‌شوند. خاک چال-های پسماند جامد شهری مکان‌هایی هستند که مخلوط‌های

ناهمگن از پسماندهای شهری و صنعتی در آن دفع می‌شوند. ویژگی‌های مکانیکی پسماند جامد شهری مانند استحکام و تراکم پذیری بستگی به ترکیب زباله، خواص مکانیکی اجزای مواد رسوبی، میزان آب و تجزیه دارد .

دفع پسماند در یک خاک چال مستلزم دفن پسماند در آن است و این یک رویه رایج در اکثر کشورها است. خاک چال‌ها اغلب در معادن بلااستفاده، حفره‌های معدنی یا گودال‌ها ایجاد می‌شود. یک خاک چال با طراحی مناسب و مدیریت خوب می‌تواند روشی بهداشتی و نسبتا ارزان دفع مواد زائد باشد. خاک چال‌های قدیمی‌تر، با طراحی یا مدیریت ضعیف شده می‌توانند آثار زیست محیطی نامطلوبی از جمله جذب حشرات و جانورارن موذی داشته باشند و تولید شیرابه کنند. شیرابه‌های خاک چال‌ها حاوی ترکیبات زیادی هستند که برخی از آن‌ها در صورت انتشار می‌تواند تهدیدی برای سلامتی و طبیعت باشند. برای این منظور، گروهی از پژوهشگران [۵] نمونه‌های غربال شده از ۱۲ سایت دفن پسماند شهری را در سوئد برای ۴۰۰ پارامتر و ترکیباتی که انتظار می‌رفت در شیرابه خاک چال وجود داشته باشند، مورد مطالعه قرار داده‌اند. بیش از ۹۰ ترکیب آلی و ترکیبات آلی فلزی و ۵۰ عنصر معدنی شناسایی شدند که به نظر می‌رسید برخی از آن‌ها قبلا شناسایی نشده بودند. ترکیبات شناسایی شده شامل ترکیبات آلیفاتیک هالوژنه، بنزن و بنزن‌های آلکیله، فنل و فنول‌های آلکیله، اتوکسیلات‌ها، ترکیبات آروماتیک چند حلقه‌ای، استرهای فتالیک، بنزن‌های کلرینه، فنل‌های کلرینه، بی فنیل‌های پلی کلرینه، دی‌اکسین‌های کلرینه و فوران‌های کلرینه، تاخیر اندازهای شعله بروماته، آفت کش‌ها، ترکیبات آلی قلع، متیل جیوه و فلزات سنگین بودند. مطابق این پژوهش [۵] وجود این تعداد زیاد ترکیبات خطرناک در شیرابه‌های خاک چال‌ها باید تأثیر مهمی در ارزیابی‌های ریسک خاک چال در آینده و توسعه روش‌های تصفیه شیرابه داشته باشد.

خاک چال‌های امروزی بسیار متفاوت از محل‌های روباز زباله ریزی گذشته است. اولاً خاک چال‌های جدید در محلی قرار گرفته‌اند که رسوبات خاک رسی و دیگر ویژگی‌های زمین آنجا به عنوان سد و حائل‌های طبیعی بین خاک چال‌ها و محیط اطراف عمل می‌کنند. دوما پایین و کناره‌های خاک چال‌های مدرن با لایه‌هایی از خاک رس یا پلاستیک پوشانده شده تا از نفوذ پسماند مایعی و پسابی به نام شیرابه به خاک جلوگیری شود. پسماندهای رسوب کرده معمولاً برای افزایش تراکم و پایداری فشرده می‌شوند و برای جلوگیری از جذب حشرات موذی پوشانده می‌شوند (شکل ۱).

یکی دیگر از رایج‌ترین محصولات خاک چال‌ها گازها است. گاز خاک چال یک منبع انرژی تجدیدپذیر هستند. متان و دی اکسید کربن گازهای عمده‌ای هستند که از تجزیه بی‌هوازی ضایعات جامد قابل تجزیه خانگی تشکیل می‌شوند. گازهای خاک چال‌ها عموما حاوی ۶۰-۴۵ درصد متان و ۶۰-۴۰ درصد دی اکسید کربن هستند. این گازها می‌توانند مشکلات بو ایجاد کنند، پوشش گیاهی را از بین ببرند و یک گاز گلخانه‌ای هستند. اگر برخی از این ترکیبات قبل از استفاده از گاز خارج نشوند، ممکن است باعث خوردگی موتورها و یا سایر آسیب‌ها به آن‌ها شوند.



شکل ۱: خاک چال مدرن [۶]

خاک چال‌ها منبع مهم متان اتمسفری به دلیل فعالیت متانوژنیک تحت شرایط بی هوازی است. بازیابی متان حاصل از خاک چال و تصفیه بهینه پساب می‌تواند به طور مستقیم انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد. پژوهش و مطالعه در خصوص بهبود کیفیت گاز خاک چال نسبتا کم است، در

حالی که ارتقای کیفیت بیو گازهای حاصل از هضم کننده-های فاضلاب و پسماندهای زیستی در برخی کشورها به سرعت در حال افزایش است. به عنوان مثال در ریکیاویک (ایسلند) بهبود گاز خاک چال در سال ۲۰۰۰ با فناوری اسکرابر مرطوب و شست و شو آغاز شد [۷]. در سال ۲۰۰۳، شرکت EKPC بازیابی گاز متان را از سه خاک چال آغاز کرد و این نیروگاه از گاز خاک چال ۸/۸ مگاوات برق تولید می‌کند که برای تامین برق ۸۰۰۰-۷۵۰۰ خانه کافی است. بنابر نتایج برخی تحقیقات [۸] دفن پسماند آخرین روش انتخابی در سلسله مراتب مدیریت پسماند است.

با این حال حتی با وجود اینکه خاک چال بهداشتی، متداول-ترین روش مدیریت پسماند جامد است، هیچگونه بازیابی انرژی از گاز خاک چال وجود ندارد. لازم به ذکر است با توجه به کمبود فضای مناسب برای خاک چال و افزایش روز افزون هزینه آن، بکارگیری پسماند یک روش جذاب دفع پسماند شده است.

