۱۵
Waste Management

مدیریت پسماند

فصلنامه آموزشی - پژوهشی | شماره ۱۵ | پاییز ۱۳۹۳

- مقایسه کارایی کمپوست آلی، ورمی کمپوست و کمپوست گرانوله کوکردی بر عملکرد خیار در خنی
- بررسی میزان پالایش کادمیوم از پسماندهای محیط آلوده توسط گیاه تاجریزی
- کاربرد پسماند کشاورزی (پوست مرکبات) در حذف کادمیوم و گروم از محیط‌های آبی: تعیین ایزوترم‌های جذب
- ارزیابی و مقایسهٔ روش‌های تولید کمپوست از پس‌مانده‌های غذایی و تاثیر آنها بر رشد و عملکرد ذرت دانه ای
- تولید کمپوست از پسماندهای آلی شهری و مواد مخرب محیط زیست با استفاده از قناوری هوادهی پشته‌ای فعال و غیرفعال
- بررسی حرکت و آبشویی فلزات سنگین در خاک‌های نیمارشده با پسماند شهری
- در تکمیل خط تکنیک صنعتی پسماند در شیراز بررسی صرفهٔ اقتصادی RDF احداث خط تولید سوخت
- مروری بر روش‌های نوین جداسازی فیزیکی، تکنیک و بازیافت پسماندهای الکترونیک
- بررسی وضعیت PR در جمهوری اسلامی ایران
- جایگاه تاسیسات پردازش بیولوژیکی - مکانیکی در سیستم مدیریت پسماند
- تبدیل زائدات پلاستیک به هیدروکربن‌های مایع انرژی
- تعاونی‌های پسماندگردی در کشورهای در حال توسعه

گزیده‌ای از پیام مقام معظم رهبری به مناسبت برگزاری همایش حقوق محیط زیست ایران

... در قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران، حفاظت از محیط زیست برای همه نسل‌ها وظیفه‌ای عمومی تلقی گردیده و هرگونه تخریب آن در فعالیت‌های اقتصادی ممنوع اعلام شده است. هماهنگی قوا که حاکی از عزم ملی بر تامین محیط زیست سالم و جلوگیری از تخریب منابع طبیعی است از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شایسته است مسؤولان محترم برای ارتقاء سطح آگاهی و حساسیت عمومی در رابطه با محیط زیست تلاش و خلأهای قانونی را پر کنند و دستگاه‌های مسؤول با دقت نسبت به اجرای قوانین مراقبت نمایند و با متخلفان به طور قاطع برخورد کنند و قوه قضائیه با ساز و کار مناسب به تخلفات زیست محیطی رسیدگی کند ...

مدیریت پسماند

فصلنامه آموزشی - پژوهشی | شماره ۱۵ | پاییز ۱۳۹۳

محور اصلی:

پردازش بیولوژیکی پسماندها

صاحب‌امتیاز	وزارت کشور، سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور
مدیرمسئول	هوشنگ خندان‌دل
زیر نظر	مرکز مطالعات برنامه‌ریزی شهری و روستایی معاونت امور شهرداری‌ها
سردبیر	مسعود احمدی
هیئت تحریریه	سلمان سامی، روح‌الله محمود حلمی هاشم نوروزی فرد، زهره ترحمی مهیار صفاعلی‌اصغر حبیب‌پور
همکاران این شماره	حبیب روح‌نواز، محمد طولابی، عارف موسوی
مدیر اجرایی	سلمان سامی
طراحی	دنیای ایده‌های تابان (دات)
عکس روی جلد	مرکز پردازش پسماندهای آلی wilmington
ناشر	سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور
نشانی	تهران، بلوار کشاورز، ابتدای خیابان شهید نادری، پلاک ۱۷
کد پستی	مرکز مطالعات برنامه‌ریزی شهری و روستایی ۱۴۱۶۶۱۳۳۶۶
تلفن	۶۳۹۰۲۰۵۰-۴ ۶۳۹۰۱۰۱۴
نمابر	۶۳۹۰۱۳۱۴
رایانامه	wm.journal@yahoo.com
وب‌گاه	http://www.imo.org.ir

