کتاب جامع

بهداشت عمومی

فصل ٤ / گفتار ١٢ / دکتر سید نادعلی علوی بختیاروند

مدیریت پسماندهای خطرناک

فهرست مطالب

اهداف درس ۶۸۱

۱- مقدمه ۶۸۱

۲- تعاریف پسماندهای خطرناک ۶۸۲

۳- منابع تولید پسماندهای خطرناک ۶۸۷

۴- اثرات بهداشتی و زیست محیطی پسماندهای خطرناک ۶۸۷

۵- مدیریت پسماندهای خطرناک ۶۹۱

۵-۱- نگهداری و ذخیره‌سازی مواد ۶۹۱

۵-۲- جلوگیری از تولید آلودگی و کمینه سازی ضایعات ۶۹۳

۵-۳- بازیابی و بازیافت ۶۹۷

۵-۴- حمل و نقل ۶۹۷

۵-۵- تصفیه پسماند خطرناک ۶۹۹

۵-۶- دفع پسماندهای خطرناک ۶۹۹

۶- مدیریت پسماندهای مراکز بهداشتی ـ درمانی ۷۰۲

۶-۱- تعریف و خصوصیات پسماند مراقبت‌های بهداشتی ۷۰۳

۶-۲- منابع تولید پسماند مراقبت‌های بهداشتی ۷۰۳

۶-۳- مخاطرات مرتبط با پسماند مراقبت‌های بهداشتی ۷۰۶

۶-۴- مدیریت پسماند مراکز بهداشتی درمانی ۷۰۶

۶-۴-۱- سلسله مراتب مدیریت پسماند ۷۰۶

۶-۴-۲- تفکیک پسماند مراکز مراقبت بهداشتی ۷۰۶

۶-۴-۳- ذخیره‌سازی پسماند ۷۰۷

۶-۴-۴- جمع آوری پسماند در مرکز مراقبت بهداشتی ۷۰۸

۶-۴-۵- ذخیره‌سازی مرکزی پسماند مراقبت‌های بهداشتی ۷۰۸

۶-۴-۶- روش‌های تصفیه و دفع پسماند مراقبت‌های بهداشتی ۷۰۹

منابع ۷۱۱

مدیریت پسماندهای خطرناک

Hazardous Waste Management

دکتر سید نادعلی علوی بختیاروند

دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

اهداف درس

پس از یادگیری این مبحث، فراگیرنده قادر خواهد بود :

- **پسماندهای خطرناک را تعریف و طبقه بندی نماید**
- **منابع تولید پسماندهای خطرناک را شناسایی نماید**
- **اثرات سوء بهداشتی و زیست محیطی پسماندهای خطرناک را تعیین و تحلیل نماید**
- **مراحل مختلف مدیریت پسماند خطرناک و روش‌های قابل استفاده در هر مرحله را بیان کند**
- **پسماند مراکز بهداشتی ـ درمانی را شناسایی و طبقه بندی نماید**
- **منابع تولید در مراکز بهداشتی ـ درمانی را تعیین کند**
- **اثرات بهداشتی پسماندهای مراکز بهداشتی ـ درمانی را بیان کند**
- **روش‌های ذخیره‌سازی، تفکیک و جمع‌آوری پسماند مراکز بهداشتی ـ درمانی را توضیح دهد**
- **روش‌های تصفیه و دفع پسماندهای مراکز بهداشتی ـ درمانی را توضیح دهد.**

۱- مقدمه

توسعه و ارتقاء سریع فن‌آوری‌ها، محصولات و فعالیت‌های صنعتی باعث افزایش تولید ترکیبات خطرناک شده است. این ترکیبات خطرناک که به اشکال گاز، مایع یا جامد می‌باشد، باید جهت حفاظت از انسان و محیط زیست، به‌طور صحیح مدیریت شوند. در صورتی که ذخیره‌سازی، جابجایی، ذخیره، حمل و نقل و تصفیه و دفع پسماندهای خطرناک به درستی انجام شود، احتمال آلودگی محیط زیست بسیار کمتر شده و نیازی به پالایش و احیاء محل‌های آلوده نمی‌باشد.

۲- تعاریف پسماندهای خطرناک

تعاریف مختلفی از مواد زاید خطرناک در سال‌های اخیر توسط سازمان‌های مختلف مانند سازمان جهانی بهداشت[1] ارائه شده که می‌توان در مجموع آنها را به دو گروه "کلی" و "کاربردی" طبقه بندی نمود. در تعاریف "کلی" ارائه شده توسط محققین یا سازمان ها، تعریف بسیار کلی و عمومی از مواد زاید خطرناک دیده می‌شود. برای مثال تعریف سازمان جهانی بهداشت که یک تعریف کلی می‌باشد به صورت زیر است: مواد زاید خطرناک موادی هستند که،

الف) خطرات کوتاه مدتی همچون سمیت حاد از طریق بلعیدن، تنفس، جذب در پوست، تماس با چشم و پوست، خورندگی، آتش سوزی و یا انفجار ایجاد نمایند.

ب) باعث ایجاد خطرات بلند مدت زیست محیطی شامل سمیت مزمن در اثر تماس‌های مکرر و سرطان زایی شوند و یا دارای پایداری زیاد در مقابل فرآیندهای حذف سمیت مانند تجزیه زیستی بوده و بتوانند ایجاد آلودگی در آب‌های سطحی و زیرزمینی نماید و یا باعث اعتراض مردم از جنبه "زیباشناختی" مانند به وجود آوردن بوهای زننده و نامطبوع گردند.

یکی دیگر از تعاریف مهم مواد زاید خطرناک، تعریفی است که توسط بخش محیط زیست سازمان ملل، ارائه گردیده است. بر اساس این تعریف مواد زاید خطرناک به مواد زایدی (اعم از جامد، لجن، مایع و گاز موجود در مخزن) به جز مواد رادیواکتیو و عفونی، اطلاق می‌شود که دارای فعالیت شیمیایی، سمیت، خاصیت انفجاری، خورندگی و یا سایر ویژگی‌هایی بوده که برای سلامتی انسان یا محیط زیست، به تنهایی و یا هنگامی که با سایر مواد زاید مخلوط گردند؛ ایجاد خطر نماید.

تعاریف کاربردی و اجرایی دارای اهمیت و کاربرد بیشتری به خصوص در زمینه مدیریت پسماندهای خطرناک می‌باشد زیرا نقش مهمی در شناخت و طبقه بندی انواع پسماند خطرناک دارد. با داشتن اطلاعات جامع و دقیق در خصوص نوع و کمیت و کیفیت پسماند خطرناک تولیدی می‌توان برنامه ریزی دقیقی برای سایر مراحل مدیریت انجام داد. یکی از مقبول ترین و مهمترین تعاریف، تعریف پسماندهای خطرناک بر اساس "قانون بازیافت و حفاظت منابع آمریکا" (RCRA) می‌باشد که مواد زاید خطرناک را به صورت زیر تعریف نموده است:

پسماندهای خطرناک به مواد زاید جامد و یا ترکیبی از آنها اطلاق می‌گردد که توسط سازمان محیط زیست آمریکا در قسمت، 40 CFR Part 261, Subpart D ، قانون حفاظت و بازیابی منابع(RCRA) در فهرست‌های چهارگانه قرار گرفته باشد و یا بر اساس قسمت، 40 CFR Part 261, Subpart C ، یکی از خصوصیات چهارگانه پسماند خطرناک: خورندگی، اشتعال پذیری، واکنش پذیری و سمیت را داشته باشد. اگر چه در این تعریف، از واژه مواد زاید جامد استفاده شده ولی این مفهوم پسماندهای نیمه جامد (مثل لجن‌های صنعتی)، مایعات و همچنین گازهای موجود در پسماندها را نیز شامل می‌گردد. همچنین در این قانون، پسماندهای رادیواکتیو و عفونی مد نظر نبوده، زیرا مدیریت این مواد در سایر قوانین آن کشور مورد توجه قرار گرفته است. در این قسمت معرفی فهرست مواد خطرناک و همچنین تعریف مشخصات خطر پسماندهای خطرناک مختصرا ارائه

[1] World Health Organization (WHO)

می‌شود.

در لیست‌های چهارگانه منتشره توسط سازمان محیط زیست آمریکا، مواد خطرناک مختلف معمولا بر اساس مطالعه ارزیابی ریسک یک ماده شیمیایی، در فهرست قرار می‌گیرند. برای تعیین اینکه چه ماده‌ای، زاید خطرناک محسوب می‌گردد چهار نوع لیست مختلف (برای گروه بندی مواد زاید خطرناک) در ایالات متحده آمریکا در نظر گرفته شده است.

الف) لیست F: پسماندهای با منبع نامشخص، شامل مواد زایدی است که معمولاً در بخش وسیعی از صنایع بخصوص صنایع شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، مانند حلال‌های مختلف (کدهای F1 تا F39)، که عمدتاً پسماندهای حاصل از فرآیندهای صنعتی ناشی از چربی زدایی، استفاده از حلال ها، آبکاری‌ها و عملیات و برخی از پسماندهای آمیخته به دی اکسین ناشی از تولید مواد شیمیایی آلی می‌باشد. برخی از مواد این فهرست عبارتند از:

پسماندهای حلال‌ها (F001–F005)

پسماندهای آبکاری(F006–F009)

پسماندهای تصفیه و پرداخت فلزات(F010–F019)

پسماندهای مواد نگهدارنده چوب(F032–F035)

پسماندهای پالایش نفت(F037–F038))

پسماندهای محتوی دیوکسین (F020 - F023 and F026 - F028)

ب) لیست K :پسماندهای با منبع مشخص: مواد زاید خطرناکی که از ۱۷ گروه صنعتی خاص مانند نگهداری و حفاظت از چوب، ساخت رنگدانه‌های معدنی، مواد شیمیایی آلی، مواد شیمیایی معدنی، مواد آفت کش، مواد منفجره، پالایش نفت، آهن و فولاد، صنایع روی، صنایع مس، صنایع سرب، صنایع آلومینیوم، آلیاژهای فلزی، صنایع ثانوی سرب، تهیه مواد دارویی، فرمولاسیون جوهر و کک سازی تولید می‌شوند. برخی از مثال‌های این فهرست عبارتند از

K004 : لجن تصفیه فاضلاب حاصل از تولید رنگ دانه‌های زرد روی

K083 : ته مانده‌های تقطیر در فرآیند تولید آنیلین

K51: لجن جداکننده‌های API

K52 : رسوبات کف مخازن بنزین سرب دار

ج) لیست P: مواد با اثرات حاد: این فهرست شامل مواد زاید خطرناکی است که دارای سمیت حاد هستند. در این فهرست نمونه‌هایی مانند P051: Endrin، و P076: Nitric oxide را می‌توان نام برد.

د) لیست U: مواد با اثرات سمی: این گروه دارای سمیت مزمن بوده و عمدتا شامل مواد شیمیایی تجاری، فرآورده‌های دورریز شونده، ضایعات و فرآورده‌های نامرغوب و تولید شده و ظروف و پسماندهای حاصل از ریخت و پاش هستند. مثال‌های این گروه شامل U002: Acetone، U019: Benzene ، U051: Creosote می‌باشد.

هر فهرست علاوه بر شماره ماده زاید دارای یک کد خطر نیز می‌باشد که مبین خصوصیت خطر ماده زاید می‌باشد. کدهای خطر که در فهرست‌های چهارگانه استفاده می‌شوند عبارتند از:

I = پسماندهای قابل اشتعال[1]

C = پسماندهای خورنده[2]

R = پسماندهای با میل ترکیبی شدید[3]

E = پسماندهای سمی (طبق دستورالعمل آزمایش استخراج مواد سمی، آزمایش سمیت EP)

H = پسماندهای خطرناک حاد[4]

T = پسماندهای سمی[5]

فهرست F و K عمدتا مربوط به مواد زاید فرآیندها، لجن‌های تولید شده در فرآیندهای مختلف، خصوصا فرآیندهای تصفیه فاضلاب می‌باشد در حالی که فهرست P و U مربوط به دوریزها و پسمانده‌های محصولات شیمیایی تجاری می‌باشد.

برای دریافت اطلاعات مربوط به انواع مواد موجود در فهرست‌ها می‌توانید به آدرس زیر مراجعه کنید.

https://www.epa.gov/hw/defining-hazardous-waste-listed-characteristic-and-mixed-radiological-wastes

در صورتی که پسماندی در فهرست‌های چهارگانه نباشد باید از نظر مشخصات چهارگانه خطر نیز مورد بررسی قرار گیرد. این مشخصات به صورت زیر تعریف و تعیین می‌شوند:

خورندگی: به مواد زایدی که pH آنها زیر دو و یا بالای ۱۲/۵ باشد و بتوانند باعث ایجاد خوردگی در فولاد، با سرعت بالاتر از ۰/۲۵ اینچ در هر سال شوند، گفته می‌شود. مایع اسیدی باتری اتومبیل، پسماند اسیدشویی حاصل از فرآیند تولید فولاد و پسماندهای محتوی فنل نمونه‌هایی از پسماندهای خورنده هستند. خورندگی پسماندها را می‌توان با روش SW-846 Test Method 1110A تعیین کرد.