- سوخت‌های گازی تجدیدپذیر زیستی

سوخت‌های زیستی مایع (بیواتانول و بیودیزل) و گازی (بیوگاز و بیوهیدروژن) اخیرا به دلیل مزایای زیست محیطی-شان جذاب‌تر شده‌اند. در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی، تأثیرات اقتصادی و زیست محیطی سوخت‌های زیستی، به ویژه بیواتانول و بیودیزل را مورد بررسی و مطالعه قرار داده‌اند [۹-۱۵]. سوخت‌های زیستی مایع مهم هستند زیرا جایگزین سوخت‌های نفتی می‌شوند و مزایای زیادی برای محیط زیست، اقتصاد و مصرف‌کنندگان در استفاده از سوخت‌های زیستی وجود دارد. هزینه‌های تولید سوخت‌های زیستی می-تواند بر اساس مواد اولیه، فرآیند تبدیل، مقیاس تولید و منطقه متفاوت باشد. بر مبنای انرژی، تولید اتانول در حال حاضر گرانتر از بنزین در تمام مناطق در نظر گرفته شده است [۱۶-۲۳]. بیوگاز می‌تواند از منابع مختلفی تهیه شود. بیوگاز از تجزیه مواد آلی بدست می‌آید. محتویات پسماند جامد خانگی در جدول ۲ آمده است. بیوگاز از متان، دی اکسید کربن، هوا، آمونیاک، مونوکسید کربن، هیدروژن، گازهای سولفور، نیتروژن و اکسیژن تشکیل شده است. در میان اجزای آن، متان مهم‌ترین جزء، به‌ویژه برای فرآیند احتراق در موتورهای خودرو است [۲۴]. اجزای معمول یک گاز خاک چال در جدول ۳ آورده شده است. متان و دی اکسید کربن حدود ۹۰ درصد حجم گاز تولید شده در یک خاک چال را تشکیل می‌دهند. ترکیبات اصلی گاز خاک چال متان و دی اکسید کربن هستند که هر دو به عنوان گاز گلخانه‌ای، از عوامل اصلی گرمایش زمین هستند. به دلیل ماهیت بسیار متفاوت محتویات سایت‌های خاک چال، اجزای گازهای خاک چال به طور گسترده‌ای متفاوت است.

جدول ۲- اجزاء پسماند جامد خانگی

Component	Lower Limit	Upper Limit
Paper waste	33.2	50.7
Food waste	18.3	21.2
Plastic matter	7.8	11.2
Metal	7.3	10.5
Glass	8.6	10.2
Textile	2.0	2.8
Wood	1.8	2.9
Leather and rubber	0.6	1.0
Miscellaneous	1.2	1.8
Source: Demirbas, 2006b.		

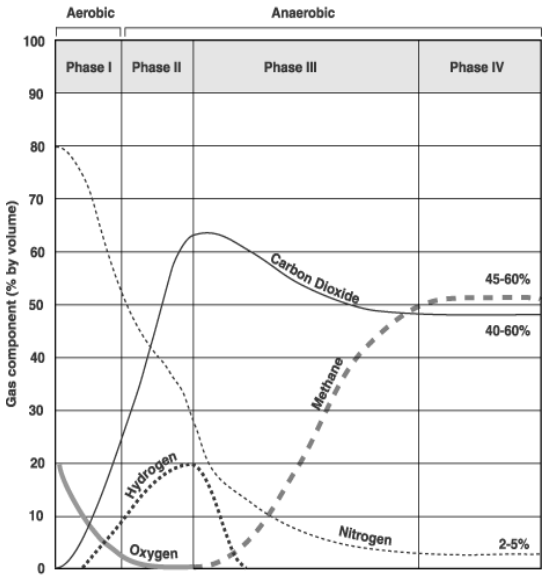
جدول ۳- اجزای معمول یک گاز خاک چال

Component	Chemical formula	Content
Methane	CH_4	40-60 (%by vol.)
Carbon dioxide	CO_2	20-40 (%by vol.)
Nitrogen	N_2	2-20 (%by vol.)
Oxygen	O_2	<1 (%by vol.)
Heavier hydrocarbons	C_nH_{2n-2}	<1 (%by vol.)
Hydrogen sulfide	H_2S	40-100 ppm
Complex organics	-	1000-2000 ppm
Source: Demirbas, 2006b.		

تصفیه شیرابه‌های خاک چال به ویژه در مناطق شهری در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است [۲۵]. تولید پسماندهای جامد شهری به موازات سرعت سریع صنعتی

شدن افزایش یافته است. تقریبا ۱۶ درصد از کل پسماندهای جامد شهری سوزانده می‌شوند و مابقی در خاک چال دفع می‌شود. مدیریت موثر این ضایعات به یک نگرانی عمده اجتماعی و زیست محیطی تبدیل شده است [۲۶]. دفع پسماندهای جامد شهری در خاک چال‌های بهداشتی معمولا با آلودگی خاک، آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی هنگامی که خاک چال به درستی ساخته نشده است، مرتبط است. دبی جریان و ترکیب شیرابه از محلی به محل دیگر، به صورت فصلی و بسته به سن خاک چال تغییر می‌کند. شیرابه تازه به طور معمول حاوی مقادیر زیادی اسیدهای چرب فرار است [۲۷]. آمار مدیریت پسماندهای جامد شهری و اقدامات مدیریتی شامل بازیابی و بازیافت ارزیابی شده‌اند [۲۸]. در یک کار پژوهشی [۲۹] مواد آلی پسماند جامد شهری به منظور مطالعه رفتار آن در طول هضم بی هوازی به طور شیمیایی و بیولوژیکی شناسایی و مشخص شدند و pH آن، تولید بیوگاز، قلیائیت و تولید اسیدهای چرب فرار تعیین شد. هضم بی هوازی جزء آلی مربوط به مواد غذایی پسماند جامد شهری، به تنهایی یا به طور همزمان با لجن فاضلاب اولیه، بیوگاز با کیفیت بالا، مناسب برای انرژی تجدیدپذیر تولید می‌کند [۳۰]. فرآیند پسماند جامد شهری (از جمله خاک چال، سوزاندن، کمپوست سازی) دارای مزایا و محدودیت-های متعددی است [۳۱]. انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌تواند با انتشار کنترل نشده متان از دفع نادرست پسماندهای آلی در یک خاک چال بزرگ کاهش یابد [۳۲].