سخن آغازین		۲
مقالات	۱. مقایسه کارایی کمپوست آلی، ورمی کمپوست و کمپوست گرانوله گوگردی بر عملکرد خیار درختی ... علیرضا صفاری	۳
	۲. بررسی میزان پالایش کادمیوم از پسماندهای محیط آلوده ... وحید شهیدی زندی	۶
	۳. کاربرد پسماند کشاورزی (پوست مرکبات) در حذف کادمیوم و کروم از محیط‌های آبی: تعیین ایزوترم‌های جذب ... محمدعلی زرابی	۱۲
	۴. ارزیابی و مقایسهٔ روش‌های تولید کمپوست از پس‌مانده‌های غذایی و تاثیر آنها بر رشد و عملکرد ذرت دانه ای ... محسن شاکرگزار دارابی	۱۸
	۵. تولید کمپوست از پسماندهای آلی شهری و موادمخرب محیط زیست، با استفاده از فناوری هوادهی پشته‌ای فعال و غیرفعال ... علی کوشکی	۲۲
	۶. بررسی حرکت و آبشویی فلزات سنگین ... الهام اصغرزاده	۲۶
	۷. در تکمیل خط تکنیک صنعتی پسماند در شیراز بررسی صرفهٔ اقتصادی RDF احداث خط تولید سوخت ... علی عبدالهی‌فر	۳۲
	۸. مروری بر روش‌های نوین جداسازی فیزیکی، تفکیک و بازیافت ... رضا دهقان	۴۰
	۹. بررسی وضعیت 4R در جمهوری اسلامی ایران ... امیرحسین محوی	۴۶
	۱۰. جایگاه تأسیسات پردازش بیولوژیکی - مکانیکی ... مهیار صفا	۵۲
گفتگو	تبدیل زائدات پلاستیک به هیدروکربن‌های مایع الرزی ... مهیار صفا	۵۸
یک تجربه	تعاونی‌های پسماندگردی در کشورهای در حال توسعه ... سلمان سامی	۶۲
	گزارش برگزاری سمینار آموزشی مدیریت پسماندهای روستایی ... مهیار صفا	۶۶
آموزش	شیوه‌نامهٔ اجرایی «دفن بهداشتی پسماندهای عادی در سطح روستاهای کشور» ...	۷۰
قانون	دستورالعمل مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست ایستگاه‌های انتقال پسماند ...	۷۱
	برنامهٔ زیست محیطی سازمان ملل متحد ... زهره ترحمی	۷۲
معرفی سایت	آموزش برای عدم تولید پسماند ...	۷۳
معرفی کتاب	خاکچال مهندسی پسماند ... محمد طولابی	۷۴

سخن آغـــازین

امـروزه، رشـد روز افزون جمعیـت، مصرف گرایی جهت افزایش رفاه و بسـیاری از عوامل دیگر، موجب افزایش چشـمگیر تولید پسـماند نسـبت به گذشته شده است. لذا تنها آنکا به دفن پسـماند بدون توجه به پردازش آن، پاسخگو نبوده و به علاوه موجب هدر رفتن بخش زیادی از منابع می گردد. امروزه پردازش پسـماند، یکی از اصلی ترین عناصر موظف در مدیریت جامع پسـماند بوده و در هیچ یک از کشـورهای پیشرفته و توسـعه یافته، سیستم مدیریت پسماند بدون پردازش، مفهومی ندارد. در عین حال این امر در کشورهای در حال توسعه، علی رغم تلاش‌های صورت گرفته تاکنون، کمتر از بسیاری از کشورهای توسعه یافته مورد توجه قرار گرفته و این کشورها غالباً فاقد سیستم پردازش منسجم و یکپارچه می باشند.