قابلیت اشتعال: مایعاتی که دارای نقطه اشتعال پایین تر از ۶۰ درجه سانتیگراد و یا جامداتی که می‌توانند باعث ایجاد آتش در دما و فشار استاندارد شوند. همچنین اگر ماده ای بر طبق تعریف دپارتمان حمل و نقل آمریکا، یک گاز فشرده شده یا یک اکسید کننده باشد، آن ماده نیز اشتعال پذیر می‌باشد. پسماندهای روغنی، حلال‌های مصرف شده و رنگ‌ها نمونه‌هایی از مواد اشتعال پذیر هستند. روش‌های اندازه گیری اشتعال پذیری شامل روش‌های پنسکی- مارتنز (SW-846 Test Method 1010A), و ستا فلش (SW-846 Test Method 1020B) و روش اشتعال پذیری جامدات (SW-846 Test Method 1030) می‌باشد.

واکنش پذیری: معمولاً مواد ناپایداری هستند که در حالت عادی بدون وقوع انفجار، تغیرات شدیدی در آنها اتفاق می‌افتد و با هوا و آب واکنش داده و یا در اثر مخلوط شدن با آب، پتانسیل انفجاری داشته و یا باعث انتشار ذرات سمی شوند. این مواد در صورتی که در شرایط بسته بوده و در معرض گرما و شعله قرار داشته باشند،

---

[1] Ignitable Wastes
[2] Corrosive Wastes
[3] Reactive Wastes
[4] Acute Hazardous Wastes
[5] Toxic Wastes

جدول ۱ - حداکثر غلظت مجاز (از لحاظ سمیت شیرابه)

نام ماده	کد ماده (USEPA)	غلظت مجاز (میلی گرم بر لیتر)
آرسنیک	D004	۵
باریم	D005	۱۰۰
بنزن	D018	۰/۵
کادمیوم	D006	۱
تتراکلرید کربن	D019	۰/۵
کلردان	D020	٪۳
کلروبنزن	D021	۱۰۰
کلروفروم	D022	۶
کروم	D007	۵
متا-کرزول	D023	۲۰۰
ارتو-کرزول	D024	۲۰۰
پارا-کرزول	D025	۲۰۰
کرزول	D026	۲۰۰
2,4 D	D016	۱۰
۱و۴ دی کلروبنزن	D027	۷/۵
۱و۲ دی کلرواتان	D028	۰/۵
۱و۱ دی کلرواتیلن	D029	۰/۷
۲و۴ دی نیتروتولوئن	D030	۰/۱۳
اندرین	D012	٪۲
هپتا کلر	D031	۰/۰۰۸
هگزا کلروبنزن	D032	۰/۱۳
هگزا کلروبوتادی ان	D033	۰/۵
هگزا کلرو اتان	D034	۳
سرب	D008	۵
لیندان	D013	۰/۴
جیوه	D009	۰/۲
متوکسی کلر	D014	۱۰
متیل اتیل کتن	D035	۲۰۰
نیترو بنزن	D036	۲
پنتا کلروفنل	D037	۱۰۰
پیریدین	D038	۵
سلنیوم	D010	۱
نقره	D011	۵
تترا کلواتیلن	D039	۰/۷
توکسافن	D015	۰/۵
تری کلرواتیلن	D040	۰/۵
۲و۴و۵ تری کلروفنل	D041	۴۰۰
۲و۴و۶ تری کلروفنل	D042	۲
سیلوکس (2,4,5 TP)	D017	۱
وینیل کلراید	D043	۰/۲

باعث انفجار می‌شوند. همچنین تمام موادی که بر اساس تقسیم بندی سازمان حمل و نقل آمریکا در گروه مواد منفجره ممنوعه گروه A و B باشند نیز پسماند واکنش پذیر یا مواد با میل ترکیبی شدید می‌باشند. نمونه معروف این گروه مواد آبکاری محتوی سیانید می‌باشد.

سمیت: هدف از تعیین مشخصات سمیت، شبیه سازی فرآیند دفن یا دفع پسماند در محیط زیست می‌باشد تا مشخص شود که اگر ماده زاید در یک محل دفن قرار داده شود یا در محیط رها شود، باعث نشت فلزات یا دیگر ترکیبات در مقادیر بیش از حد قابل قبول خواهد شد یا خیر. برای تعیین این ویژگی ابتدا از روش EP [1] (روش استخراجی سمیت) استفاده می‌شد که در آن قابلیت رهاسازی مواد زاید در ایجاد شیرابه حاوی مواد شیمیایی خطرناک مورد بررسی قرار می‌گرفت.

از سال ۱۹۸۶ به بعد، روش دیگری به نام TCLP [2] جایگزین روش EP گردید. در این روش با استفاده از تجهیزات مدرن شیمی تجزیه نظیر کروماتوگرافی گازی یا اسپکتروفتومتری جرمی، مواد آلی سمی و فلزات سنگین مورد آزمایش قرار می‌گیرند.

اگر چه روش TCLP، روش دقیق تری برای تعیین سمیت مواد است، ولی هزینه آن در مقایسه با روش EP بسیار بالاتر می‌باشد. در این روش اگر غلظت ترکیبات استخراج شده بالاتر از میزان اعلام شده در **جدول ۱** باشد باشد این ماده در دسته مواد زاید خطرناک قرار می‌گیرد.

نمونه‌هایی از پسماندهای خطرناک دارای خصوصیت سمیت می‌توان پسماندهای رنگ محتوی فلزات سنگین مانند روی، کرم، کادمیم و...، پسماندهای جیوه ناشی از دستگاه‌های آنالیز، آمالگام دندانی و باتری ها، لجن‌ها و پساب‌های حاصل از پرداخت قطعات که محتوی تتراکلرو اتلین هستند و پسماندها و لجن‌ها نفتی حاصل از صنعت نفت که محتوی بنزن را نام برد.

تعریف پسماند خطرناک در قوانین ایران

بر اساس ماده ۲ قانون مدیریت پسماند کشور مصوب ۱۳۸۳، پسماندهای ویژه به کلیه پسماندهایی گفته می‌شود که بدلیل بالا بودن حداقل یکی از خواص خطرناک از قبیل سمیت، بیماری زایی، قابلیت انفجار یا اشتعال، خورندگی و مشابه آن به مراقبت ویژه نیاز داشته باشد و آن دسته از پسماندهای پزشکی و نیز بخشی از پسماندهای عادی، صنعتی، کشاورزی که نیاز به مدیریت خاص دارند جزء پسماندهای ویژه محسوب می‌شوند. متاسفانه علیرغم گذشت بیش از ۱۵ سال از تصویب قانون، تعاریف و توضیحات لازم و دستورالعمل اجرایی لازم جهت شناسایی و مدیریت پسماندهای خطرناک در کشور معطل و بلاتکلیف مانده است و هر ساله حجم قابل توجهی از پسماندهای خطرناک وارد محیط زیست و منابع طبیعی کشور می‌شود و در نهایت باعث تخریب محیط زیست و تهدید و تضعیف بهداشت عمومی می‌گردد. همچنین در همین ماده قانونی، پسماندهای صنعتی به کلیه پسماندهای ناشی از فعالیتهای صنعتی و معدنی و پسماندهای پالایشگاهی صنایع گاز، نفت و پتروشیمی و نیروگاهی و امثال آن از قبیل براده ها، سرریزها و لجن‌های صنعتی گفته شده است.

---

[1] Extraction Procedure

[2] Toxicity Characteristic Leaching Procedure

۳- منابع تولید پسماندهای خطرناک

پسماندهای خطرناک در منابع مختلف در سطح یک اجتماع مانند صنایع مختلف، برخی بخش‌های خدماتی مانند خشک شویی‌ها و عکاسی ها، درمانگاه ها، بیمارستان‌ها و حتی منازل تولید شوند. معمولا مهمترین و عمده ترین منبع تولید پسماندهای خطرناک، بخش‌های صنعتی می‌باشد. همچنین مقداری از پسماندهای خطرناک نیز در منابع شهری و کشاورزی تولید می‌شوند. میزان تولید مواد زاید خطرناک در کارخانجات و صنایع بستگی به نوع صنعت، نوع فرآیند مورد استفاده و در نهایت وجود و یا عدم وجود فرآیندهای کاهش آلاینده دارد.

متاسفانه در حال حاضر آمار دقیق و صحیح و منظم و مطمئنی در سطح کشور در خصوص پسماندهای صنعتی خطرناک و غیر خطرناک وجود ندارد اما بر اساس آمار منتشره در بقیه کشورها بخصوص در آمریکا و اروپا، مهمترین و عمده ترین صنایع تولید کننده پسماند خطرناک به ترتیب بر اساس میزان تولید پسماند خطرناک شامل صنایع ساخت مواد شیمیایی، صنایع ذوب فلزات، صنایع استخراج فلزات و صنایع تجهیزات و تاسیسات الکتریکی می‌باشد.

بر اساس قانون RCRA ، قسمت (CFR Part 262 ۴۰)، تولید کنندگان پسماند بر اساس میزان پسماند خطرناک تولیدی در ماه به گروه‌های زیر تقسیم می‌شوند:

تولید کنندگان بزرگ: در این گروه، کل پسماند خطرناک تولیدی در ماه ۱۰۰۰ کیلوگرم، پسماند خطرناک حادی تولیدی در ماه بیشتر از ۱ کیلوگرم در ماه و پسماندها یا خاک‌های آلوده به پسماندهای خطرناک تولیدی در ماه بیش از ۱۰۰ کیلوگرم می‌باشد. این تولید کنندگان موظف هستند که تمام الزامات بخش ۲۶۲ را اجرا کنند. اغلب صنایع بزرگ در گروه تولیدکنندگان بزرگ قرار می‌گیرند و انواع پسماندهای تولیدی در تولیدکنندگان بزرگ شامل مواد باقیمانده کف مخازن، غبارات، مواد یا فرآورده‌های فرعی شیمیایی دورریز، بسته‌های آزمایشگاهی، سرباره، لجن یا دوغاب، مایعات مصرف شده و دورریز، پسماندهای بسته بندی و فاضلاب‌ها می‌باشد.

تولید کنندگان کوچک: در این گروه کل پسماند خطرناک تولیدی در ماه بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم در ماه می‌باشد و پسماند حاد تولیدی کمتر از ۱ کیلوگرم در ماه می‌باشد. این تولیدکنندگان تنها باید برخی الزمات بخش ۲۶۲ را اجرا کنند. تولیدکنندگان کوچک طیف وسیعی از فعالیت‌های صنعتی و تجاری از تعمیر تجهیزات(گریس زدایی و زنگ زدایی) گرفته تا ساخت(تهیه رنگ) تا مغازه‌های ارائه خدمات به مشتریان مانند مراکز تعمیر خودرو را در بر می‌گیرد.

٤- اثرات بهداشتی و زیست محیطی پسماندهای خطرناک

در صورت عدم مدیریت صحیح پسماندهای تولیدی در سطح جامعه و در منابع تولید، آلاینده‌های مختلف موجود در داخل پسماند وارد محیط زیست می‌شود. ورود پسماندها به محیط زیست می‌تواند باعث آلودگی منابع طبیعی مانند آب، خاک و هوا شود. بخشی از آلودگی وارده به این منابع تحت تاثیر فرآیندهای پالایش طبیعی و ظرفیت‌های خودپالایی طبیعت تجزیه، تبدیل و تخریب می‌شود اما بخش قابل توجهی از آلودگی باعث کاهش

کیفیت منابع طبیعی شده و در نهایتا آلاینده‌ها از طریق فرآیندهای مختلف در محیط‌های مختلف حرکت کرده و نهایتا وارد زنجیره غذایی شده و وارد بدن انسان و حیوان شده و باعث اثرات سوء بهداشتی بر انسان و موجودات زنده می‌شود. جهت اتخاذ راهکار مناسب برای مدیریت آلودگی ناشی از پسماندهای خطرناک لازم است که کمیت و کیفیت آلودگی و سیر حرکت آن در طبیعت و چگونگی ورود آلودگی به بدن موجودات زنده و میزان اثرات وارده بر انسان و محیط زیست مشخص گردد. امروزه این کار در قالب ارزیابی ریسک‌های بهداشتی و اکولوژیکی انجام می‌شود. ارزیابی ریسک، ابزاری است برای درک مخاطرات بهداشتی و محیطی مربوط به پسماندهای خطرناک و می‌تواند به نحو قابل توجهی اساس تصمیم گیری‌های مربوط به مدیریت پسماندهای خطرناک را بهبود بخشد. همچنین ارزیابی ریسک می‌تواند مردم را در درک پیامدهای نامطلوب بهداشتی بر انسان و راهکارهای مناسب برای حل آن کمک کند.

در زمینه پسماندهای خطرناک، ارزیابی ریسک، اطلاعاتی را در رابطه با پیامدهای احتمالی فعالیتها، در اختیار تصمیم گیرندگان قرار می‌دهد. تصمیمات مهمی که می‌توانند از برآوردهای ریسک استفاده کنند شامل انتخاب گزینه‌های دفع/تصفیه پسماند و پالایش سایت‌های آلوده می‌باشد. لازم به ذکر است برآوردهای ریسک تنها یک نوع از اطلاعاتی هستند که مورد استفاده قرار می‌گیرند و اغلب در تصمیمات مربوط به مدیریت پسماندهای خطرناک، عوامل اقتصادی، اجتماعی و سیاسی نیز مورد توجه قرار می‌گیرد.