تجزیه در خاک چال‌ها در چند مرحله اتفاق می‌افتد که هر کدام با افزایش یا کاهش جمعیت باکتری‌های خاص و تشکیل و مصرف محصولات معین متابولیکی مشخص می-شود. اولین مرحله تجزیه، که معمولاً کم‌تر از یک هفته طول می‌کشد، با حذف اکسیژن از پسماند توسط باکتری‌های هوازی مشخص می‌شود. در مرحله دوم که مرحله اسید بی-هوازی نامیده می‌شود، جمعیتی متنوع از باکتری‌های هیدرولیتیک و تخمیر کننده پلیمرها را از جمله سلولز، همی-سلولز، پروتئین‌ها و لیپیدها را به قندهای محلول، اسیدهای آمینه، کربوکسیلیک اسیدهایی با زنجیره بلند و گلیسرول هیدرولیز می‌کنند [۳۳]. شکل ۲ رفتار تولید بیوگاز را با گذشت زمان از نظر اجزای بیوگاز نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که شرایط بهره‌برداری اقتصادی متان حدودا پس از یک سال از آغاز عملیات خاک چال فراهم می‌شود. اجزای اصلی گاز خاک چال محصولات جانبی تجزیه مواد آلی از طریق باکتری‌های موجود در طبیعت در شرایط بی-هوازی هستند.



شکل ۲: تولید اجزای بیوگاز با گذشت زمان در خاک چال [۳۴]
توضیح: محور افقی زمان و وابسته به شرایط خاک چال است.

روش‌های توسعه یافته برای تصفیه شیرابه‌های خاک چال را می‌توان به صورت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی طبقه بندی کرد که معمولا به منظور بهبود کارایی تصفیه به صورت ترکیبی استفاده می‌شود. روش‌های تصفیه بیولوژیکی مورد استفاده برای تصفیه شیرابه را می‌توان به عنوان فرآیندهای هوازی، بی هوازی و آنوکسیک طبقه‌بندی کرد که به طور گسترده برای حذف ترکیبات زیست تخریب پذیر استفاده می‌شود [۳۵]. تصفیه بیولوژیکی شیرابه‌های خاک چال معمولا منجر به حذف مواد مغذی کم به دلیل اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) بالا، محتوای بالای آمونیوم- نیتروژن و وجود ترکیبات سمی مانند فلزات سنگین می‌شود [۲۵]. شیرابه خاک چال بدست آمده از محل دفن پسماندهای جامد

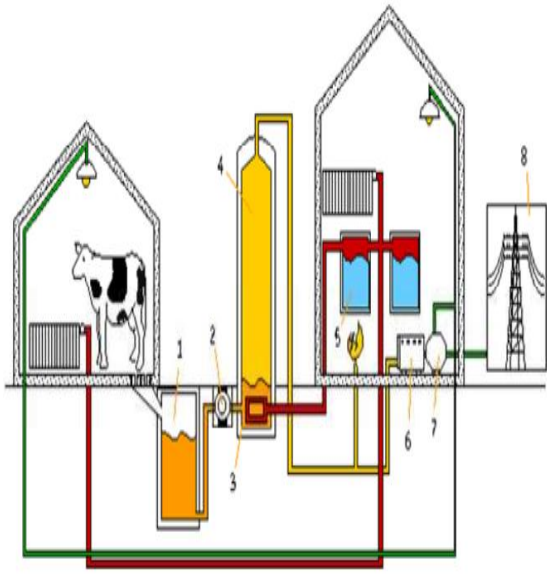
حاوی COD بالا و یون‌های آمونیوم است که منجر به COD پایین و حذف کم آمونیوم از طریق تصفیه بیولوژیکی مستقیم می‌شود [۳۵]. چندین سیستم تصفیه هوازی و بی هوازی برای شیرابه خاک چال مورد مطالعه قرار گرفته است[۳۶]. شیرابه‌ها دارای سوبستراهای غیرقابل تجزیه زیستی هستند که تنها با تصفیه بیولوژیکی حذف نشده و افزایش ورودی شیرابه ممکن است باعث کاهش حذف سوبسترا شود [۳۷]. شیرابه خاک چال خام قبل از تصفیه بیولوژیکی تحت فرآیندهای انعقاد – لخته سازی و دفع آمونیاک پیش تصفیه می‌شود. قابل ذکر است فرآیند انعقاد و لخته سازی و دفع آمونیاک به منظور بهبود قابلیت تصفیه بیولوژیکی به عنوان پیش تصفیه استفاده می‌شود [۳۸]. زئولیت طبیعی و بنتونیت می‌تواند به عنوان لاینرهای نوین در خاک چال استفاده شود [۳۹].

– فناوری بیوگاز

هضم بی‌هوازی تبدیل مستقیم مواد آلی به یک گاز است که بیوگاز نامیده می‌شود. بیوگاز مخلوطی از گازها عمدتا متان و دی اکسید کربن با مقادیر کمی گازهای دیگر مانند سولفید هیدروژن است. متان جزء اصلی بیوگاز است که در بسیاری از خانه‌ها برای پخت و پز و گرمایش استفاده می‌شود. بیوگاز دارای ترکیب شیمیایی نزدیک به گاز طبیعی است. هضم کننده بیوگاز یا دستگاه بیوگاز وسیله‌ای است که یک شرایط بی‌هوازی فراهم می‌کند که در انواع واکنش‌های شیمیایی و میکروبیولوژیکی منجر به تجزیه دوغاب‌های ورودی و تولید بیوگاز – عمدتا متان می‌شود [۹].

بیوگاز می‌تواند پس از پاکسازی مناسب به عنوان سوخت برای موتورها، توربین‌های گازی، پیل‌های سوختی، دیگ-های بخار، هیترهای صنعتی و سایر فرآیندها یا برای تولید مواد شیمیایی استفاده شود. قبل از خاک چال، می‌تواند تصفیه یا تثبیت مواد زیست تخریب‌پذیر از طریق ترکیب هضم بی هوازی و به دنبال آن کمپوست‌سازی هوازی انجام شود.