پردازش و بازیافت، یکی از عناصر موظف چرخه‌ی سرنوشـت پسـماند می باشـد و به هر اقدامی که باعث تغییر شـکل فیزیکی، شـیمیایی و زیسـتی پسماند منجر گردد، اطلاق می شود. هدف از پردازش پسماند، بازیافت مواد و انرژی و بهبود کارایی سیستم مدیریت پسـماند می‌باشد. پردازش زیستی پسـماندها، یکی از روش‌های پردازش می باشد که بر روی اجزاء فسادپذیر انجام می شود. بیوگاز و کمپوست، مهمترین روشهای پردازش زیستی پسماندها می باشند. پیرولیز و پیوراکس نیز از دیگر روشهای پردازش زیستی پسماندها می باشند که کمتر توسعه پیدا کرده اند. پردازش زیستی پسماندها می تواند به دو صورت هوازی و بی هوازی انجام شـود. البته به دلیل مزایای روش های هوازی، این روشـها توسعه بیشتری پیدا کرده اند. لیکن انتخاب نوع روش تابع هدف پـردازش اسـت، به طوری که اگر هدف از پردازش، بازیافت گاز باشـد روش بی هوازی و در صورت هـدف گذاری برای تهیه کود، روشهای هوازی برتری دارد.

یکی از مهمترین مزایای پردازش زیسـتی پسـماندها این اسـت که در این فرآیند، بخش آلی پسـماند که می تواند در اثر تجزیه در محیط، منجر به توسـعه آلودگی ها و شـیوع بیماریهای مختلف شـود به اجزای بی خطر تبدیل می گردد. لذا پردازش زیستی از نظر حفظ سـلامت نیز بسـیار ارزشمند اسـت. به همین جهت در سالهای اخیر توجه فراوانی به پردازش زیستی شده است و در شهرهای بزرگ، اقدامات جدی در جهت توسعه واحدهای تبدیل پسماندها به کود صورت گرفته است و در روستاها نیز اقداماتی در جهت تبدیل پسماندها به بیوگاز و جلوگیری از قطع درختان به منظور تامین گرمایش و پخت و پز خانوارهای روستایی مستقر در مجاورت جنگلها و دور از شهرها در حال انجام است.

در مجموع، به منظور توسـعه پردازش زیسـتی و فیزیکی در کشـور لازم اسـت تا ضمن معرفی مزایا و روشهای مختلف پردازش زیستی و فیزیکی، عملیات امکان سنجی توسعه پردازش در کشور انجام گیرد تا پتانسیل های مناطق مختلف کشور برای توسعه این فرآیند و بهره مندی از مزایای بی شـمار آن شناسـایی گردد و متناسـب با آن، عملیات طراحی واحدهای پردازش زیسـتی و فیزیکی صورت گیرد. در این راستا محوریت اصلی این شماره از فصلنامه به پردازش بیولوژیکی پسماندها اختصاص یافته است.

مسعود احمدی

سردبیر

مقایسه کارایی کمپوست آلی، ورمی کمپوست و کمپوست گرانوله گوگردی بر عملکرد خیار درختی

مقدمه

علیرضا صفاری[1]، حسین علیدادی[2]، علی آدینه‌تبار[3]، مریم عنادی[4]

۱. مسئول کلخانه (کارشناس ارشد کشاورزی) سازمان مدیریت پسماند شهرداری مشهد
۲. استادیار دانشکده بهداشت دانشگاه فردوسی مشهد
۳. معاون فنی و اجرایی سازمان مدیریت پسماند شهرداری مشهد
۴. کارشناس ارشد اقتصاد انرژی