ارزیابی‌های ریسک برای تعیین ریسکهای بالقوه‌ای از سلامت انسان و محیط زیست انجام میشود که ناشی از آلودگی‌های سمی است که ممکن است به جمعیت‌های بالقوه گیرنده در هر دو سناریوهای فعلی و سناریوهایی که در آینده مورد استفاده قرار میگیرند، انتقال داده شود. ریسک‌های سلامت انسان در رابطه با مواد سرطانزا به صورت احتمال ابتلا به سرطان در طول زندگی و برای غیر سرطانزاها به صورت شاخص‌های خطر محاسبه می‌شود. علاوه بر این، ارزیابی اکولوژیک تلاش کرده است تا خطرات محیط زیستی را در محل و خارج از محل تعیین کند. این روشها به طور کلی از رهنمودهایی که توسط EPA پیشنهاد شده است، پیروی می‌کنند، زیرا عمده ارزیابی ریسک که در حال حاضر انجام می‌شود، به این روشها بستگی دارد. با این حال، باید اشاره کرد که این روش‌ها به طور مداوم تجدید نظر می‌شوند. چهار مرحله ارزیابی ریسک شامل شناسایی ریسک، ارزیابی تماس، ارزیابی سمیت و تعیین ریسک می‌باشد.

شناسایی ریسک:

در مرحله اول ارزیابی ریسک به درک روشنی از مواد شیمیایی موجود در یک سایت، غلظت‌ها و توزیع آن و چگونگی حرکت آنها از منبع به دریافت کنندگان و نقطه پذیرش نیاز دارد. یک بازدید و بررسی از سایت می‌تواند به راحتی بسیاری از اطلاعات مورد نیاز را تامین و آنالیزهای بعدی را تسهیل کند. در این مرحله داده‌هایی مانند سابقه سایت، کاربری زمین، سطوح آلودگی در ماتریکس‌های هوا، آب زیرزمینی، آب سطحی، خاک و رسوب، مشخصات محیطی که مسیر و انتقال مواد شیمیایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد، زمین شناسی، هیدروژئولوژی، اتمسفر، توپوگرافی، جمعیت بالقوه تحت تاثیر و بیوتا بالقوه تحت تاثیر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

یک روش برای گردآوری داده ها، شناسایی کل آلاینده و سپس انتخاب مهمترین‌ها و مدل کردن

ریسک آنها می‌باشد. EPA توصیه می‌کند که مهمترین آلاینده‌ها بر اساس قضاوت کارشناسی انتخاب و ارزیابی ریسک کمی انجام شود. انتخاب آلاینده‌های شاخص بر اساس سمی ترین، مقاوم ترین و متحرک ترین ها، غالب ترین به لحاظ توزیع فضایی و غلظت و مواردی با مهمترین تماس‌ها انجام می‌شود.

ارزیابی تماس:

مرحله دوم ارزیابی کمی ریسک شامل برآورد مواجه مواد شیمیایی با جمعیت‌هایی است که به طور بالقوه در معرض ریسک هستند. در ارزیابی تماس مراحل زیر دنبال می‌شود:

شناسایی تابع آلودگی

چگونگی رهاسازی و انتشار آلودگی

تعیین نقاط دریافت فعلی و بالقوه آتی

شناسایی جمعیت عمومی و حساس در معرض

برآورد تماس‌های کوتاه و بلند مدت

مسیرهای محیطی[1]

یک زنجیره ای از وقایع باید اتفاق بیفتد تا تماس حاصل شود که مجموعا به این زنجیره راه‌های انتقال محیطی یاeم گویند. یک مسیر شامل عناصر زیر است:

- منبع مانند یک لاگون
- مکانیسم آزادسازی مواد شیمیایی مانند نشت
- محیط انتقال مانند آب زیرزمینی، خاک و...
- مکانیسم انتقال مانند جذب و...
- مکانیسم تغییر شکل[2] مانند تجزیه زیستی
- نقطه تماس مانند منازل مسکونی
- دریافت کنندگان مانند مصرف کنندگان آب شرب
- راه تماس با دریافت کننده مانند استنشاق یا بلع
- جمعیت‌های در معرض ریسک
- جمعیت در معرض در نزدیکی سایت آلوده
- جمعیت آینده مستقر در نزدیکی سایت آلوده
- زیر گروه‌های خاص جمعیت مانند کودکان در مورد سایت‌های آلوده به سرب و...
- کارگران احتمالی مشغول به کار در دوره اصلاح و بازیابی سایت

[1] Environmental pathways
[2] Transformation

ارزیابی سمیت:

این مرحله از فرایند ارزیابی ریسک، سمیت (یعنی رابطه دوز–پاسخ) را برای هر ماده شیمیایی مورد نظر تعیین می‌کند. خروجی‌ها برای قرار دادن در معادلات محاسبه ریسک به شکل ثابت‌های ریاضی در نظر گرفته می‌شوند. علاوه بر ارائه مجموعه-ای از ثابت‌های ریاضی برای محاسبه ریسک، همچنین ارزیابی سم شناسی باید عدم قطعیت ذاتی این اعداد را تحلیل کند و توضیح دهد که چگونه این عدم قطعیت ممکن است برآوردهای ریسک را تحت تاثیر قرار دهد. به منظور تعیین ریسک سلامتی انسان، تقسیم بندی مواد شیمیایی به مواد سرطان زا و غیر سرطانزا انجام می‌شود. بعضی از مواد شیمیایی هم به عنوان مواد سرطانزا و هم غیر سرطانزا عمل می‌کنند و از این رو در هر دو نوع محاسبه ریسک بالقوه سلامت انسان دیده می‌شوند. نگرانیهای عمومی در مورد خطر سلامتی در رابطه با مواد سرطان زا نسبت به غیرسرطانزا بیشتر است؛ با این حال، این مسئله دلیلی برای تمایز میان مواد شیمیایی که باعث سرطان میشوند و مواد شیمیایی که سرطان ایجاد نمی‌کنند، نیست. تمایز بین آنها مهم است، زیرا دو پاسخ سمی را به طرق مختلف استنباط میکند و باعث می‌شود که دو مدل متفاوت برای القاء واکنش سمی به عنوان عملکرد دوز، مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین، بیان ریاضی ریسک برای دو دسته مواد شیمیایی متفاوت است.

به طور معمول روابط پاسخ –دوز برای مواد سرطانزا به عنوان بروز سرطان در طول عمر (به عنوان مثال احتمال) در مقایسه با دوز گزارش می‌شود. در مورد مواد سرطانزا، معادلات به نام فاکتورهای شیب گزارش می‌شود. شیب، که به عنوان فاکتور شیب شناخته می‌شود، نشان دهنده قدرت سرطان زایی مواد شیمیایی است. این محاسبه با فاصله اطمینان بیش از ۹۵ درصد منحنی پاسخ –دوز سرطان محاسبه می‌شود و به صورت معکوس دوز، مانند [میلی گرم / (کیلوگرم روز)] بیان میشود. بنابراین، احتمال ابتلا به سرطان برای یک مواجه با ضرب کردن فاکتور شیب در دوز محاسبه می‌شود.

شناسایی خطر:

مرحله نهایی فرایند چهار مرحله-ای ارزیابی ریسک سلامتی انسان، برآورد ریسک است. این مرحله شامل بخشی از محاسبه تخمین‌های کمی ریسک‌های سرطانزا و غیر سرطانزا به گیرنده-هاست که برای همه سناریوهای مواجه در نظر گرفته شده است. معمولا برآوردها برای هر سه مسیر مواجه و برای حداکثر مواجه فردی، همچنین محتملترین جمعیت در معرض مواجه، محاسبه می-شوند. چنین محاسباتی ساده هستند و ارزیابی کمی ریسک را انجام می-دهند.

ریسک سرطانزایی ممکن است به صورت دوز جذب روزانه مزمن (که در ارزیابی مواجه تعیین می‌شود) ضرب در فاکتور شیب (انتخاب شده با ارزیابی سمیت) تعریف شده باشد. این حاصلضرب یک اصطلاح واقعی است: احتمال ابتلا به سرطان اضافی در طول عمر در نتیجه مواجه با این مواد شیمیایی. محاسبه به شرح زیر است:

$$RISK = I_C \times SF$$

IC جذب روزانه مزمن ماده سرطانزا (mg/kg.d)

SF فاکتور شیب سرطانزایی (kg.d/mg)

معمولا ریسک غیرسرطانزا با توجه به شاخص خطر توصیف می‌شود. این شاخص نسبت دوز تخمینی جذب شده ناشی از مواجه به غلظت مرجع (RfC) است. غلظت مرجع بستگی به مسیر مواجه دارد و ممکن است فقط زمانی این غلظتها استفاده شوند که اطلاعات مواجهه برای همان مسیر باشد. شاخص خطر به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$HI = I_N / Rfc$$

HI شاخص خطر(بدون بعد)

IN جذب روزانه مزمن غیرسرطانزا (mg/kg.d)

Rfc غلظت مرجع (mg/kg.d)

EPA در حال حاضر ریسک‌های قابل قبول برای سرطانزاها را به عنوان ریسک سرطان اضافی طول عمر در محدوده 10^{-4} تا 10^{-6} و برای غیرسرطانزاها به عنوان شاخص خطر کمتر از ۱ تعیین کرده است.

۵- مدیریت پسماندهای خطرناک

در سیستم‌های نوین مدیریت پسماندهای خطرناک، اساس کار مبتنی بر توسعه پایدار و مدیریت یکپارچه و جامع پسماند می‌باشد. در این سیستم کلیه مراحل تولید تا دفع نهایی پسماند مورد ارزیابی و بررسی دقیق قرار می‌گیرد و مدیریت، مواد "از آغاز تولید تا پایان دفع" مورد توجه می‌باشند. مراحل مختلف مدیریت نوین پسماندهای خطرناک به صورت زیر است:

۱. تولید و نگهداری مواد زاید خطرناک
۲. جلوگیری از تولید آلودگی و حداقل سازی ضایعات
۳. بازیابی و بازیافت
۴. جمع آوری و انتقال
۵. تصفیه
۶. دفع نهایی

۵-۱- نگهداری و ذخیره‌سازی مواد

در صورتی که انجام فرآیندهای کاهش آلاینده و یا استفاده مجدد و بازیافت در محل تولید میسر نباشد، ضرورت دارد تا پسماندها در محل‌های مشخص با شرایط خاص نگهداری شوند. این شرایط باید تا زمانی که پسماند برای سایر عملیات (تصفیه و یا دفع نهایی) ارسال نشده، همواره مورد توجه جدی تولید کننده قرار گیرد.

پسماندهای خطرناک باید تا لحظه حمل برای تصفیه یا دفع نهایی بدون هیچ خطری حفظ و نگهداری گردند. نگهداری مواد در مخازن یا ظروف انجام می‌گیرد. در صورتی که پسماندهای خطرناک در ظروف نگهداری

شوند قابلیت حمل آنها آسان تر می‌شود و در هنگام بارگیری انعطاف پذیری بیشتری دارند. این ظروف معایبی هم دارند که عبارتند از: صدمه پذیری، واژگون شدن، مشکل بازرسی تعداد زیاد ظروف برای تشخیص نشت احتمالی، نگهداری زیاد پسماند در محل تولید به دلیل سادگی حمل و نقل و انبارسازی.

ظروف نگهداری باید دارای شرایط زیر باشند:

- عدم آسیب دیدگی.
- تحمل ۳ ماه نگهداری بدون نشت و هیچ گونه صدمه.
- تحمل فشار عملیات حمل و نقل و احتمال واژگون شدن از کامیونها.
- تمایل مطلوب حمل کنندگان برای حمل آنها.
- ظروف باید با پسماندها سازگاری داشته باشند مثلاً اسیدها و قلیاها باید در ظروف پلاستیکی و شبکه فولادی ضد زنگ ریخته شوند تا به ظروف صدمه وارد نشود.
- بسته بودن درب ظروف.
- تمام ظروف حاوی مواد زاید خطرناک باید دارای برچسب مناسبی شامل نام تولید کننده، محتویات، تاریخ تولید و طبقه بندی ماده زاید خطرناک باشد.

در نگهداری پسماندهای قابل اشتعال یا با میل ترکیبی زیاد موارد زیر باید رعایت شود:

- رعایت فاصله حداقل ۱۵ متر از تأسیسات.
- دوری از منابع احتراق یا واکنش.
- نصب علایم هشدار دهنده در محل نگهداری نظیر نکشیدن سیگار و ...

رعایت موارد زیر به منظور جلوگیری از نشت حاصل از انبساط محتویات ظروف ضروری است:

- باقی گذاشتن فضای خالی برای انبساط در هنگام پرکردن ظروف.
- نگهداری ظروف در یک محوطه سربسته مجهز به تهویه.
- درصورت نگهداری پسماندها در محوطه سرباز، پسماندها باید دور از تابش مستقیم نور خورشید باشند.
- در صورت نگهداری مواد زاید در محوطه سرباز، باید از شبکه‌های دارای رنگ روشن استفاده شود.
- در مدیریت نگهداری مواد زاید خطرناک، اختلاط مواد زاید خطرناک نیاز به توجه دقیق و جدی و مدیریت صحیح دارد. بسیاری از مواد زاید خطرناک در صورت ترکیب با یکدیگر، خطرات جدی را به وجود آورده که اصطلاحاً به آنها مواد زاید ناسازگار اطلاق می‌گردد. خطرات حاصل از اختلاط این مواد می‌تواند شامل آتش سوزی، انفجار و انتشار گازهای سمی در محیط اطراف باشد. برای مثال اختلاط اسیدها با قلیاها باعث تولید گرما و واکنش شدید می‌شود. اختلاط فلزات با اسیدها و قلیاها باعث آتش سوزی و انفجار و تولید گاز هیدروژن قابل اشتعال می‌شود. اختلاط محلول‌های حاوی سیانید با اسیدها باعث تولید سیانید هیدروژن سمی یا گاز سولفید هیدروژن می‌شود.
- مشخص بودن تاریخ شروع استفاده و ذخیره‌سازی باید روی ظرف توسط مواد پاک نشدنی نوشته شود و خواندن آن به آسانی میسر باشد.