انواع باکتری‌های بی‌هوازی که گاز طبیعی تولید می‌کردند، امروزه متان نیز تولید می‌کنند. باکتری‌های بی هوازی برخی از قدیمی‌ترین اشکال زندگی بر روی زمین هستند. آن‌ها قبل از اینکه مقادیر زیادی اکسیژن از طریق فتوسنتز گیاهان سبز در اتمسفر آزاد شود تکامل یافته‌اند. باکتری‌های بی‌هوازی در غیاب اکسیژن مواد آلی را تجزیه یا هضم می‌کنند و بیوگاز را به عنوان یک محصول زائد تولید می‌کنند. اولین کارخانه هضم متان در شهرکی در بمبئی هند در سال ۱۸۵۹ ساخته شد. اکثر کارخانه‌های بیوگاز از فضولات حیوانی یا فاضلاب استفاده می‌کنند. شماتیک یک کارخانه بیوگاز در شکل ۳ نشان داده شده است [۹]. هضم بی‌هوازی یک فناوری تجاری شده است و به طور گسترده‌ای برای تصفیه پسماندهای آلی با رطوبت بالا از جمله رطوبت ۸۰ تا ۹۰ درصد استفاده می‌شود. بیوگاز می‌تواند مستقیما در موتورهای اشتعال جرقه‌ای و توربین‌های گاز استفاده شود. به‌عنوان سوخت در موتورهای گاز اشتعال جرقه برای تولید برق، بازده کلی از زیست توده تا برق حدود ۱۰ تا ۱۶ درصد است [۴۰].



شکل ۳: شماتیک یک کارخانه تولید بیوگاز: ۱- ذخیره کمپوست ۲- پمپ ۳- گرمکن داخلی ۴- هضم کننده ۵- احتراق، ۶ الی ۸- مولد برق [۹]

– فرآیندهای تبدیل هوازی

تبدیل هوازی شامل اکثر کمپوست سازی‌های تجاری و فرآیندهای تصفیه فاضلاب لجن فعال می‌باشد. تبدیل هوازی

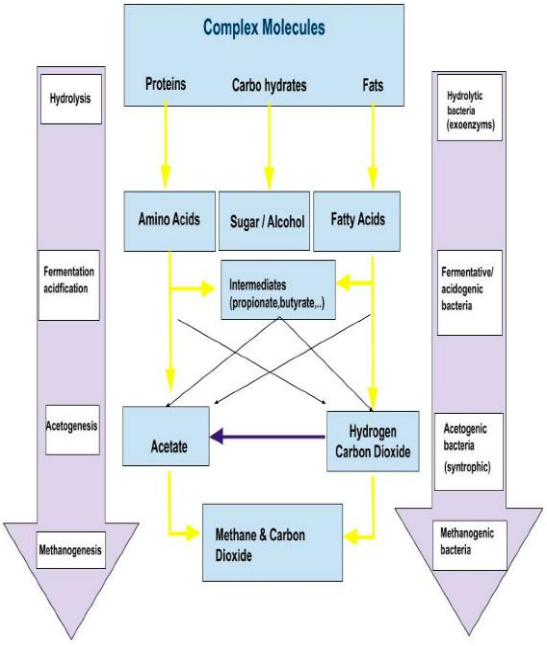
از هوا یا اکسیژن برای حمایت از متابولیسم میکروارگانیسم-های هوازی تجزیه کننده سوبسترا استفاده می‌کند. ملاحظات تغذیه‌ای نیز برای عملکرد مناسب فرایندهای هوازی مهم است. فرایندهای هوازی در مقایسه با فرایندهای بی‌هوازی سرعت واکنش بالاتری دارند و و توده سلولی بیش‌تری تولید می‌کنند، اما به طور کلی گازهای مفید تولید نمی‌کنند. تجزیه هوازی می‌تواند از دمای پایین نزدیک یخ زدگی تا ۳۴۴ درجه کلوین رخ دهد. تنفس به آن دسته از فرآیندهای بیوشیمیایی اطلاق می‌شود که در آن‌ها ارگانیسم‌ها ماده آلی را اکسید کرده و انرژی شیمیایی ذخیره شده مورد نیاز برای رشد و تکثیر را استخراج می‌کنند. الگوهای تنفس ممکن است بر مبنای پذیرنده نهایی الکترون به دو گروه عمده تقسیم شود. اگرچه مسیرهای جایگزینی برای اکسیداسیون سوبستراهای مختلف ارگانیک وجود دارد، اما جهت سهولت می‌توان فقط تخریب گلوکز را در نظر گرفت. تجزیه گلوکز از طریق مسیر گلیکولیز امبدن ـ میرهوف ـ پارناس انجام می-شود که پیروات، آدنوزین تری فسفات و نیکوتین آمید آدنین دینوکلئوتید کاهش یافته تولید می‌کند. تحت شرایط هوازی پیروات از طریق تری کربوکسیلیک اسید یا چرخه کربس و سیستم انتقال الکترون به دی اکسید کربن و آب اکسیده می-شود. بازده خالص برای گلیکولیز به دنبال اکسیداسیون کامل ۳۸ مول آدنوزین تری فسفات در هر مول گلوکز کامل می-شود. اگرچه شواهدی وجود دارد که بازده برای باکتری‌ها ۱۶ مول آدنوزین تری فسفات بر مول گلوکز است. بنابراین۶۷۳ کیلو کالری بر مول گلوکز آزاد می‌شود که بیش‌تر آن به عنوان آدنوزین تری فسفات ذخیره می‌شود.