رشد روزافزون جمعیت و به دنبال آن توسعهٔ صنایع سنگین، سبب آلودگی‌های وسیع در سطح محیط زیست شده است[۱۲]. امروزه استفاده از منابع غیرآلاینده و سازگار با محیط زیست، برای تامین بستر رشد گیاهان، توجه بیشتر محققان را جلب کرده است. خطر آلودگی محیط زیست، به ویژه خاک و آب‌های زیرزمینی، به‌دنبال استفاده از منابع آلاینده سبب شده که روش‌های جایگزین کشت خاکی و به‌ویژه بسترهای کشت، کاربرد و اهمیت بیشتری پیدا کنند[۶]. این آلودگی‌ها نه تنها به کیفیت خاک برای تولید بهینهٔ محصول صدمه می‌زنند، بلکه خطراتی جبران‌ناپذیر به سلامت انسان‌ها نیز وارد می‌کنند[۴]. در حال حاضر، پاکسازی محیط زیست از آلاینده‌ها، یکی از اهداف اساسی بسیاری از تحقیقات به‌شمار می‌آید[۳]. کودهای شیمیایی که در مقادیر بسیار زیاد و با قیمت ارزان با استفاده از سوخت‌های فسیلی و استخراج رسوبات معرفی تولید می‌شوند، استفاده از منابع غذایی آلی را کاهش داده‌اند. امروزه کودهای معدنی و بعضی از عملیات زراعی نظیر سوزاندن بقایای گیاهی شدیدا مقدار مواد آلی در خاک‌ها را کاهش می‌دهد. کاهش مواد آلی خاک بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک مؤثر است و خطر فرسایش را افزایش می‌دهد[۱۲]. بروز مشکلات اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویهٔ کودهای شیمیایی و نیز توجه به قابلیت‌های ذاتی بسیار جالب و متنوع موجودات خاکزی از جمله کرم‌های خاکی موجب شده است که یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین زمینه‌های مورد تحقیق در کشاورزی پایدار، تلاش برای تولید کودهای زیستی و آلی باشد[۵]. تولید پسماندهای شهری ناشی از افزایش روزافزون جمعیت و گسترش شهرها افزایش یافته است. به‌طوری‌که حجم انبوه انواع پسماندهای شهری به‌خصوص در مناطق پرجمعیت، برنامه‌ریزان مربوطه را ناگزیر به سمت مدیریت اصولی و صحیح دفع پسماند سوق داده است. یکی از مناسب‌ترین روش‌های دفع پسماند، بازیافت و تبدیل آن به کود آلی کمپوست است[۹]. به طور کلی موادی مانند پسماندهای جامد شهری، لجن فاضلاب، پسماند موجود در بستر فارچ خوراکی و حتی بقایای گیاهی به‌عنوان مواد نامطلوب و کم‌ارزش به حساب می‌آیند. اخیرا مطالعات زیادی نشان داده که چنین موادی پس از کمپوست شدن، می‌توانند به‌عنوان بستر رشد استفاده شوند[۷]. یکی دیگر از روش‌های مدیریت پسماندها، تبدیل آنها به یک محصول با کیفیت‌تر به نام ورمی کمپوست است[۸ و ۱۱]. تولید ورمی کمپوست، یک فرایند Eco-Biotechnological است که کمپلکس‌های آلی را پردازش و به هوموس پایدار تبدیل می‌کند. تحقیقات مختلف نشان می‌دهد کود کمپوست یا دامی دارای مقدار زیادی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آهن است. مادهٔ آلی، بهترین نوع کود برای تقویت خاک و رشد مناسب گیاه است. استفاده از مواد آلی در بخش کشاورزی، نه تنها از لحاظ بهداشتی سالم و بدون عوارض است، بلکه از جنبهٔ اقتصادی نیز مقرون به صرفه است[۱۰]. یکی دیگر از روش‌های تولید کود آلی، تبدیل کمپوست به محصولی بهتر و مفیدتر به‌نام کمپوست گرانوله گوگرددار است که بر پایهٔ کمپوست پسماند و دیگر افزودنی‌ها از قبیل گوگرد، ملاس چغندر قند و مادهٔ معدنی بنتونیت تولید می‌شود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های طرح شـامل انواع مختلف کود به سه صورت ورمی کمپوست، کمپوسـت گرانولـه گوگرددار و کمپوسـت پسـماند به ترتیـب (A1، A2 و A3) و مقادیـر مختلـف کـود در دو سـطح ۲۰۰ و ۴۰۰ گـرم به‌ترتیـب (B1 و B2) بودنـد. قبل از اجرای آزمایـش از خاک و کودهای مورد اسـتفاده نمونه‌گیری شـد و در آزمایشـگاه کارخانه مـورد تجزیهٔ فیزیکی- شـیمیایی قرار گرفت که نتایج آن در جداول ۱ و ۲ آمده است.