- بر اساس RCRA ظروف باید در ردیف‌های دوتایی و حداکثر به ارتفاع دو بشکه روی هم بر روی پالت چیده شوند و فضای کافی کناری حدود ۸۰ سانت برای انجام بازرسی بین ردیف‌ها وجود داشته باشد.

لازم به ذکر است که محل نگهداری ظروف باید به طور هفتگی بازرسی شوند تا از نشت و انتشار موادزاید خطرناک اطلاع حاصل گردد. در این بازرسی از وضعیت ایمنی، شرایط محل نگهداری و ظروف اطلاعات کافی بدست می‌آید.

۵-۲- جلوگیری از تولید آلودگی و کمینه سازی ضایعات

یکی دیگر از مراحل بسیار مهم مدیریت مواد زاید خطرناک، جلوگیری از تولید آلودگی در محل تولید می‌باشد. در طی سال‌های اخیر کلمات مختلفی برای کاهش یا حذف تولید ماده زاید خطرناک مورد استفاده قرار گرفته که از مهمترین آنها می‌توان به واژه‌هایی چون حداقل سازی ضایعات، کاهش آلودگی در منبع تولید[1]، جلوگیری از تولید آلودگی، بازیابی و استفاده مجدد[2] اشاره کرد.

در سال ۱۹۸۶، سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، کمینه سازی ضایعات را به عنوان عاملی برای کاهش حجم یا سمیت مواد زاید خطرناک به کار برد. بر اساس این تعریف کاهش مواد زاید خطرناک شامل کاهش میزان آلودگی در منابع تولید و یا بازیافت آنها بوده و باعث کاهش حجم یا کمیت مواد زاید خطرناک، کاهش سمیت مواد زاید خطرناک و کاهش حجم و سمیت به صورت هم زمان خواهد شد. در سال ۱۹۸۹، سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا مجدداً کمینه سازی ضایعات را به صورت زیر تعریف نموده است:

"به حداقل رسانیدن پسماندها عبارت است از تکنیک و یا اصلاح فرآیند تولید بوده که باعث می‌شود تا مقدار و یا سمیت مواد زایدی که برای عملیات تصفیه و یا دفع ارسال می‌گردند، کاهش یابد".

جلوگیری از تولید آلاینده شامل مدیریت مواد شیمیایی برای کاهش ریسک، شناسایی و برآورد انتشار مواد آلاینده و حداقل سازی تولید پسماند می‌باشد. در واحدهای صنعتی در آمریکا و سایر کشورهای پیشرفته بعد از دهه ۸۰ تلاش‌های زیادی به منظور جلوگیری از تولید آلودگی شده است. به دلیل افزایش هزینه دفع مواد زاید خطرناک که توام با افزایش شدید مالیات دفع بوده است (انگیزه اقتصادی)، و تصویب قوانین جدید جدی و سختگیرانه (انگیزه‌های قانونی و مقرراتی) و افزایش آگاهی آحاد جامعه در کشورهای پیشرفته، کاهش تولید پسماند و پیشگیری از تولید پسماند مورد توجه جدی و اساسی قرار گرفته است و توفیقات بسیاری در این زمینه به عمل آمده است و این کشورها توانسته سیاست توسعه پایدار را تا حد زیادی در بحث مدیریت پسماندهای عادی و خطرناک پیاده کنند. با توجه به اهمیت موضوع به خصوص برای کشورهای در حال توسعه مانند ایران و به منظور ارائه الگوهای صحیح مبتنی بر واقعیت‌های اجتماعی و اقتصادی موجود، در این قسمت عوامل موثر بر کاهش پسماند به صورت مختصر بررسی می‌شود.

الف)عوامل اقتصادی: در حال حاضر انگیزه اقتصادی یکی از مهم ترین انگیزه‌های واحدهای صنعتی برای

---

[1] Source Reduction
[2] Reuse

انجام عملیات کاهش آلودگی است. در بسیاری از موارد، انجام این گونه عملیات، باعث بالا رفتن سود اقتصادی در واحدهای صنعتی شده، که عمدتاً در اثر کاهش میزان پرداخت هزینه برای تصفیه و دفع مواد زاید خطرناک و یا حتی فروش برخی از زایدات به عنوان ماده اولیه برخی دیگر از صنایع حاصل شده است.

عامل اصلی بالا رفتن سود اقتصادی، هزینه بسیار بالای دفع مواد زاید خطرناک در کشورهای پیشرفته مانند آمریکا، ژاپن و کشورهای اروپایی در سال‌های اخیر بوده است. به عنوان مثال در طی سال‌های اخیر، هزینه دفع مواد زاید خطرناک در آمریکا، در هر سال بین ۲۰ تا ۳۰ درصد افزایش یافته و بدین ترتیب بسیاری از طرح‌های بازیافت که در سال‌های گذشته از نظر اقتصادی غیر قابل توجیه بوده، هم اکنون دارای توجیه اقتصادی خوبی می‌باشند. این در حالی است که در کشور ما متاسفانه تولید کنندگان با خیالی آسوده، پسماندهای خطرناک را به صورت آشکار یا پنهان بدون هیچ گونه هزینه ای و یا با هزینه بسیار ناچیز در محیط زیست رها و تخلیه می‌کنند.

ب) عوامل قانونی و مقرراتی: دومین انگیزه برای انجام طرح‌های کاهش آلودگی، تدوین و وضع قوانین و مقرراتی است که به صورت مداوم در خصوص مراحل مختلف مدیریت مواد زاید خطرناک توسط مجامع قانونی و ادارات ذیربط وضع می‌گردد. بر اساس این قوانین، واحدهای صنعتی می‌بایست میزان مواد زاید خطرناک تولیدی خود را تا حد ممکن کاهش داده، و علاوه بر آن هر ساله گزارش به حداقل رسانی ضایعات خود را نیز گزارش نمایند. در کشور ما در این زمینه نیز کاستی و کاهلی شدید و وسیعی حمکفرماست و سازمان ناظر بسیار ناکارآمد و ناتوان ظاهر شده اند.

ج) افزایش آگاهی عمومی: انگیزه مهم دیگر برای واحدهای صنعتی به خصوص در کشورهای پیشرفته، بالا رفتن آگهی‌های زیست محیطی مردم و عدم تحمل آنها به ادامه تولید مواد زاید خطرناک می‌باشد. این عدم تحمل به صورتهای مختلف توسط مردم بروز می‌نماید که از آن جمله می‌توان به تحریم محصولات تولیدی از واحدهای صنعتی که موازین زیست محیطی را رعایت نمی‌نمایند، اشاره کرد. باید در نظر داشت که همواره مردم هستند که در معرض ریسک حاصل از مواد زاید خطرناک قرار می‌گیرند و لذا آنها هستند که همواره اصرار دارند تا تولید این نوع مواد که اثر منفی بر سلامتی موجودات و محیط زیست دارد، به حداقل ممکن کاهش یابد. در کشور ما متاسفانه شناخت و گاهی مردم در این خصوص بسیار پایین و کم بوده و جامعه از این حیث در انفعال عمیقی فرو رفته است.

روش‌های اجرایی کاهش آلاینده

برای کاهش تولید پسماند در صنایع روش‌های مختلفی پیشنهاد و به کار گرفته شده است. در این قسمت مهمترین روش‌ها به طور مختصر معرفی می‌شود.

کاهش حجم مواد زاید خطرناک

یکی از مهم ترین روش‌های کاهش آلاینده، پیدا کردن روش‌های مناسب برای کاهش حجم آن می‌باشد. این روش‌ها می‌توانند شامل اصلاح فرآیند تولید، جداسازی جریان مواد زاید و همچنین استفاده مجدد آنها باشد.

الف) اصلاح در فرآیند تولید : این اصلاحات می‌تواند در موارد زیر صورت پذیرد:

- مواد اولیه
- تجهیزات
- دستورالعمل‌های عملیاتی
- نگهداری مواد
- محصولات نهایی

با استفاده از این روش‌ها بسیاری از شرکت‌های معتبر در سطح دنیا، حجم ضایعات تولیدی خود را به حداقل ممکن کاهش داده اند. مثال‌های مختلفی در خصوص اصلاح و جایگزینی مواد اولیه در صنایع وجود داشته که یکی از مهم ترین آنها جایگزینی مواد تمیز کننده سطوح می‌باشد. به عنوان مثال می‌توان در واحدهای چاپ، پاک کننده ای با پایه آبی را جایگزین پاک کننده‌های آلی نمود. در برخی از موارد نیز استفاده از اسیدها و بازهای معدنی باعث کاهش مصرف حلال‌های آلی (مثل هگزان) می‌گردد. در برخی موارد نیز، تغییر نوع ماده اولیه مصرفی به ماده ای با کیفیت بالاتر می‌تواند میزان تولید ماده زاید خطرناک را کاهش دهد.

به هر حال روش‌های اصلاحی متفاوتی برای کاهش آلاینده در واحدهای مختلف صنعتی وجود داشته که باید در هر صنعت به طور مجزا بررسی شوند. به عنوان نمونه برخی راهکارهای کاهش آلاینده برای یک واحد آبکاری فلزات عبارتند از:

- افزایش زمان آبکشی قطعات
- استفاده از هوای با فشار کم جهت جدا کردن قطرات از قطعات
- شستشو با استفاده از سیستم افشانک (اسپری) در بالای وان‌های آبکاری
- به حداقل رساندن غلظت فلزات در وان‌های آبکاری
- حرکت چرخشی قطعات در بالای وان آبکاری (جهت کاهش انتقال مواد به وان شستشو)

از آنجایی که مدیران تولید و کارشناسان با خط تولید و فرآیند کارخانه خود آشنایی کافی دارند، لذا می‌توانند راه حل‌های جالب و مبتکرانه ای را در راستای اصلاح خط تولید ارائه دهند. همچنین ضروری است کلیه پرسنل خط تولید، در جریان نوع و دلیل تغییرات قرار گیرند تا حداکثر همکاری را در این رابطه داشته باشند.

ب) جداسازی جریانهای مختلف مواد زاید خطرناک: یکی دیگر از روشهای مؤثر کاهش مواد زاید در منبع تولید، جلوگیری از مخلوط شدن جریانات مختلف مواد زاید خطرناک با یکدیگر می‌باشد. به عنوان مثال اگر مقدار کمی از یک ماده خطرناک خاص، با حجم زیادی از ماده زاید غیر خطرناک مخلوط شود حاصل کار، حجم وسیعی از ماده زاید خطرناک بوده که باید مورد تصفیه و دفع قرار گیرد. با جداسازی جریانهای مختلف، ضمن کاهش حجم مواد زاید خطرناک تولیدی، می‌توان عمل تصفیه را نیز راحت تر و کم هزینه تر انجام داد. روش دیگر کاهش آلاینده جلوگیری از تماس آبهای خنک کننده، با سایر جریانات مواد زاید خطرناک و فاضلابها می‌باشد.

داشتن نقشه کامل از سیستم جمع آوری فاضلابهای مختلف و سایر چشمه‌های تولید پسماند، یکی از پیش نیازهای اجرای سیستم جداسازی و تفکیک پسماند می‌باشد. در برخی مواقع، جداسازی مواد جامد از سایر

مواد می‌تواند بسیار مؤثر واقع شود. به عنوان نمونه یکی از منابع اصلی تولید آلاینده، در بسیاری از واحدهای صنعتی ذرات جمع آوری شده از سیستم‌های کنترل آلودگی هوا بوده که می‌بایست به صورت جداگانه جمع آوری و دفع گردند. به عبارت دیگر باید با انجام این گونه عملیات، از ورود مقدار قابل توجهی از مواد زاید به سیستم جمع آوری پساب و پسماند جلوگیری شود.

ج) استفاده مجدد: بسیاری از مواد دورریخته شده تحت عنوان ماده زاید خطرناک می‌توانند دارای کاربردهای دیگری نیز باشند. به عنوان مثال حلال‌های مصرفی با ناخالصی پایین می‌توانند برای پاک کردن قطعاتی که حساسیت کمتری دارند، مورد استفاده قرار گیرند. نمونه بارز در این خصوص استفاده از تولوئن در صنعت چاپ می‌باشد. در صنعت چاپ، تولوئن هم به عنوان عامل پاک کننده در پرس‌ها و هم به عنوان عامل رقیق کننده جوهر به کار برده می‌شود. در صورتی که بتوان از تولوئن برای پاک کردن یک رنگ خاص استفاده نمود، امکان استفاده از آن به عنوان رقیق کننده جوهر نیز وجود دارد.

مثال دیگر، فرآیند بازیابی اسید مصرف شده در صنایع فولاد است. در این فرآیند زنگ آهن توسط اسید حذف می‌گردد که به آن اصطلاحاً پیکلینگ[1] می‌گویند. مایع حاصل از این فرآیند، یک ماده زاید خطرناک بوده و باید خنثی شود. از طرفی لجن حاصل از فرآیند خنثی سازی نیز ماده زاید خطرناک محسوب گردیده و باید مورد تصفیه مجدد قرار گرفته و یا تحت شرایط خاص دفع شود.