- فرآیندهای تبدیل بی هوازی

هضم بی‌هوازی یک فرآیند تخمیر باکتریایی است که گاهی اوقات در تصفیه آب فاضلاب برای تخریب و تثبیت لجن استفاده می‌کند. این همچنین اصلی‌ترین فرآیندی است که در تجزیه ضایعات مواد غذایی و سایر زیست توده در خاک چال رخ می‌دهد. هضم بی‌هوازی بدون اکسیژن آزاد عمل می‌کند و منجر به گاز سوختی به نام بیوگاز می‌شود که بیش-تر حاوی متان و دی اکسید کربن است اما اغلب مواد دیگری مانند رطوبت، سولفید هیدروژن و ذرات معلق را که عموما قبل از استفاده از بیوگاز حذف می‌شوند، حمل می‌کند. هضم بی‌هوازی یک فرآیند بیوشیمیایی برای تبدیل پسماند جامد بیوژنیک به یک محصول پایدار و شبه گیاخاک است. تبدیل هوازی از هوا یا اکسیژن برای حمایت از متابولیسم میکروارگانیسم‌های هوازی تجزیه کننده سوبسترا استفاده می‌کند. تبدیل هوازی شامل فرایندهای کمپوست سازی و تصفیه فاضلاب لجن فعال است. کمپوست سازی مواد مفید از جمله مالچ، مواد افزودنی و اصلاح و ترمیم کننده خاک و کود تولید می‌کند. هضم اصطلاحی است که معمولا در سیستم‌های کشت باکتریایی مخلوط بی هوازی استفاده می-شود که در بسیاری از تاسیسات تصفیه فاضلاب برای تخریب و تثبیت لجن استفاده می‌شود. هضم بی هوازی در سیستم‌های مدیریت کودهای دامی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و فرآیند اصلی در خاک چال‌ها است که باعث ایجاد گاز می-شود. هضم بی هوازی بدون اکسیژن آزاد عمل می‌کند و منجر به تولید گاز سوختی به نام بیوگاز می‌شود که بیش‌ترین حجم آنرا متان و کربن دی اکسید تشکیل می‌دهد. اما دی اکسید کربن اغلب حامل ناخالصی‌هایی مانند رطوبت، سولفید هیدروژن و ذرات معلق است. مشخص شده است که هضم بی‌هوازی در طیف وسیعی از دمای ۱۰ تا ۷۱ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد. هضم بی‌هوازی مستلزم توجه به نیازهای تغذیه‌ای و حفظ دمای مناسب برای باکتری‌های اختیاری و متانوژنیک (باکتری‌های مولد گاز متان) است که سوبستراهای پسماند را تخریب می‌کند. نسبت کربن/نیتروژن مواد اولیه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همانطور که گفته شد بیوگاز می‌تواند پس از تصفیه گاز مناسب به عنوان سوخت موتورها، توربین‌های گازی، پیل‌های سوختی، دیگ‌های بخار، بخاری‌های صنعتی، سایر فرآیندها و تولید مواد شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد. هضم بی هوازی نیز به عنوان راهی برای تبدیل مستقیم به هیدروژن مورد بررسی

قرار می‌گیرد. سلولز و همی‌سلولز را می‌توان به قندهای ساده و اسیدهای آمینه هیدرولیز کرد که توسط باکتری‌های تخمیر کننده مصرف و تبدیل می‌شوند. لیگنین نسبت به هیدرولیز مقاوم است و به طور کلی بدون هضم از فرآیند خارج می‌شود. درواقع لیگنین ممکن است سر سخت‌ترین ماده آلی تولید شده به طور طبیعی باشد. پلیمرهای لیگنین ساختارهای کربوهیدرات کراسلینک شده با وزن مولکولی در حدود ۱۰ هزار واحد جرم اتمی هستند. به این ترتیب لیگنین به برخی سلولز متصل شده یا آن را کپسول می‌کند و باعث می‌شود سلولز برای هیدرولیز و هضم در دسترس نباشد. تجزیه و تخریب لیگنین (لیگنین زدایی از لینگوسلولز) در طبیعت عمدتا ناشی از قارچ‌های رشته‌ای هوازی است که برای دسترسی به سلولز و همی سلولز، لیگنین را تجزیه و تخریب می‌کنند. برای سیستم‌های بی‌هوازی، گاز متان یک محصول مهم است. بسته به نوع و ویژگی اجزای بیولوژیکی، می‌توان راندمان‌های متفاوتی را برای پسماند زیست تخریب پذیر مختلف بدست آورد. به عنوان مثال برای سلولز خالص، محصول بیوگاز ۵۰ درصد متان و ۵۰ درصد دی اکسید کربن است. پسماندهای مخلوط، بیوگازی با غلظت متان ۴۰-۶۰ درصد (حجمی) تولید می‌کند. چربی‌ها و روغن‌ها می‌توانند بیوگاز با ۷۰ درصد متان تولید کنند.

هضم بی‌هوازی در طیف وسیعی از دمای نزدیک به ۲۸۳ درجه کلوین یعنی دمای سایکروفیلیک تا دمای بالای ۳۴۴ درجه کلوین یعنی دمای ترموفیلیک انجام می‌شود. دمای واکنش تأثیر بسیار زیادی بر فعالیت بی هوازی دارد و دو محدوده دمایی مطلوب و بهینه هستند که در آن‌ها فعالیت میکروبی و تولید بیوگاز از بالاترین سرعت برخوردار هست که اصطلاحا محدوده مزوفیلیک ترموفیلیک نام دارند. رژیم مزوفیلک با دمای حدود ۳۰۸ درجه کلوین و رژیم ترموفیلیک با دمای حدود ۳۲۸ درجه کلوین ارتباط دارند. عملیات در دمای ترموفیلیک می‌تواند زمان نگهداری کوتاه تر کند و نرخ تولید بیوگاز را افزایش دهد، اما حفظ درجه حرارت بالا به طور کلی به منبع گرمایی خارجی نیاز دارد، زیرا باکتری‌های هوازی حرارت کافی تولید نمی‌کنند. کمپوست سازی هوازی می‌تواند دمای نسبتا بالایی (تا ۳۴۴ درجه کلوین) را بدون گرمادهی به دست آورد زیرا سرعت واکنش‌ها برای سیستم‌های هوازی بسیار بیش‌تر از سیستم‌های بی هوازی است. اگر گرما از مرکز داغ توده کمپوست خارج نشود، واکنش‌های ترموشیمیایی می‌تواند شروع شود که اگر اکسیژن کافی به این مناطق گرم برسد می‌تواند منجر به احتراق خود به خود شود. در عملیات کمپوست مدیریت شده از هوادهی برای تأمین اکسیژن باکتری‌ها و همچنین انتقال گرما به خارج از توده استفاده می‌شود. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، برای هضم بی‌هوازی پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها باید مراحل مختلفی طی گردد. به طور کلی چهار فرآیند اصلی که در طول روند تبدیل مواد آلی به بیوگازها رخ می‌دهد را می‌توان به این صورت طبقه‌بندی نمود: ۱) هیدرولیز، ۲)اسیدوژنز، ۳)استوژنز و ۴)متانوژنز.



شکل ۴: شماتیک فرایند هضم بی‌هوازی [۴۱]

ساختار مولکولی بخش زیست تخریب پذیر پسماند که حاوی مولکول‌های پیچیده‌ای مانند پروتئین‌ها و کربوهیدرات هستند ابتدا از طریق فرآیند هیدرولیز تجزیه می‌شود. چربی‌ها به اسیدهای چرب فرار تبدیل می‌شوند. کربوهیدرات‌ها به قند و الکل و پروتئین‌ها به آمینو اسیدها هیدرولیز می‌شوند. در استوژنز، باکتری‌های اسید ساز از این محصولات جانبی برای تولید محصولات واسطه‌ای مانند پروپیونات و بوتیرات استفاده می‌کنند. فعالیت بیش‌تر میکروبی منجر به تخریب و تجزیه این محصولات واسطه‌ای به هیدروژن و استات می‌شود. متانوژنیک باکتری‌ها هیدروژن و استات را برای تولید متان و دی اکسید کربن مصرف می‌کنند.