عمق ۰ تا ۳۰ Cm	هدایت الکتریکی dc/m	اسیدیته گل اشباع PH	درصد مواد خنثی شونده T.N.V
۰-۲۰	۱/۱۸	۷/۷	۱۵/۰
۲۰-۴۰	۱/۹۰	۷/۸	۱۸/۶
درصد کربن آلی O.C	مقدار جذب P.P.M	مناسب‌قابل جذب P.P.M	ازت کل %
۰/۵۹	۴/۰	۴۳۰	۰/۰۷۳
۰/۰۱۳	۱/۶	۱۹/۵	۰/۰۷۳

جدول۱. خصوصیات شیمیایی خاک محل آزمایش

نام آزمایش ماده کود	کمپوست پسماند	ورمی کمپوست	کمپوست گرانوله گوگرددار
درصد رطوبت	۲۷	۲۹/۹	۳۲/۶
درصد مواد آلی	۵۱/۸	۴۸/۹	۵۰/۷
درصد کربن آلی	۱۷/۴	۱۸/۸	۱۶/۸
درصد جذب آب	۱۴۸	۱۱۳/۳	۹۶
درصد نیتروژن کل	۱/۵	۱/۷۵	۱/۵
اسیدیته	۷/۹	۸/۱	۷/۵
هدایت الکتریکی	۳/۹	۲/۸	۵/۲

جدول۲. نتایج آنالیز فیزیکی- شیمیایی کودهای مورد آزمایش

بذرهای خیار درختی تهیه شـده در تاریخ ۸۷/۱۲/۴ در گلخانه کشـت شـدند. در هر کرت تعداد دو بذر با فاصلهٔ ۱×۱ در نظر گرفته شد. روش کاشت به‌صورت بذرکاری بود. کودهای آلی بعد از سبز شدن بذرها و در زمان چهار برگی بوته‌ها به صورت چالکود در سایه‌انداز بوته به عمق ۱۰ سانتیمتر در تاریخ ۸۷/۱۳/۲۷ به زمین داده شد. روش آبیاری به‌صورت دستی و روزهای یکشنبه، سه‌شنبه و پنج‌شنبه هر هفته تنظیم شد. کلیهٔ عملیات داشت بوته‌ها اعم از مبارزه با آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز به‌طور یکسـان صورت گرفت. مبارزه با علف‌هـای هرز به‌صورت وجین دسـتی و مبارزه با آفت مینوز لکه‌گرد به‌صورت مکانیکی و شامل حذف برگ‌هـای آلوده بود. اولین برداشـت از بوته‌ها در تاریـخ ۸۸/۲/۱۴ و از تیمارهای کود ورمی کمپوست انجام شد.