منبع دیگر مواد زاید خطرناک، مواد خامی است که تاریخ مصرف آنها سپری شده است. معمولاً تاریخ مصرف این گونه مواد به صورت محافظه کارانه ای تعیین می‌شود و در پاره ای از موارد امکان استفاده از این مواد (در صورت تأیید آزمایشگاه) وجود خواهد داشت.

کاهش سمیت جریانات حاوی مواد زاید خطرناک

تعداد قابل توجهی از روشهای کاهش سمیت وجود دارد، که با استفاده از آنها می‌توان میزان سمیت مواد زاید خطرناک را به گونه ای تقلیل داد که باعث حذف ماده مزبور از لیست مواد زاید خطرناک شود. اصلاح فرآیند یکی از اقدامات کاهش سمیت مواد زاید خطرناک می‌باشد. همچنین با اصلاح تجهیزات نیز می‌توان سمیت مواد زاید خطرناک را کاهش داد. از جمله اثر این گونه اقدامات کاهش و یا حذف نشتی بوده که با انجام اقدامات ساده مانند استفاده از سیستم‌های پایش مستمر و قرار دادن سیستم زنگ خطر در هنگام بالا بودن نشت مواد، قابل اجرا می‌باشد.

در پاره ای از موارد نیز می‌توان با انجام کارهای ساده و ارزان مانند مدیریت امور، میزان سمیت مواد زاید خطرناک را کاهش داد. برای انجام این کار همچنین ضروری است که آموزش‌های لازم به کارکنان در جهت کاهش میزان آلاینده داده شود.

یکی دیگر از مهم ترین و کاربردی ترین روش‌های کاهش سمیت، عدم استفاده و تغییر نوع مواد زاید خطرناکی است که در فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عنوان مثال در این مورد می‌توان به استفاده از محلول‌های غیر سیانیدی در واحدهای آبکاری فلزات اشاره نمود. مباحث اقتصادی در جایگزینی مواد، نقش بسیار

[1] Pickling

مهمی داشته به گونه ای که در سالهای اخیر به دلیل بالا رفتن هزینه‌های دفع و تصفیه مواد زاید خطرناک، استفاده از مواد بی ضررتر در صنایع از رشد جالب توجهی برخوردار بوده است.

۵-۳- بازیابی و بازیافت

هنگامی که کاهش حجم و یا کاهش سمیت یک ماده زاید خطرناک میسر نباشد، در برخی موارد می‌توان از طریق فرآیندهای دیگر، به گونه ای آن را بازیابی نمود. بهترین محل جهت بازیابی و بازیافت ماده زاید خطرناک، محل تولید آن است چون معمولاً حمل و نقل مواد زاید خطرناک به یک مجتمع در خارج از محل تولید علاوه بر بالا بردن هزینه، ممکن است خطراتی را به دنبال داشته باشد. خطراتی نظیر نشت و تصادفات احتمالی ماشین‌های حمل و نقل مواد زاید خطرناک از جمله این گونه موارد می‌باشد. مهمترین پسماندهای صنعتی که در محل تولید می‌توانند بازیابی یا بازیافت شوند، شامل آب، حلال، روغن و مواد جامد می‌باشد. گزارشهایی که اخیراً از TRI (فهرست مواد سمی منتشره) EPA منتشر شده نشان می‌دهد که صنایع شیمیایی پیشرفتهای عمده‌ای در کاهش تولید مواد زاید شیمیایی خطرناک داشته‌اند.

۵-٤- حمل و نقل

یکی از مهم ترین مراحل مدیریت پسماندهای خطرناک، انتقال پسماندهای خطرناک از واحدهای تولیدی به تأسیسات بازیابی و بازیافت، تصفیه و دفع مواد زاید خطرناک است. جمع آوری پسماندهای خطرناک جهت حمل به تأسیسات مورد نظر، باید توسط تولید کننده پسماند و یا حمل کننده ویژه (شرکت‌های صلاحیت دار) صورت پذیرد. معمولاً بارگیری وسائل نقلیه جمع کننده پسماند خطرناک به دو روش به شرح زیر انجام می‌پذیرد:

۱. پسماندهایی که در مخازن حجیم نگهداری و ذخیره شده‌اند توسط پمپ به داخل وسائل نقلیه حمل کننده مواد منتقل می‌شوند.

۲. پسماندهای ذخیره شده در بشکه‌های در بسته به طور دستی و یا با استفاده از وسایل مکانیکی به داخل کامیون‌های کفی منتقل می‌شوند.

ظروف محتوی پسماندهای خطرناک می‌بایست بدون اینکه باز شوند به مراکز تصفیه و دفع نهایی منتقل شده و افراد نباید در تماس مستقیم با این مواد قرار گیرند. انتخاب روش حمل بستگی به مسافت حمل مواد زاید خطرناک دارد. معمولاً در مواردی که فاصله بین مرکز تولید و تصفیه و دفع کم باشد، استفاده از بشکه و حمل با کامیون‌های کفی ترجیح داده می‌شود. در عوض در صورتی که مسافت حمل و نقل مواد زاید زیاد باشد، استفاده از کامیون‌های بزرگ مخزن دار، تریلرها و واگن‌های مخزن دار مخصوص راه آهن پیشنهاد می‌گردد.

در تعیین مقررات مربوط به حمل و نقل می‌بایست نظرات سازمان‌ها و وزارت خانه‌های مرتبط (وزارت راه) به طور کامل لحاظ گردد. به عنوان نمونه قانون RCRA تأکید می‌کند که مقررات مربوط به حمل مواد خطرناک باید با مقررات سازمان حمل و نقل آمریکا (USDOT) مطابقت داشته باشد. در این خصوص باید کلیه مقررات از جمله موارد ذیل مد نظر قرار گیرند.

۱. انتخاب نام محموله، طبقه بندی (نوع خطر) و شماره هویت مربوط به پسماند
۲. بسته بندی، برچسب گذاری و علامت گذاری محموله
۳. داشتن مجوز معتبر از سازمان‌های مرتبط در خصوص حمل پسماندهای خطرناک
۴. تکمیل برگه مشخصات پسماندهای خطرناک که قرار است حمل گردد
۵. تهیه بارنامه برای پسماندهای خطرناک و مسائل مربوط به آن

انتخاب نام محموله، تعیین طبقه بندی (نوع خطر) و شماره هویت مربوط به پسماند خطرناک باید توسط تولید کننده و بر اساس نتایج آزمایشگاهی و یا تجربیات به دست آمده در فرآیند تولید تعیین گردد. کلیه ظروف یا مخازن حمل پسماند خطرناک نیز باید قبل از حمل، برچسب‌گذاری شوند. همچنین نصب اعلان‌های هشدار دهنده بر روی وسایل حمل و نقل پسماند خطرناک، وظیفه مشترک تولید کننده ماده زاید و حمل کننده است. معمولاً اعلان‌های مناسب باید توسط تولید کننده پسماند خطرناک تهیه و در اختیار حمل کننده قرار گیرد.

بدیهی است که حمل پسماند خطرناک به تأسیسات تصفیه، نگهداری و دفع پسماند، نیاز به بارنامه مخصوص دارد. این بارنامه حاوی اطلاعاتی است که باید از لحظه تولید تا دفع نهایی ماده زاید خطرناک همراه آن باشد.

موارد زیر به ترتیب در ایمنی بیشتر حمل پسماندهای خطرناک و کاهش پیامدهای زیست محیطی آنها دخالت دارند:

- استفاده از ظروف متناسب با نوع ماده
- استفاده از برچسبهای برجسته و شب نما بر روی ظروف و مخازن برای مشخصات ماده
- استفاده از علائم هشدار دهنده
- نصب پلاکارد مشخص کننده حمل مواد زاید خطرناک برای چهار سمت وسیله نقلیه
- تکمیل فرم برگه مشخصات
- تأکید بر عدم استفاده از کامیونهای حمل مواد غذایی و سایر موارد که به مصرف انسان یا حیوان می‌رسد.
- اطمینان از بارگیری بسته‌هایی که آسیب ندیده اند
- استفاده از کامیونهای با اطاق راننده مجزا
- پوشش بسته بندی در کامیونهای روباز
- اطمینان از ثابت شدن بسته‌ها در کامیون
- استفاده از مسیرهای هموار و مطمئن برای حمل مواد به جای راههای میان بر
- مجهز بودن کامیون به وسایل اطفای حریق، لباس محافظ، جعبه‌های کمکهای اولیه و لوازم رفع آلودگی
- بارگیری بسته‌ها و ظروف حاوی مواد با توجه به جنس آنها
- خودداری از فشردگی بسته‌های حاوی مواد زاید به محل انبار و یا دفع مواد
- توزیع یکسان بار در کامیون جهت کاهش خطر تصادفات جاده ای
- اطمینان از قرارگیری درست بارها بر روی هم به طوری که با بازشدن در کامیون، بارها ریزش نکند

- برای جلوگیری از خطرات احتمالی باید اطلاعات مورد نیاز در مورد مواد زاید خطرناک و همچنین نحوهٔ مهار کردن خطرات احتمالی از جمله (آتش سوزی، نشت، تراوش و ...) در اختیار رانندگان قرار گیرد.

۵-۵- تصفیه پسماند خطرناک

تصفیه پسماند خطرناک نیز یک روش بسیار مهم در جهت کاهش سمیت پسماند خطرناک قبل از دفع نهایی است. این روش از نقطه نظر اقتصادی بسیار حائز اهمیت بوده و در صورت استفاده از روش‌های مناسب، هزینه دفع پسماند تا حد چشمگیری کاهش می‌یابد. تصفیه پسماند خطرناک در واقع یک مرحله پیش از دفع نهایی بوده و هدف اصلی در این مرحله، بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پسماند و به حداقل رساندن مشکلات زیست محیطی در مرحله دفع می‌باشد. در برخی موارد ترکیبات حاصل از تصفیه ماده زاید می‌تواند دوباره مورد استفاده قرار گیرد. انتخاب روش تصفیه بستگی به عوامل زیادی چون سهولت دسترسی به مراکز تصفیه پسماند، استانداردهای ایمنی و ملاحظات اقتصادی دارد.

انتخاب یک روش تصفیه مناسب در خصوص پسماند خطرناک نیاز به مطالعه و بررسی اولیه فنی، اقتصادی و زیست محیطی دقیقی دارد. خصوصیات ماده زاید، کمیت و کیفیت مورد نیاز پس از تصفیه، توانایی روش‌های مورد نظر برای کاهش زایدات تولیدی و ارزیابی کل عملکرد سیستم از جمله مواد مورد توجه در انتخاب یک روش مناسب می‌باشند. به طور کلی روش‌های تصفیه پسماندهای خطرناک را می‌توان به روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی (بیولوژیکی) تقسیم بندی نمود. از جمله روش‌های فیزیکی می‌توان متعادل سازی، ته نشینی، شناورسازی، صاف سازی، سیال فوق بحرانی و جامدسازی و تثبیت را نام برد. روش‌های معمول شیمیایی شامل خنثی سازی، انعقاد و لخته سازی، اکسیداسیون شیمیایی، ترسیب شیمیایی و فرآیندهای حرارتی می‌باشد. از جمله متداول ترین روش‌های زیست پالایی برای تصفیه پسماندهای خطرناک و پالایش سایت‌های آلوده می‌توان لندفارمینگ، بیوراکتورها، کمپوستینگ و گیاه پالایی را نام برد.

۵-٦- دفع پسماندهای خطرناک

دفع پسماندهای خطرناک، آخرین مرحله از مدیریت این مواد می‌باشد. مهم ترین روش‌های دفع که امروزه بیشتر مورد توجه هستند، عبارتند از: روش دفن در زمین، روش دفع سطحی، روش سوزاندن، روش تزریق به چاه‌های عمیق. بر اساس قانون RCRA، روش‌های مختلف دفع پسماندهای خطرناک در زمین به شرح زیر تقسیم بندی شده است:

الف)دفن بهداشتی

ب) دفن در مخازن سطحی

ج) تزریق در چاه‌های عمیق

د) دفع از طریق اختلاط با خاک

ه) دفع در معادن و گنبدهای نمکی

و) دفع بر روی زمین

الف) دفن بهداشتی

امروزه پس از گذشت سال‌ها از عمر دفن بهداشتی، علیرغم وجود روش‌های دیگر دفع، این روش هنوز هم به عنوان یکی از مهم ترین روش‌های دفع انواع پسماندهای جامد مطرح بوده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین در سال‌های اخیر از این روش برای دفع برخی از پسماندهای صنعتی نیز استفاده گردیده است. لازم به ذکر است که روش دفن برای تمام پسماندهای خطرناک مناسب نیست. به عنوان مثال نمی‌توان از این روش برای پسماندهای خطرناک مایع، پسماندهای مایع قابل اشتعال و فرار، پسماندهای خطرناک روغنی، مواد زیاد حاوی اکسید کننده‌ها یا احیا کننده‌های قوی، مواد آلی هالوژنه مقاوم، مواد منفجره، مواد فرار با سمیت بالا و موادی که در اثر ترکیب با آب و هوا تولید اسید یا بازهای قوی و یا گازهای سمی می‌نمایند، استفاده نمود. با این وجود در برخی موارد با انجام عملیات پیش تصفیه بر روی برخی از این مواد، می‌توان آنها را در محل مناسب دفن نمود.