در شرایط بی‌هوازی، مسیرهای مختلفی برای متابولیسم پیروات وجود دارد که برای اکسید مجدد حامل‌های هیدروژنی کاهش یافته در طول گلیکولیز به کار می‌رود. پذیرنده نهایی به عنوان یک محصول زائد در محیط کشت تجمع می‌یابد. محصولات نهایی مسیرها عبارتند از: ۱- دی اکسید کربن، آدنوزین تری فسفات، استات.۲- دی اکسید کربن و اتانول ۳- هیدروژن و دی اکسید کربن ۴- دی اکسید کربن و ۳،۲-بوتیلن گلیکول ۵- دی اکسید کربن، هیدروژن، استون، آدنوزین تری فسفات و بوتانول ۶- سوکسینات و ۷- لاکتات. مسیری که رخ می‌دهد بستگی به ارگانیسم‌های کشت شده و کشت دارد.

- فرآوری بیوگاز

یک سیستم هضم متان که معمولا هضم بی‌هوازی نامیده می‌شود وسیله‌ای برای تجزیه کود یا هضم مواد آلی موجود در کود به مواد آلی ساده و محصولات بیوگازی است. سه نوع هضم کننده پیوسته وجود دارد: سیستم‌های مخزن عمودی، مخازن افقی یا سیستم‌های جریان پلاگ و سیستم تانک چندگانه. طراحی، بهره‌برداری و نگهداری مناسب از دستگاه‌های هضم مداوم، یک منبع پایدار و قابل پیش‌بینی از بیوگازهای قابل مصرف تولید می‌کند. بیوگاز، شکلی پاک و تجدیدپذیر از انرژی است که می‌تواند به خوبی جایگزین منابع انرژی سنتی (سوخت‌های فسیلی، نفت و غیره) که دارای مشکلات اجتماعی و زیست محیطی متعددی و با سرعت در حال کاهش است، بشود. بیوگاز نوعی بیوانرژی مدرنی است که از هضم بی‌هوازی مواد آلی از جمله کودهای دامی، لجن فاضلاب، پسماندهای جامد شهری، زباله‌های تخریب پذیر زیستی و دوغاب کشاورزی تولید می‌شود.

هضم بی هوازی ترکیبات آلی یک فرایند پیچیده‌ای است که شامل انواع مختلف میکروارگانیسم‌ها می‌شود. این تجزیه طبیعی مواد آلی، مانند زیست توده، توسط جمعیت باکتری‌ها در غیاب هوا به بیوگاز (مخلوطی از متان و دی اکسید کربن) است. محصولات نهایی هضم بی هوازی بیوگاز و باقی مانده‌های آلی (ماده جامد مرطوب) که معمولا با آبگیری به جامد خشک تبدیل می‌شود. در طول هضم بی‌هوازی معمولا ۴۰-۳۰از مواد جامد ورودی به بیوگاز تبدیل می‌شود. محصولات جانبی از فیبر هضم نشده و مواد مختلف محلول در آب تشکیل شده است. فرآیند هضم بی‌هوازی در چهار مرحله اساسی زیر انجام می‌شود: ۱- هیدرولیز ، ۲-اسیدوژنز ، ۳- استوژنز و ۴- متانوژنز. یک مدل ساده شده از فرآیند هضم بی‌هوازی که مراحل اصلی را نشان می‌دهد در شکل ۴ نشان داده شده است.

- سوزاندن

سوزاندن یک روش دفع است که شامل احتراق پسماند است. سوزاندن و سایر سیستم‌های تصفیه پسماند در دمای بالا گاهی اوقات تحت عنوان تصفیه حرارتی توصیف می‌شود. کوره‌های زباله سوز، ماده پسماند را به گرما، گاز، بخار و خاکستر تبدیل می‌کنند. یک کوره زباله سوز دستگاهی است که برای شرایط خاصی طراحی و ساخته می‌شود. یک زباله سوز معمولی پسماندی را که به عنوان مواد ورودی جمع آوری شده است، فرآیند می‌کند و به هدف خود یعنی تصفیه پسماند می‌رسد و به عنوان مزیت ثانویه، انرژی حرارتی را از فرآیند احتراق بازیابی می‌کند. سوزاندن هم در مقیاس کوچک

توسط افراد و هم در مقیاس بزرگ توسط صنعت انجام می‌شود و برای دفع پسماند جامد، مایع و گاز استفاده می‌شود. این روش به عنوان یک روش عملی برای دفع برخی از مواد زائد خطرناک (مانند زباله‌های بیولوژیکی پزشکی) شناخته شده است. به دلیل مسائلی مانند انتشار آلاینده‌های گازی، سوزاندن یک روش بحث برانگیز دفع پسماند است. سوزاندن پسماندهای جامد تولید خاکستر و انواع آلاینده‌های هوا تولید می‌کنند. یک زباله سوز بدون تجهیزات کنترل آلودگی توانایی انتشار ۲۷ نوع فلزات سنگین، ۲۱۰ نوع شناخته شده دی اکسین‌ها، فوران‌ها و نیز بیش از ۴۰۰ نوع ترکیبات آلی به هوای محیط را دارد [۴۲]. همچنین سوزاندن کربن فسیلی منجر به انتشار گار دی اکسید کربن نیز می‌شود.

سوزاندن معمولا در کشورهایی مانند ژاپن که زمین کم‌تری دارند، رایج‌تر است زیرا این روش مانند خاک چال نیازی به مساحت زیادی ندارد. در کشور ژاپن که فضای باز برای زیرساخت‌های مدیریت پسماند بسیار محدود است، هم بازیافت و هم سوزاندن با سرعت بالایی در حال انجام است و انتظار می‌رود که در آینده نیز ادامه یابد.