یافته‌ها و بحث

نتایـج تجزیـه واریانس عملکرد خیـار درختی در جدول ۳ آمده اسـت. همان‌طور که ملاحظه می‌شود اثر نوع کود و اثر متقابل نوع و مقدار کود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

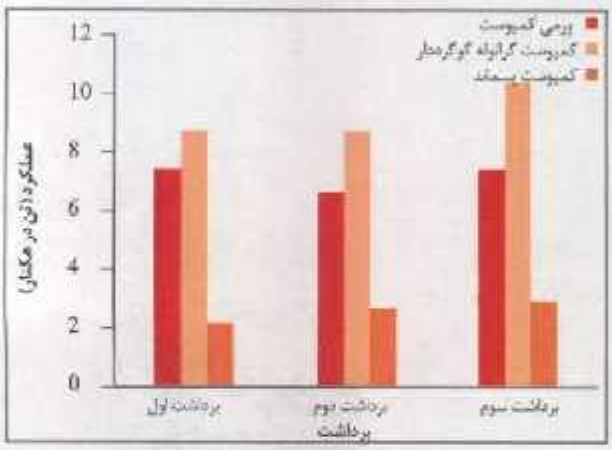
منابع تغییرات	درجه آزادی	برداشت اول	برداشت دوم	برداشت سوم	عملکرد کل
بلوک(تکرار)	۳	۵۶۵۹	۳۳۶۱	۱۰۳۸۱	۳۶۱۱۱
نوع کود(A)	۲	۹۶۴۶۸۷**	۷۱۶۹۷۹**	۱۱۶۵۷۲۹**	۸۰۵۸۷۵**
مقدار کود(B)	۱	۲۶۰۴ ns	۳۷۵ ns	۲۶۰۴ ns	۶۶۶۶ ns
نوع کود*مقدار کود	۲	۲۱۹۷۹*	۱۵۳۱۲*	۲۸۸۵۴**	۱۷۰۲۱۶**
خطا	۱۵	۲۹۰۹	۲۶۱۱	۲۷۹۸	۲۳۴۴۴

جدول۳. خلاصه نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد خیار درختی

** وجود اختلاف بسیار معنی‌دار در سطح ۱ درصد

* وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد ns نبودن اختلاف معنی‌دار

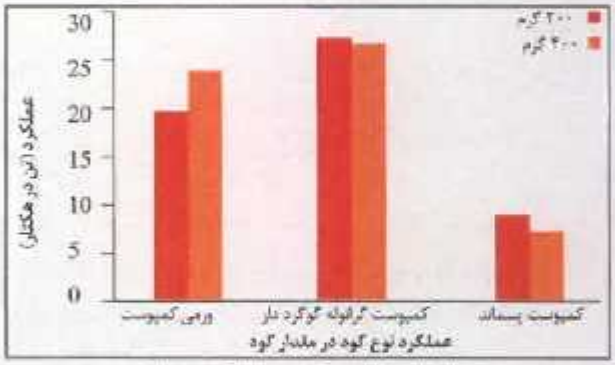
در این آزمایش عملکرد تیمارهای ورمی کمپوسـت وکمپوسـت گرانوله گوگرددار در مقایسه با کمپوست پسماند بیشتر بود. نمودار(۱) اثر کودهای مورد آزمایش را در سه مرحله برداشت نشان می‌دهد.