در دفن بهداشتی پسماندهای خطرناک مراحلی چون انتخاب زمین مناسب، طراحی محل دفن، انجام عملیات اجرایی، پایش و حتی کنترل دقیق محل دفن پس از تکمیل عملیات باید مورد توجه قرار گیرد.

ب) دفع در مخازن سطحی

یکی از روش‌های دفع پسماندهای خطرناک، استفاده از مخازن سطحی می‌باشد. مخازن سطحی، حوضچه‌های نگهداری موقتی هستند که پسماندهای مایع یا پسماندهای جامدی که حاوی مقدار قابل توجهی مایع می‌باشند را در خود جای می‌دهند.

مخازن سطحی مورد استفاده در صنایع به دو دسته "مخازن سطحی جهت دفع" و "مخازن سطحی جهت نگهداری و تصفیه پسماندهای خطرناک" تقسیم بندی می‌شوند. در این سیستم، در طی نگهداری پسماندها، عمل تبخیر و کاهش مواد فرار اتفاق افتاده و نشت پسماندهای مایع از این مخازن، مهم ترین تهدید برای آب‌های زیر زمینی محسوب می‌شود. از طرفی انتشار ترکیبات فرار از سطح این مخازن می‌تواند باعث آلودگی هوای منطقه شود. سرریز پسماندها از قسمت فوقانی مخزن و دیواره‌های کناری آن نیز می‌تواند تهدیدی برای آب‌های سطحی به حساب آید. بنابراین جهت جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی توسط این مخازن استفاده از سیستم پوشش غیر قابل نفوذ در کف و جداره مخزن لازم و ضروری می‌باشد. همچنین این مخازن باید مجهز به سیستم شناسایی، جمع آوری و حذف شیرابه باشند. در این مورد انتشار انواع ترکیبات فرار را نیز می‌توان به کمک سرپوش شناور کنترل نمود. این سرپوش‌های شناور شامل یک پوشش مصنوعی بوده که به صورت یک تکه با مهار مناسب در طرفین و شناورهایی به منظور جلوگیری از غوطه ور شدن بر روی مخزن قرار داده می‌شود.

از مخازن سطحی جهت جمع آوری سیالات تولیدی در صنایع نفت و گاز، صنایع غذایی، شیمیایی، چوب و کاغذ، لجن‌های حاصل از تصفیه خانه‌های فاضلاب شهری و تصفیه فاضلاب در سال‌های اخیر به وفور استفاده شده است. این نوع مخازن بیشتر جهت تصفیه پسماندهای خطرناک مورد استفاده قرار گرفته و عملیات تصفیه که عموماً در این مخازن انجام می‌گیرد، شامل فرآیندهای خنثی سازی، هضم هوازی یا بی هوازی، تنظیم pH و ته نشینی می‌باشد. استفاده از این سیستم باید با احتیاطات لازم، در نظر گرفتن شرایط اقلیمی، ویژگی‌های آب و خاک

منطقه و در نظر گرفتن قوانین موجود در هر کشور همراه باشد.

ج) دفع در معادن و گنبدهای نمکی

استفاده از فضاهای معدنی برای نگهداری و دفع پسماندهای خطرناک، صرف نظر از این که معدن برای استخراج مواد معدنی ایجاد شده یا خیر، می‌تواند برای نگهداری و دفع این مواد یک روش اقتصادی و مناسب به حساب آید. معدن انتخابی می‌تواند یک معدن معمولی و یا فضایی باشد که در بستر یا گنبدهای نمکی ایجاد شده است. استفاده از فضای داخل معادن برای نگهداری و دفع مواد خطرناک دارای سابقهٔ طولانی در جوامع صنعتی می‌باشد. به عنوان نمونه صنایع نفت به طور موفقیت آمیزی از این روش برای نگهداری نفت خام و محصولات آن در طی ۴۰ سال اخیر استفاده نموده اند.

دفع پسماندهای خطرناک در معادن به دو روش دفع در معادن معمولی و دفن در معادن محلولی انجام می‌شود. روش‌های اخیر برای طیف گسترده ای از پسماندهای خطرناک، قابل استفاده بوده و از نظر اقتصادی نیز با صرفه می‌باشند. معادن معمولی می‌توانند پسماندهای خشک غیر آتش زا و غیر انفجاری را نگهداری نمایند. معادن محلولی نیز می‌توانند مایعات غیرواکنشی مایع و دوغابی را در خود جای دهند.

د) دفع بر روی زمین

در برخی مناطق پسماندهای خطرناک را می‌توان با رعایت شرایط زیست محیطی و با در نظر گرفتن قوانین موجود در روی سطح زمین دفع نمود. این مواد که شامل خاکسترها، لجن ها، نمک ها، خاک‌های آلوده و مایعات می‌باشند را می‌توان به مدت طولانی در روی سطح زمین نگهداری نمود. دفن پسماندهای خطرناک در داخل زمین معمولاً باعث ایجاد شیرابه در مرکز دفن گردیده که باید با استفاده از سیستم زهکشی مناسب جمع آوری شود. در اکثر موارد، نفوذ آب‌های سطحی باعث افزایش دبی شیرابه تولیدی می‌گردد. با استفاده از روش دفع پسماندهای در روی سطح زمین می‌توان از نفوذ آب‌های سطحی به داخل توده پسماند جلوگیری نمود که این امر باعث کاهش تولید شیرابه در مقایسه با روش دفن عمقی می‌گردد. پسماندهای خطرناک در صورتی که خشک و دارای یک لایه پوشش ضد آب نیز باشند، شیرابه کمی تولید خواهند نمود و در نتیجه احتمال آلودگی آب‌های سطحی نیز کمتر خواهد بود.

دو سیستم که معمولاً جهت دفع پسماندهای خطرناک در روی زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل سیستم نگهداری در انبار و سیستم نگهداری پسماندها به صورت توده در روی سطح زمین می‌باشد. استفاده از سیستم اول، بیشتر برای نگهداری پسماندهای خطرناک در یک مدت زمان کوتاه (حدود ۱۰ تا ۲۰ سال) بوده که هزینه زیادی نیز در بر دارد. اما نگهداری پسماندها به صورت توده، یک روش بلند مدت می‌باشد. در این روش کف محل نگهداری به صورت شیب دار ساخته شده و معمولاً یک لایه پوشش با امکان نفوذپذیری کم، جهت جمع آوری اولیه شیرابه پیش بینی می‌گردد. علاوه بر آن ممکن است لایه دیگری از پوشش به عنوان سیستم دوم جمع آوری شیرابه و سیستم مشخص کننده نشتی در زیر پوشش اول قرار داده شود.

ه) دفع از طریق اختلاط با خاک

اختلاط با خاک (تصفیه به وسیله زمین) نیز یکی دیگر از روش‌های دفع و تصفیه برخی پسماندهای صنعتی است که باید با در نظر گرفتن کلیه تمهیدات زیست محیطی و شرایط محیطی مورد استفاده قرار گیرد. در این روش پسماندها با خاک سطحی مخلوط شده و در اثر مرور زمان، تخریب یا تغییر شیمیایی مورد نظر رخ می‌دهد. بر خلاف سایر روش‌های دفع نظیر دفن در داخل زمین که در آن پسماندها در سلول‌هایی در زیر زمین جای می‌گیرند، در این روش پسماندها با خاک سطح زمین مخلوط شده و در اثر واکنش‌های هوازی، ترکیبات آلی موجود در پسماندهای خطرناک تجزیه می‌گردند. جهت حفظ محیط زیست و منابع آب، مدیریت مناسب منطقه دفع و پایش آن از نکات کلیدی این روش به حساب می‌آید. بر اساس گزارشات منتشره توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، صنایع نفت و پتروشیمی از بزرگ ترین صنایعی می‌باشند که از این روش دفع استفاده می‌نمایند. در این روش تجزیه کامل ماده خطرناک، امری لازم و ضروری بوده و هم چنین پایش محل دفع قبل و بعد از تصفیه، نیز الزامی است. در حال حاضر بسیاری از پسماندهای صنعتی که در پسماندها سوزانده شده و یا توسط روش‌های دیگر دفع می‌گردند را می‌توان توسط این روش دفع نمود. در این روش، خاک به عنوان یک بستر تصفیه کننده مؤثر برای بسیاری از پسماندهای خطرناک محسوب می‌گردد.

و) دفع در چاه‌های عمیق

تزریق پسماندها در چاه‌های عمیق نیز یکی دیگر از روش‌های دفع پسماندها بوده، که در سالیان اخیر رشد چشمگیری داشته است. به طور کلی توسط این روش، پسماندها در عمق مناسبی از سطح زمین که دارای یک لایه غیر قابل نفوذ بوده و عاری از منابع آب‌های شیرین می‌باشد، قرار می‌گیرند. در این روش در صورتی که طراحی مناسبی برای دفع پسماندها صورت پذیرد، میزان ریسک برای انسان و محیط زیست به حداقل ممکن کاهش می‌یابد. مهم ترین مسئله زیست محیطی در دفع پسماندها در چاه‌های عمیق، مسئله آلودگی آب‌های شیرین زیرزمینی بوده که جهت پیش گیری از آن قوانین سختی در کشورهای پیشرفته از جمله ایالات متحده آمریکا وضع شده است. بر اساس گزارشات سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، صنایع شیمیایی بزرگ ترین استفاده کننده از این روش جهت دفع پسماندهای خطرناک می‌باشند. باید توجه داشت که تزریق در چاه عمیق تنها یک روش دفع بوده و در آن هیچ گونه تصفیه ای بر روی پسماندها تزریق شده صورت نمی‌پذیرد.

استفاده از چاه به عنوان یک روش دفع پسماندها نیاز به کسب اجازه از مقامات مربوطه و همچنین انجام مطالعات کافی دارد. بدین منظور ابتدا باید مطالعات زمین شناسی انجام و اطلاعات لازم در خصوص لایه‌های مختلف زمین در منطقه جمع آوری گردد. باید توجه داشت که لایه‌های زمین می‌بایست به نحوی باشند که پسماندهای خطرناک در آن محبوس شده و قابلیت حرکت به نقاط دیگر را نداشته باشند. هم چنین منابع آب‌های شیرین باید در فاصله مناسب از این مناطق قرار داشته و زمین از نقطه نظر زمین شناسی فاقد گسل و چین خوردگی باشد.

٦- مدیریت پسماندهای مراکز بهداشتی ـ درمانی

امروزه یکی از ارکان مهم تامین و توسعه اجتماعی، تامین خدمات مناسب بهداشتی ـ درمانی برای آحاد

مردم می‌باشد. انجام فعالیت‌های مختلف در مراکز بهداشتی ـ درمانی توام با تولید حجم قابل توجهی از پسماندها در سطح شهرها و روستاها می‌باشد. پسماندهای مراکز بهداشتی ـ درمانی حدود ۱ تا ۵ درصد پسماندهای شهری را تشکیل می‌دهند. بخش عمده پسماندهای تولیدی در این مراکز مشابه سایر انواع پسماندهای عادی شهری می‌باشد. اما بخش دیگر پسماندهای تولیدی در مراکز بهداشتی ـ درمانی که معمولا درصد کمتری از کل پسماند تولیدی را شامل می‌شود دارای اهمیت بیشتری می‌باشد زیرا این بخش، از مواد زاید خطرناکی مانند مواد عفونت زا، مواد نوک تیز و برنده، مواد شیمیایی خطرناک و مواد رادیو اکتیو تشکیل شده است که در صورت عدم مدیریت صحیح می‌تواند باعث تهدیدهای جدی و اساسی برای بهداشت عمومی و محیط زیست شود.

٦-١- تعریف و خصوصیات پسماند مراقبت‌های بهداشتی

پسماند مراقبت‌های بهداشتی شامل تمام پسماندهای تولید شده در مراکز مراقبت‌های بهداشتی، مراکز تحقیقاتی و آزمایشگاه‌های تشخیص طبی می‌باشد. علاوه بر این، پسماند نشات گرفته از منابع جزئی و پراکنده، از جمله پسماندهای تولید شده در جریان مراقبت‌های بهداشتی انجام شده در خانه (به عنوان مثال دیالیز خانگی، خود تجویزی انسولین) نیز در این تعریف می‌گنجد. حدود ۷۵ الی ۹۰ درصد از پسماندهای تولید شده توسط ارائه دهندگان خدمات مراقبت‌های بهداشتی مشابه پسماندهای خانگی است و معمولا پسماند "غیر خطرناک" یا "پسماند مراقبت‌های بهداشتی عمومی" نامیده می‌شود. این پسماند عمدتا در بخش خدمات اداری، آشپزخانه و خدمات نظافتی و پسماند بسته بندی در مراکز بهداشتی ـ درمانی تولید می‌شود. ۱۰ تا ۲۵ درصد باقی مانده از پسماند مراقبت‌های بهداشتی به عنوان "پسماند خطرناک" در نظر گرفته شده است و ممکن است انواع خطرات زیست محیطی و سلامت را در بر داشته باشد. طبقه بندی پسماند مراقبت‌های بهداشتی خطرناک بر اساس پیشنهاد WHO در **جدول ۲** خلاصه شده است.