- تبدیل ضایعات به انرژی یا بازیافت انرژی از پسماند

اصطلاحات گسترده‌ای برای تأسیساتی است که زباله‌ها را در کوره یا دیگ بخار می‌سوزاند تا گرما، بخار و یا برق تولید کند. احتراق در زباله سوز همیشه کامل نیست و نگرانی‌هایی در مورد انتشار میکرو آلاینده‌ها از زباله سوز وجود داشته است. نگرانی‌های ویژه بر برخی از مواد آلی بسیار مقاوم مانند دیوکسین‌ها که ممکن است پیامدهای جدی زیست محیطی در منطقه اطراف زباله سوز داشته باشد متمرکز شده است. در پژوهشی [۴۳] دی‌بنزو-p-دیوکسین‌های پلی کلرینه و دی بنزوفوران‌های پلی کلرینه از منابع احتراق زباله و افزایش اثرات سمی این مواد شیمیایی باعث شده است که طی ۱۰ یا چند سال گذشته مطالعات گسترده‌ای در مورد چگونگی تشکیل این ترکیبات در سیستم‌های احتراق انجام بشود.

سوزاندن زباله به منظور تبدیل به انرژی برای چندین دهه به طور گسترده در بسیاری از کشورهای اروپایی پیاده‌سازی شده است. به عنوان مثال در سال ۲۰۰۲ نیروگاه‌های تبدیل پسماند به انرژی در اتحادیه اروپا ۴۱ میلیون گیگا ژول انرژی الکتریکی و ۱۱۰ میلیون گیگا ژول انرژی حرارتی تولید کردند. سوزاندن و احتراق مشترک صنعتی به منظور بازیافت انرژی از مزایای قابل توجه انرژی تجدیدپذیر و جبران سوخت‌های فسیلی برخوردار است. در حال حاضر بیش از میلیون‌ها تن پسماند در سال در هزاران کارخانه سوزانده می‌شود [۴۴]. فرآیندهای حرارتی با کنترل پیشرفته انتشار یک فناوری رایج است اما گران‌تر از خاک چال کنترل شده و مجهز به سیستم بازیابی گازهای تولید شده است. با این حال فرآیندهای حرارتی ممکن است با افزایش قیمت انرژی، رشد و توسعه بیش‌تری را تجربه کنند. از آنجا که خاک چال‌ها دهه‌ها است که متان تولید می‌کنند. سوزاندن، کمپوست سازی و سایر راهکارهایی که باعث کاهش پسماندهای دفن شده در زمین می‌شود اقدامات کاهش دهنده مکمل برای بازیابی گازهای پسماند در کوتاه مدت و میان مدت است.

نتیجه‌گیری

آموزش پرسنل کارایی سیستم مدیریت پسماند را بهبود می‌بخشد و خطرات احتمالی سلامتی و زیست محیطی آن را به حداقل می‌رساند. در حالی که رشد تولید و بازاریابی در طی این فرآیند استفاده بیش از حد از منابع طبیعی را اجتناب ناپذیر می‌کند، پسماند تولید شده به دلیل همین روند رو به افزایش مصرف، هم از نظر کمیت و هم از نظر محتویات خطرناک به سطح تهدید آمیز رسیده است. از این رو به موازات افزایش سطح آگاهی نسبت به اهمیت محیط زیست در سراسر جهان، حفاظت از محیط زیست به یکی از اولویت‌های اصلی سیاست‌های کشورها تبدیل شده است و مدیریت پسماند در بین سیاست‌های حفاظت از محیط زیست در همه کشورها نقش مهمی را ایفا کرده است.

ترویج یک سیستم مدیریت پسماند با کیفیت بالا نه تنها کارایی اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی را افزایش می‌دهد و توسعه پایدار را ارتقا می‌دهد، بلکه می‌تواند به حل بحران دوگانه کمبود منابع و وخامت وضعیت محیط زیست

کمک کند [۴۵]. مدیریت ضعیف پسماند ممکن است منجر به مشکلات جدی زیست محیطی مانند بوی نامطبوع و خطر انفجار در مناطق خاک چال و همچنین آلودگی آب‌های زیرزمینی به دلیل نفوذ شیرابه شود [۴۶]. شیوه‌های نامناسب مدیریت پسماند همچنین منجر به از دست رفتن منابع و انرژی می‌شود که می‌توان آن‌ها را بازیافت و از قسمت زیادی از پسماند جامد تولید کرد. دانش پسماند جامد به سختی به دست می‌آید و به راحتی از دست می‌رود [۴۷].

امروزه جهان با سه مشکل اساسی روبرو است: ۱- قیمت بالای سوخت ۲- تغییرات آب و هوایی ۳- آلودگی هوا [۴۸]. انرژی‌های تجدیدپذیر یک راه حل جایگزین امیدوار کننده است زیرا تمیز و بی‌خطر برای محیط زیست است [۴۹]. امروزه قبل از شروع به کار هر پروژه و تولید محصولی و به‌منظور حفظ اصول توسعه پایدار مبتنی بر ملاحظات زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی لازم است طرح و برنامه‌های مدیریت پسماند و بازیافت نیز برای آن تدوین و مشخص شود.