نمودار۱. عملکرد بوته‌های خیار درختی در سه مرحله برداشت

به نظر می‌رسـد رطوبت و سایر شـرایط از قبیل تهویه و وجود مواد غذایی مناسـب بوده و در نتیجه گستردگی ریشـه‌های ثانوی بیشتر اتفاق افتاده اسـت. لذا افزایش عملکرد خیار درختی به بهبـود عناصر غذایی خاک و تا اندازه‌ای به بهبود کیفیت سـاختمان خاک به‌دنبال کاربرد کود کمپوسـت گرانوله گوگرددار نسـبت داده می‌شود. میزان عملکرد کود ورمی کمپوست (سطح ۴۰۰ گرم) در مقایسه با (سطح ۲۰۰ گرم) معادل ۱۷/۷ درصد رشد داشته است. این افزایش را می‌توان به جذب بیشتر مواد غذایی، تغذیه بهتر گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد آن در حضور کود ورمی کمپوسـت نسبت داد. کود کمپوسـت پسـماند نتوانسـت با دو نوع کود دیگر رقابت کند و از همان مراحل ابتدایـی آزمایش و در زمانی که بوته‌ها به مرحله چهار برگی رسـیدند و به آنها مقداری کود داده شد، بوته‌های تیمارشده با هر دو مقدار کودی خشـک شدند که به احتمال زیاد در اثر هدایت الکتریکی بالای این کود است. تجمع املاح و عناصر غذایی موجود در کمپوست پسماند شهری موجب بالا بردن میزان شوری کمپوست می‌گردد. لذا عملکرد خیار درختی به واسـطهٔ مصرف این کود با هر دو مقدار اعمال شـده، کاهش یافت. نتایج

این آزمایش نشـان داد که کود کمپوسـت گرانوله گوگرددار به علت وجود عنصر گوگرد در ترکیب خود باعث متعادل ساختن اسیدیتهٔ خاک می‌شود و در اسیدیتهٔ متعادل نیز عناصر غذایی برای ریشه‌های گیاه قابل دسترسی هستند. پوته‌های تیمارشده با کود کمپوست گرانوله گوگرددار در مقایسه با پوته‌های تیمارشده با کودهای ورمی کمپوست و کمپوست پسماند شهری، به دلیل اکسیداسیون گوگرد و درنتیجه کاهش مقدار اسیدیته، سبب افزایش فعالیت قارچ‌ها می‌شوند و قارچ‌ها به دلیل داشتن هیف و قدرت بالای تجزیهٔ مواد آلی، سبب افزایش غلظت یون‌های محلول می‌شوند. در نتیجه، عملکرد خیار درختی به واسطهٔ مصرف کود کمپوست گرانوله گوگرددار افزایش یافته است. بررسی اثر متقابل نوع کود در مقدار کود بر عملکرد خیار درختی نشان می‌دهد که در میان کودهای استفاده شده، کود کمپوست گرانوله گوگرددار نسبت به دو نوع کود دیگر عملکرد بهتری دارد. نمودار ۲ اثر متقابل نوع کود در مقدار کود بر عملکرد خیار درختی را نشان می‌دهد.



نمودار ۲. اثر متقابل نوع کود در مقدار کود بر عملکرد

به‌نظر می‌رسد بهبود جذب سایر عناصر غذایی علاوه بر عناصر اصلی نظیر N، P و K به‌واسطهٔ اسیدی‌کردن محلول خاک با استفاده از کمپوست گرانوله گوگرددار نقش مؤثری در عملکرد خیار درختی داشته است. کاهش عملکرد خیار درختی به‌واسطهٔ مصرف کمپوست پسماند شهری، به حساسیت بالای بوته‌ها به نمک‌ها و عناصر غذایی در مقادیر بالای این کود نسبت داده می‌شود. مقادیر زیاد کمپوست پسماند شهری به‌علت مقادیر بالای نمک برای گیاهان ایجاد سمّیت می‌کند. نتایج این تحقیق در خصوص عملکرد کل نشان می‌دهد که بالاترین میزان عملکرد نیز مربوط به کود کمپوست گرانوله گوگرددار بود. نمودار ۳ میزان عملکرد کل بوته‌ها را نشان می‌دهد. در خاک‌های آهکی، کمبود منگنز و آهن اتفاق می‌افتد و برای جلوگیری از آن مصرف گوگرد پیشنهاد می‌شود. به‌نظر می‌رسد کود کمپوست گرانوله گوگرددار ضمن اصلاح خاک‌های شور و قلیایی و همچنین کاهش pH، باعث افزایش جذب عناصر آهن و منگنز شده است. لذا این کود می‌تواند با کمک موجودات ذره‌بینی، مقدار قابل توجهی نیز نیتروژن به خاک برای رشدونمو بهتر گیاه عرضه کند.