٦-٢- منابع تولید پسماند مراقبت‌های بهداشتی

انواع مختلف مراکز مراقبت بهداشتی طبق مقادیر تولید شده آنها، می‌توانند به عنوان منابع اصلی یا فرعی پسماند مراقبت‌های بهداشتی در نظرگرفته شوند. منابع اصلی پسماندهای مراقبت بهداشتی عبارتند از:

بیمارستان ها

بیمارستان دانشگاهی

بیمارستان عمومی

بیمارستان منطقه ای

سایر مراکز مراقبت بهداشتی

- خدمات مراقبت‌های پزشکی اورژانس
- مراکز بهداشت و درمان و داروخانه‌های عمومی

- کلینیک‌های زنان و زایمان
- کلینیک‌های سرپایی
- مراکز دیالیز
- بیمارستان‌ها و موسسات مراقبت بهداشتی طولانی مدت
- مراکزانتقال خون

جدول ۲- طبقه بندی پسماند مراقبت‌های بهداشتی

طبقه بندی پسماند		توصیف و مثال
پسماند خطرناک مراقبت‌های بهداشتی	پسماند نوک تیز	وسایل نوک تیزاستفاده شده و استفاده نشده (به عنوان مثال تزریق زیر جلدی، داخل وریدی یا سایر سوزن ها، سرنگ‌های غیر فعال شده، سرنگ با سوزن متصل به آن، ست‌های تزریق، لوازم جراحی، پیپت ها، چاقوها، تیغه ها، شیشه‌های شکسته
	پسماندهای عفونی	پسماند مشکوک به داشتن عوامل بیماری زا و با خطر انتقال بیماری به عنوان مثال پسماند آلوده به خون و سایر مایعات بدن؛ آزمایشگاه کشت میکروبی؛ پسماندی از جمله فضولات و مواد دیگر که در تماس با بیماران مبتلا به بیماری بسیار عفونی در بخش‌های ایزوله شده می‌باشد)
	پسماند آسیب شناختی، پسماندهای دارویی، پسماند سمیت سلولی	بافت‌های انسانی، اندام یا ترشحات؛ اعضای بدن؛ جنین ها؛ مواد دارویی وفراورده‌های خونی بلا استفاده که منقضی شده ویا دیگر نیاز نیستند؛ یا اقلام آلوده به مواد دارویی و پسماند حاوی مواد سیتوتوکسیک با خواص ژنوتوکسیک (به عنوان مثال پسماندهای حاوی داروهای سیتوستاتیک که اغلب در درمان سرطان استفاده می‌شود؛ مواد شیمیایی ژنوتوکسیک)
	پسماندهای شیمیایی	پسماندهای حاوی مواد شیمیایی (به عنوان مثال معرف‌های آزمایشگاهی، ظاهرکننده فیلم؛ مواد ضد عفونی کننده که منقضی شده و یا دیگرنیاز نمی‌باشند؛ حلال؛ پسماند با محتوای بالای فلزات سنگین، به عنوان مثال باتری؛ دماسنج‌های شکسته و فشارسنج ها)
	پسماندهای رادیواکتیو	پسماندهای حاوی مواد رادیو اکتیو (به عنوان مثال مایعات بلا استفاده از پرتو درمانی و یا تحقیقات آزمایشگاهی؛ ظروف شیشه ای آلوده ؛ بسته و یا کاغذ جاذب؛ ادرار ومدفوع از بیماران درمان شده و یا مورد آزمایش قرار گرفته با رادیونوکلئیدهایی بدون مهر و موم؛ منابع مهر و موم شده)
پسماند عمومی یا غیر خطرناک مراقبت‌های بهداشتی		پسماندی که هیچ خطر خاص بیولوژیکی، شیمیایی، رادیواکتیو و یا فیزیکی در آن مطرح نیست

- خدمات پزشکی نظامی
- بیمارستان‌ها و یا درمانگاه‌های زندان
- مراکز تحقیقاتی و آزمایشگاه‌های مربوطه
- آزمایشگاه‌های پزشکی و زیست پزشکی
- آزمایشگاه‌ها و انستیتوهای بیوتکنولوژی
- مراکز تحقیقاتی پزشکی
- مراکز کالبد شکافی ومرده شوی خانه
- تحقیقات و آزمایش حیوان
- بانک‌های خون و خدمات جمع آوری خون
- خانه‌های سالمندان برای افراد مسن

منابع کوچک و پراکنده تولید برخی از پسماندهای مراقبت بهداشتی، مقادیر و ترکیب متنوع خواهند داشت. این منابع به طور معمول به ندرت پسماندهای سیتوتوکسیک یا رادیواکتیو تولید می‌کنند. معمولا اندام بدن انسان تولید نمی‌کنند و پسماندهای نوک تیز آن عمدتا از سوزن‌های تزریق زیر جلدی تشکیل شده است. منابع فرعی تولید کننده پسماندهای مراقبت بهداشتی عبارتند از:

- موسسات مراقبت بهداشتی کوچک
- پست‌های کمک‌های اولیه و بهداری ها
- مطب پزشکان
- کلینیک‌های دندانپزشکی
- طب سوزنی
- فیزیوتراپی ها
- موسسات مراقبت بهداشتی تخصصی و انستیتوهای با تولید پسماند کم
- بهداری‌های خانگی
- بیمارستان‌های روانی
- مراکز نگهداری افراد معلول
- فعالیت‌های مرتبط با تزریقات داخل وریدی یا زیر جلدی
- لوازم آرایشی و بهداشتی گوشه تیز و خال کوبی
- مصرف کنندگان داروهای قاچاق و تبادلات سوزنی
- خدمات مراسم تشییع جنازه
- خدمات آمبولانس
- درمان خانگی

٦-٣- مخاطرات مرتبط با پسماند مراقبت‌های بهداشتی

ترکیب عمده پسماند مراقبت‌های بهداشتی غیر خطرناک شبیه به پسماند شهری است و خطر بالاتری از پسماند تولید شده در خانه‌ها برای آنها مطرح نمی‌باشد. خطر اصلی ناشی از پسماندهای مراکز بهداشتی درمانی مربوط به درصد کم پسماندهای خطرناک موجود در آن می‌باشد. افراد، بهداشت عمومی و محیط زیست در معرض خطرات بالقوه ذاتی موجود در پسماند مراقبت‌های بهداشتی می‌باشند. بالا رفتن ریسک اغلب ناشی از مدیریت ضعیف پسماندهای نوک تیز می‌باشد و به میزان کمتری ناشی از پسماندهای عفونی، شیمیایی، دارویی و رادیو اکتیو رخ می‌دهد. کشت‌های میکروبی تغلیظ شده ی پاتوژن‌ها و پسماندهای نوک تیز آلوده (به ویژه سوزن‌های تزریق زیر جلدی) احتمالا اقلامی از پسماند می‌باشند که نشان دهنده خطرات بالقوه حاد برای سلامت هستند. در صورت امکان، به حداقل رساندن تولید پسماند بهداشتی خطرناک، بهترین اقدام برای جلوگیری از وقوع خطرات حاصل از پسماند می‌باشند.

٦-٤- مدیریت پسماند مراکز بهداشتی درمانی

۶-۴-۱- سلسله مراتب مدیریت پسماند

حفظ سلامت عمومی از طریق مدیریت پسماند می‌تواند از طریق روشهای مختلفی حاصل شود. سلسله مراتب اولویت دار مدیریت پسماند به ترتیب بر اساس کاهش، استفاده مجدد و بازیافت می‌باشد. بهترین عملکرد در مدیریت پسماند باعث جلوگیری از ایجاد پسماند یا بازیابی آن به بیشترین حد ممکن در مراکز بهداشتی ـ درمانی می‌شود. پسماندی که قابل بازیابی نیست، باید با روش‌های که حداقل ترجیح را دارند مانند تصفیه یا دفع در زمین برای کاهش اثراتی که بر سلامت یا محیط زیست می‌گذارند، مدیریت شود.

۶-۴-۲- تفکیک پسماند مراکز مراقبت بهداشتی

اصول کلی زیر در زمینه تفکیک، ذخیره‌سازی و حمل پسماند باید مورد توجه قرار گیرد:

- پسماند تولیدی در یک مرکز باید براساس پتاسیل خطر و روش دفع، توسط فردی که اقلام پسماند را تولید می‌کند به قسمت‌های مختلفی تقسیم شود.
- مخازن ذخیره جداگانه باید در هر بخش برای اجزای تفکیک شده پسماند در دسترس باشد.
- مخازن ذخیره پسماند باید برچسب گذاری شوند تا به مدیران کمک کند که تولید پسماند را کنترل کنند.
- کارکنان باید از خطرات پسماند اطلاع یابند و روشهای ایمن برای کنترل پسماند را فرا گیرند.

مسئولیت تفکیک صحیح پسماند با کسی است که هر کدام از اقلام پسماند را تولید می‌کند، با هر موقعیت سازمانی که داشته باشد. مدیریت پسماند مسئول است که اطمینان دهد تفکیک حمل و سیستم ذخیره‌سازی مناسبی وجود دارد و تمام کارکنان برای اصلاح روش‌ها متفق باشند.

تفکیک باید توسط تولید کننده پسماند تا حد امکان در نزدیک ترین مکان به محل تولید انجام شود، به این معنی که تفکیک باید در یک بخش درمانی، در بالین، در اتاق عمل یا آزمایشگاه توسط پرستاران، پزشکان و تکنسین‌ها انجام شود. اگر طبقه بندی پسماند قطعی نبود، بنابر احتیاط باید در یک مخزن ذخیره که برای پسماند

خطرناک استفاده می‌شود، قرار داده شود. ساده ترین سیستم تفکیک جداسازی تمام پسماندهای خطرناک از مقادیر بالاتر پسماندهای عادی غیرخطرناک است. گرچه برای فراهم کردن حداقل سطح ایمنی برای کارکنان و بیماران، بخش پسماند خطرناک عموما به دو بخش تقسیم می‌شو: وسایل تیز استفاده شده و آیتم‌های بالقوه عفونی که بخش اعظم آنها مواد لوله ها، باندها، مواد دفعی پزشکی، سواب‌ها و دستمال‌های کاغذی هستند. در نتیجه، تفکیک پسماند عادی غیرخطرناک، بالقوه عفونی و مواد تیز استفاده شده به مخازن ذخیره جداگانه پسماند اغلب به سیستم سه سطله اشاره دارد. انواع دیگر مخازن ذخیره می‌توانند برای انواع دیگری از پسماند مثل پسماند شیمیایی و دارویی استفاده شود.

۶-۴-۳- ذخیره‌سازی پسماند

سیستم تفکیک مشابهی باید در سراسر یک کشور اجباری و اجرا شود. بسیاری از کشورها قوانین ملی مربوط به خود را دارند، در جاهایی که قوانینی در این خصوص وجود ندارند، برنامه تفکیک سازمان جهانی بهداشت در دسترس می‌باشد. **جدول ۳** کدگذاری رنگی برای کادر پزشکی و کارکنان بیمارستان، قرار دادن صحیح پسماند در مخزن ذخیره مربوطه را آسانتر می‌کند. همچنین کدگذاری رنگی برای حفظ تفکیک پسماند در طول حمل، ذخیره‌سازی، تصفیه و دفع، کمک شایانی می‌کند.

کیسه‌های پسماند و مخازن ذخیره وسایل تیز نباید بیش از سه چهارم پر شده باشند. به محض اینکه به این حد رسید، آنها باید با یک برچسب یا نخ پلاستیکی بسته شوند. کیسه‌های جایگزین یا مخازن ذخیره باید در هر مکان جمع آوری پسماند در دسترس باشند تا جایگزین کیسه‌های پر شده، شوند. مخازن ذخیره و کیسه‌های پسماند باید با تاریخ، نوع و نقطه تولید پسماند برچسب گذاری شوند و تا مرحله دفن پیگیری شوند. تاحد امکان وزن نیز باید به طور مداوم ثبت شود.

پسماند شیمیایی و دارویی متنوع باید جداگانه تفکیک و جمع آوری شوند. این گروه شامل جیوه، باتری ها، پسماندهای محتوی کادمیوم، مواد فتوشیمیایی، معرف‌های آزمایشگاهی، داروهای سیتوتوکسیک و دیگر داروها می‌باشد. همه این پسماندها باید با نوع پسماند و نام مواد شیمیایی اصلی به وضوح برچسب گذاری شوند. نصب برچسب خطر بر مواد شیمیایی خورنده، اشتعال پذیر، منفجره یا سمی ضروری می‌باشد. پسماندهای مایع شیمیایی نباید هرگز مخلوط شوند یا به دور ریخته شوند. این مواد باید در مخازن ذخیره محکم ضد نشت ذخیره شوند.

مخازن ذخیره پسماند ممکن است با شکل‌ها و اندازه‌های مختلفی عرضه شوند و از مواد مختلفی ساخته شده باشند. خیلی از مخازن ذخیره مدرن برای سیستم‌های خودکار طراحی شده‌اند که محتوای آنها در یک سیستم دفع پسماند تخلیه می‌شود و آنها را به طور مکانیکی شستشو و گندزدایی می‌کند. در تمام موارد، مخازن باید محکم و ضد نشت و (بجز برای مخازن ذخیره وسایل تیز) با یک کیسه پلاستیک محکم اندود شوند. مخازن ذخیره باید درپوشی داشته باشند، که قابل جداسازی با دست یا ترجیحا توسط پدال پایی باشد. مخازن ذخیره و کیسه‌ها باید رنگی متناسب با پسماند دریافتی داشته باشند و به طور واضح برچسب گذاری شوند. وسایل تیز آلوده و غیرآلوده باید در یک مخزن ذخیره ضد سوراخ و نفوذ ناپذیری که باز کردن آن پس از بسته بندی دشوار باشد، جمع آوری شود. مخازن ذخیره وسایل نوک تیز ممکن است قابل دفع باشند یا برای گندزدایی و استفاده مجدد

طراحی شده باشند.