منابع

[1] Dijkema, GPJ., Reuter, MA., Verhoef, EV., 2000, A new paradigm for waste management. Waste Manage,20:633-638.
[2] Wilson, DC., Araba, AO., Chinwah, K., Cheeseman, CR., 2009, Building recycling rates through the informal sector. Waste Management 29, 629–635.
[3] Batayneh, M., Marie, I., Asi, I., 2007, Use of selected waste materials in concrete mixes. Waste Manage; 27:1870–1876.
[4] Siddique, R., Khatib, J., Kaur, I., 2008, Use of recycled plastic in concrete: A review. Waste Manage 2008;28:1835–1852.
[5] Oman, CB., Junestedt, C., 2008, Chemical characterization of landfill leachates – 400 parameters and compounds. Waste Manage;28:1876–1891.
[6] Mohamed Ibrahim, N., Abd El Monem, M., 2016, Towards Sustainable Management of Solid Waste in Egypt. Procedia Environmental Sciences; 34, 336 – 347.
[7] Rasi, S., Lantela, J., Veijanen, A., Rintala, J., 2008, Landfill gas upgrading with countercurrent water wash. Waste Manage; 28:1528–1534.
[8] Magrinho, A., Didelet, F., Semiao, F., 2006, Country report. Municipal solid waste disposal in Portugal. Waste Manage;26: 1477–1489.
[9] Balat, M., 2008, Progress in biogas production processes. Energy Educ Sci Technol; 22:15-36.
[10] Balat, M., 2009, Possible methods for hydrogen production. Energy Sources Part A; 31:39-50.
[11] Balat, M., 2007, Hydrogen in fueled systems and the significance of hydrogen in vehicular transportation. Energy Sources Part B; 2:49–61.
[12] Demirbas, A., 2008, Biohydrogen generation from organic wastes. Energy Sources Part A; 30:475-482.
[13] Demirbas, B., 2009, Biofuels for internal combustion engines. Energy Edu Sci Technol Part A; 22:117-132.
[14] Demirbas, T., 2009, Overview of bioethanol from biorenewable feedstocks: technology, economics, policy and impacts. Energy Edu Sci Technol Part A; 22:163-177.
[15] Balat, M., 2009, New biofuel production technologies. Energy Edu Sci Technol Part A; 22:147-161.
[16] Demirbas, A., 2008, Economic and environmental impacts of the liquid biofuels. Energy Educ Sci Technol; 22:37-58.
[17] Demirbas, A., 2008, Recent progress in biorenewable feedstocks. Energy Educ Sci Technol; 22:69-95.
[18] Demirbas, C., 2009, The global climate challenge: Recent trends in CO2 emissions from fuel combustion. Energy Edu Sci Technol Part A; 22:179-193.
[19] Hacisaligoglu, S., 2009, Ethanol–gasoline and ethanol–diesel fuel blends. Energy Edu Sci Technol Part A; 22:133-146.
[20] Demirbas, MF., 2008, Pyrolysis of vegetable oils and animal fats for the production of renewable fuels. Energy Edu Sci Technol; 22:59-67.
[21] Demirbas, A., 2008, New liquid biofuels from vegetable oils via catalytic pyrolysis. Energy Edu Sci Technol;21:1-59.
[22] Demirbas, A., 2008, Bio-fuels from agricultural residues. Energy Sources Part A;30:101–109.
[23] Demirbas, K., 2009, Demirbas A. Technical assessment of different biorenewable wastes into energy solutions by briquetting. Energy Edu Sci Technol Part A;22:97-106.
[24] Kuwahara, N., Berni, M. D, and Bajay, S. V.,1999, Energy supply from municipal wastes: The potential of biogas-fuelled buses in Brazıl. Renewable Energy, 16:1000-1003.
[25] Uygur, Kargi F., 2004, Biological nutrient removal from pre-treated landfill leachate in a sequencing batch reactor. J Environ Mgmt 71: 9–14.
[26] Erses AS, Onay TT. In situ heavy metal attenuation in landfills under methanogenic conditions. J Hazard Mat B 2003;99:159–175.
[27] Timur H, Ozturk I. Anaerobic sequencing batch reactor treatment of landfill leachate. Wat Res 1999;33:3225-3230.
[28] Metin, E., Erozturk, A., Neyim, C., 2003, Solid waste management practices and review of recovery and recycling operations in Turkey. Waste Manage ;23:425–432.
[29] Plaza, G., Robredo, P., Pacheco, O., 1996, Toledo AS. Anaerobic treatment of municipal solid waste. Water Sci Technol;33:169-175.
[30] Kiely, G., Tayfur, G., Dolan, C., Tanji, K., 1997, Physical and mathematical modelling of anaerobic digestion of organıc wastes. Water Res; 31:534-540.
[31] Braber, K., 1995, Anaerobic digestion of municipal solid waste: A modern waste disposal option on the verge of breakthrough. Biomass Bioenergy;9:365-376.
[32] Al-Dabbas, MAF., 1998, Reduction of methane emissions and utilization of municipal waste for energy in Amman. Renewable Energy;14:427-434.
[33] Micales, JA., Skog, KE., 1997, The Decomposition of forest products in landfills. Int Biodeterior Biodegr 1997;39:145-158.
[34] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Landfill gas primer: An overview for environmental health professionals, Department of Health and Human Services, Division of Health Assessment and Consultation. 2001.
[35] Kargi, F., Pamukoglu, MY., 2004, Adsorbent supplemented biological treatment of pre-treated landfill leachate by fed-batch operation. Biores Technol; 94:285–291.
[36] Ozturk, I., Altinbas, M., Koyuncu, I., Arikan, O., Gomec-Yangin, C., 2003, Advanced physico-chemical treatment experiences on young municipal landfill leachates. Waste Manage;23: 441– 446.
[37] Cecen, F., Erdincler, A., Kilic, E., 2003, Effect of powdered activated carbon addition on sludge dewaterability and substrate removal in landfill leachate treatment. Advances Environ Res ;7:707–713.
[38] Kargi Pamukogl, Y., 2004, Repeated fed-batch biological treatment of pre-treated landfill leachate by powdered activated carbon addition. Enzyme Microbial Technol;34: 422–428.
[39] Kayabali, K., 1997, Engineering aspects of a novel landfill liner material: bentonite-amended natural zeolite. Engin Geology; 46:105-114.

[40] Demirbas, A., 2006, Biogas potential of manure and straw mixtures. Energy Sources Part A ;28:71-78.
[41] Sayara, T., Sánchez, A., 2019, A Review on Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Wastes: Pretreatments and Operational Conditions, Appl. Sci., 9(21), 4655.
[42] Ecke, H., Svensson, M., 2008, Mobility of organic carbon from incineration residues. Waste Management; 28:1301–1309.
[43] Gullett, BK., Dunn, JE., Bae, SK., 1998, Raghunathan K. Effects of combustion parameters on polychlorinated dibenzodioxin and dibenzofuran homologue profiles from municipal waste and coal co-combustion. Waste Management;18: 473- 483.
[44] Themelis, N., 2003, An overview of the global waste-to-energy industry. Waste Manage World ;40-47.
[45] Damghani, AM., Savarypour, G., Zand, E., Deihimfard, R., 2008, Country Report. Municipal solid waste management in Tehran: Current practices, opportunities and challenges. Waste Manage;28:929–934.
[46] Mor, S., Ravindra, K., Visscher, A., Dahiya, RP., Chandra, A., 2006, Municipal solid waste characterization and its assessment for potential methane generation: A case study. Sci Total Environ; 371:1–10.
[47] Milke, M., 2008, The world's great solid waste management libraries. Editorial. Waste Manage ;28: 937–938.
[48] Demirbas, A., 2009, Energy concept and energy education. Energy Educ Sci Technol Part B;1:85-101.
[49] Kurnaz, MA., Calik, M., 2009, A thematic review of 'energy' teaching studies: focuses, needs, methods, general knowledge claims and implications. Energy Educ Sci Technol Part B;1:1-26.