۶-۴-۴- جمع آوری پسماند در مرکز مراقبت بهداشتی

زمانهای جمع آوری باید از قبل تعیین شده و متناسب با مقدار پسماند تولید شده در هر بخش باشد. تواتر جمع آوری باید مطابق با الگوی تولید پسماند در طول روز باشد. پسماند عادی نباید همزمان با سایر پسماندهای خطرناک مانند پسماند عفونی جمع آوری شوند. حمل داخلی باید در اوقات خلوت و کم تراکم انجام شود. باتوجه به طراحی ساختمانی مرکز مراقبت بهداشتی، در حمل داخلی پسماند باید تا حد امکان از راه پله یا آسانسورها مجزا و مخصوص حمل پسماند در طبقات مختلف استفاده کرد. مسیرهای متداول حمل و زمان‌های جمع آوری باید تعیین شده و قابل اعتماد باشند. کارکنان حمل و نقل باید از تجهیزات حفاظت شخصی، دستکش، کفش‌های ایمنی و ماسک مناسب استفاده کنند.

جدول ۳- برنامه تکفیک توصیه شده توسط WHO

نوع مخزن ذخیره	رنگ مخزن ذخیره و علامت‌گذاری	نوع پسماند
کیسه ضدچکه محکم یا مخزن ذخیره ای که قابل اتوکلاو کردن باشد.	بسیار عفونی، زرد علامت‌گذاری شود، با نشانه خطر بیولوژیکی	پسماند بسیار عفونی
پلاستیک یا مخزن ذخیره ضد نشت	زرد با علامت خطر بیولوژیکی	پسماندهای پاتوژنیک و آناتومیک و دیگر پسماندهای عفونی
مخزن ذخیره ضد سوراخ	زرد , با علامت تیز و برنده علامت‌گذاری شود با علامت خطر بیولوژیکی	وسایل تیز
کیسه پلاستیکی یا مخزن ذخیره صلب	قهوه، علامت‌گذاری با نشانه خطر مناسب	پسماند شیمیایی و دارویی
جعبه سربی	با نشانه رادیواکتیو برچسب گذاری شود	پسماند رادیواکتیو
کیسه پلاستیکی	سیاه	پسماند عادی بهداشتی

۶-۴-۵- ذخیره‌سازی مرکزی پسماند مراقبت‌های بهداشتی

مناطق ذخیره مرکزی، مکان‌هایی در داخل یک مرکز مراقبت بهداشتی هستند که انواع مختلف پسماند برای نگهداری ایمن تا وقتی که تصفیه یا به خارج حمل شوند، در آن نگهداری شود. توصیه‌های معمول برای منطقه ذخیره پسماند عبارتند از:

- یک کف باید ضد سوراخ، محکم با زهکشی خوب باشد و به راحتی تمیز و گندزدایی شود.

- در بردارنده امکانات لازم برای جدا نگهداشتن پسماند عادی از عفونی و دیگر پسماندهای خطرناک
- یک منبع آب برای اهداف پاکسازی و تنظیف
- دسترسی آسان برای کارکنانی که موظف به کنترل پسماند هستند، داشته باشد.
- قابل قفل سازی برای جلوگیری از دسترسی افراد غیر مجاز باشد.
- دسترسی آسان برای وسایل نقلیه جمع آوری پسماند داشته باشد.
- از تابش آفتاب حفاظت شود.
- غیرقابل دسترس برای حیوانات، حشرات و پرنده‌ها باشد.
- نور کافی داشته باشد و دست کم تهویه غیرفعال داشته باشند.
- در انبار مواد غذایی تازه و مناطق تهیه غذا واقع نباشد.
- بستر قابل شستشو با جریان رو به بالا داشته باشد و صابون در دسترس کارکنان باشد.
- مرتبا تمیز شود (حداقل یکبار در هفته)
- تجهیزات پایش و کنترل نشت آلودگی داشته باشد.
- متناسب با حجم‌های پسماند تولیدی در مرکز مراقبت بهداشتی باشد.

۶-۴-۶- روش‌های تصفیه و دفع پسماند مراقبت‌های بهداشتی

انتخاب سیستم تصفیه به عوامل مختلفی مانند خصوصیات پسماند، کمیت پسماند برای تصفیه و دفع، قابلیت مراکز بهداشتی درمانی برای کنترل کمیت پسماند، انواع پسماند برای تصفیه و دفع، قابلیت‌ها و الزامات فن آوری، قابلیت دسترسی محلی به گزینه‌های تصفیه و فن آوری، ظرفیت سیستم، بازده تصفیه، کاهش جرم و حجم، الزامات نصب و راه اندازی، فضای در دسترس برای تجهیزات، الزامات زیرساختی، الزامات بهره برداری و نگهداری، مهارت‌های مورد نیاز برای کار با فن آوری، فاکتورهای زیست محیطی و ایمنی، انتشارات زیست محیطی، تعیین مکان و محوطه‌های محل تصفیه و مراکز دفع، ملاحظات ایمنی و بهداشت حرفه‌ای، پذیرش عموم، گزینه‌های در دسترس برای دفع نهایی، ملاحظات هزینه مانند هزینه ی خرید تجهیزات، هزینه‌های حمل و نقل و گمرکی، هزینه‌های نصب و راه اندازی، هزینه‌های عملیاتی سالیانه و هزینه ی حمل و نقل و دفع پسماند تصفیه شده بستگی دارد.

پنج فرآیند اساسی جهت تصفیه ی اجزای خطرناک پسماند مراقبت بهداشتی، به ویژه پسماندهای نوک تیز، عفونی وپاتولوژیک در حال حاضر مطرح می‌باشد: حرارتی، شیمیایی، تشعشعی، بیولوژیکی و مکانیکی.

۶-۴-۶-۱- فرآیندهای حرارتی

این فرایندها جهت از بین بردن عوامل بیماریزا در پسماند به گرما (انرژی حرارتی) متکی هستند. این فرایندها اغلب بصورت مراکز تصفیه در سراسر جهان استفاده می‌شوند. این فرایندها می‌توانند به انواع با حرارت کم و حرارت بالا تقسیم شوند.

این تقسیم بندی بخاطر تفاوت‌های قابل توجه در واکنش‌های ترموشیمیایی و تغییرات فیزیکی انجام

گرفته در پسماندها در طول تصفیه در انواع مختلف تجهیزات، مفید می‌باشد. این تفاوت ها، خصوصیات انتشارات اتمسفری مختلف را ارائه می‌دهد.

فرآیندهای حرارتی با گرمای کمتر، از انرژی حرارتی در دماهای به اندازه کافی بالا جهت از بین بردن میکروارگانیسم‌ها استفاده می‌کنند، اما برای احتراق و یا پیرولیز پسماند کافی نیست. متداول ترین پیرولیز، تجزیه حرارتی یک ماده با استفاده از گرما در غیاب اکسیژن می‌باشد. پیرولیز، حالت خاصی از شکست حرارتی است که بیشتر برای مواد آلی استفاده می‌شود. این فرایند در دماهای بالا اتفاق می‌افتد اما واکنش‌های با اکسیژن را شامل نمی‌شود. در عمل، داشتن یک فضای کامل با اکسیژن آزاد دشوار است، بنابراین اکسیداسیون در بعضی جاها اتفاق می‌افتد.

به طور کلی تکنولوژی‌های حرارتی با گرمای پایین بین ۱۰۰ و ۱۸۰ درجه سانتیگراد راهبری می‌شوند. فرآیندهای حرارت پایین در محل در هر دو محیطهای گرم خشک یا مرطوب صورت می‌گیرند. تصفیه ی حرارتی مرطوب شامل استفاده از بخار آب جهت گندزدایی پسماند در یک اتوکلاو و یا سیستم تصفیه بر اساس بخار آب می‌باشد.

تصفیه ی مایکروویو که اساسا یک فرآیند حرارتی مرطوب است، به دلیل گندزدایی از طریق عمل گرمای مرطوب (آب و بخار داغ) تولید شده توسط انرژی مایکروویو رخ می‌دهد. فرآیندهای گرمای خشک، استفاده از هوای گرم بدون آب یا بخار آب اضافی می‌باشد. در سیستم‌های گرمای خشک، پسماند توسط انتقال گرما و یا تابش حرارتی با استفاده از مادون قرمز و یا هیترهای مقاوم حرارت داده می‌شود.

۶-۴-۶-۲-فرایندهای شیمیایی

روش‌های تصفیه ی شیمیایی شامل استفاده از گندزداهایی مانند دی اکسیدکلر محلول، سفید کننده (هیپوکلریت سدیم)، پراستیک اسید، آهک محلول، گاز ازن و یا مواد شیمیایی غیر آلی خشک(به عنوان مثال پودر اکسید کلسیم)می باشد.

فرایندهای شیمیایی اغلب شامل خرد کردن، کوبیدن و یا مخلوط کردن جهت افزایش در معرض قرار گرفتن پسماند با عامل شیمیایی می‌باشد. در سیستم‌های مایع، پسماند ممکن است جهت حذف و بازیافت مواد گندزدا از یک قسمت آبگیری عبور داده شود. علاوه بر گندزداهای شیمیایی، پسماندهای نوک تیز، خون و یا دیگر مایعات بدن می‌توانند به صورت کپسوله در آورده شده و در یک محفظه جامد قبل از دفع جامد و سخت شوند. مثال دیگر از یک فرایند شیمیایی سیستمی است که جهت هضم بافت ها، پسماندهای پاتولوژیک، اعضای آناتومیک و لاشه‌های حیوانات از مواد قلیایی در مخازن فولاد ضد زنگ گرم استفاده می‌شود.

۶-۴-۶-۳- پرتوتابی

تصفیه ی تشعشعی شامل استفاده از تشعشعات پرتوهای الکترونی، کبالت ۶۰ و یا منابع فرا بنفش می‌باشد. این فن آوری مستلزم حفاظت جهت جلوگیری از افزایش مواجهات شغلی ناشی از تشعشع الکترومغناطیسی می‌باشند. اثر تخریبی پاتوژن به دوز جذب شده به توده ی پسماند بستگی دارد. پرتوهای

الکترونی دارای قدرت نفوذ کافی جهت نفوذ به کیسه‌ها و ظروف پسماند می‌باشند. اشعه فرابنفش ضد باکتری، جهت از بین بردن میکروارگانیسم‌های منتقله از راه هوا به عنوان یک مکمل برای فن آوری‌های دیگر تصفیه، استفاده شده است، اما قادر به نفوذ کردن به کیسه‌های پسماند نیست.

۶-۴-۶-۴- فرآیندهای بیولوژیکی

این فرآیندها در ارگانیسم‌های طبیعی اتفاق می‌افتد اما به طور خاص در تصفیه پسماندهای مراکز بهداشتی ـ درمانی، جهت تجزیه مواد آلی به کار برده می‌شود. برخی سیستم‌های تصفیه بیولوژیک از آنزیم‌ها جهت افزایش سرعت تخریب مواد آلی محتوی عوامل بیماری زا استفاده می‌کنند. کمپوست و ورمی کمپوست فرآیندهای بیولویکی هستند که به طور موفقیت آمیزی جهت تجزیه پسماندهای آشپزخانه و رستوران‌ها و کافه‌ها به کار برده شده است. تجزیه طبیعی پسماندهای پاتولوژیک از طریق دفن مثال دیگری از فرآیندهای بیولوژیک است.

۶-۴-۶-۵- روش‌های مکانیکی

این روش‌ها شامل خرد کردن، آسیاب کردن، اختلاط و متراکم سازی است که جهت کاهش حجم پسماند استفاده می‌شوند اما تاثیری بر نابودی میکروارگانیسم‌ها ندارد. در بسیاری از موارد از این روش‌های مکانیکی جهت پیش تصفیه یا تکمیل فرآیند تصفیه استفاده می‌شود. از خرد کردن جهت خرد کردن اجسام نوک تیز و برنده نیز استفاده شده است. در فرایندهای تصفیه شیمیایی و حرارتی، آمایش مکانیکی مانند خرد کردن باعث افزایش سرعت انتقال جرم و تسریع واکنش می‌شود.

منابع

1. US EPA, Defining Hazardous Waste: Listed, Characteristic and Mixed-radiological-wastes, United States Environmental Protection Agency, 2018. Available from: https://www.epa.gov/hw/defining-hazardous-waste-listed-characteristic-and-mixed-radiological-wastes, [Last accessed on 2019 March 19]

2. US EPA, Hazardous Waste Test Methods / SW-846, United States Environmental Protection Agency, 2018. Available from: https://www.epa.gov/hw-sw846 [Last accessed on 2019 March 19]

3. Rc.majlis, Waste Management Act, Islamic Parliament Research Center Of The Islamic Republic Of IRAN, Available from: http://rc.majlis.ir/fa/law/show/94060, [Last accessed on 2019 March 19]

4. Lag- Gera , Buckingham P., Evans J., Hazardous waste management, McGraw-Hill, 2004

5. Brunner, C.R,. Hazardous Waste Incineration, McGraw-Hill, 1993

6. 8.Blackman W.C., Basic Hazardous Waste Management, 3rd Edition, Lewis publisher, USA,2001.

7. Pichtel J., waste management practices, CRC Press2005

8. Prüss A., E. Giroult, P. Rushbrook, Safe management of wastes from health-care activities, World Health Organization 2014.