نمودار ۳. میزان عملکرد کل بوته‌ها

منابع

[۱] خوش گفتار منش، امیرحسام کلباسی (۱۳۸۱). اثر باقیمانده شیرابه بر ویژگی‌های خاک و رشد و عملکرد گندم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۶: ۱۴۸-۱۴۱.

[۲] ملکوتی، محمد جعفر (۱۳۷۰). کودها و حاصلخیزی خاک. مرکز نشر دانشگاهی تهران.

[3] Adriano,D.C.,Bollag, J.M.,Frankenberger,W.T.jr.& Sims, R.C.(1999). Biodegradation of contaminated soil, Agronomy Monigraph 372, in Science Society of America,Madison,772.

[4] Alvarez-Bernal, D.,Garcia-Diaz,E.L.,Contreras-Ramos.,S.M.,Dendooven.L., 2006.Dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil added with manuar or vermicompost.Chemo sphere 65,1642-1651.

[5] Dominguez,J.,C.A.Edwards and S.Subler.1997. A comparation of vermicomposting and composting. Biocycle.38:57-59.

[6] Garcia,M.C.,Estrella,F.S.,Lopez,M.J., and J.Moreno.2006. Influence of microbial inoculation and composting material on the evaluation of humic-like substances during composting of horticultural wastes. Process Biochemistry 41:1438-1443.

[7] Garcia-Gomez,A.,Bernal,M.P.,A.Roig.2002.Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial wastes.Bioresource Technology 83,81-87.

[8] Hand.P.,Hayes,W.A.,Frankland,J.C.Satchell,J.E.1988. The vermicomposting of cow slurry. Pedobiologia 31,199-209.

[9] Levy,J.S.,B.R.Taylor.2003. Effect of pulp mill solids and tree composts on early growth of tomatoes. Bioresource Technology,89:297-305.

[10] Parthasarathi,K.2007. Influence of moisture on the activity of perionix excavates(perrier) and microbial nutrient dynamics of press-mudvermicompost.Divisionofvremibiotechnology,Department of Zoology, Annamalainagar University, Annamalainagar-608002,India.

[11] Raymond,C.L.Martin,Jr.,J.H.,Veuhauser.E.F.,1988.Stabilization of liquid municipal sludge using earthworms. In:Earthworms in waste and in Environment management. SPB Academic Publishing. The Hague, the Netherland PP:95-110.

[12] Tejada,M.,M.M.Doboa,C.Benitez,J.L.Gonzales.2001. Study of composting of cotton residues. Bioresource Technology,79.199-202.

[13] Zakia,D.P.,Kathrin,M.,Schwab,A.2005.Assesment of Contaminant Lability Phytoremediation of polycyclic Aromatic Hydrocarbon Impact soil, Environmental Pollution 137:187-197.

بررسی میزان پالایش کادمیوم از پســـماندهای محیط آلوده توســـط گیـــاه تاج‌ریزی

چکیده

رشـــد شهرنشـــینی و تمرکز جمعیت و به‌دنبال آن افزایش حمل‌ونقل در شـــهرها آثار ناگوار زیادی بر شرایط زیســـتی محیط شـــهری دارد. بخشـــی از آلودگی که در اثر حمل‌ونقل و راه‌ها به محیط وارد می‌شـــود مربوط به آلاینده‌های فلزات ســـنگین همچون ســـرب و کادمیوم است که وجودشان در مواد غذایی و محیط به‌عنوان عوامل مخاطره‌انگیز مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است.

تعیین میزان تجمع عنصر کادمیوم در گیاه تاج‌ریزی (Solanum Nigrrum) در محیط کشـت هیدروپونیک برای بررســـی میزان جذب عنصر کادمیوم توســـط این گیاه و کنترل روند توزیع آلایندگی عنصر کادمیوم در پســـماندهای خاک اطراف کارخانه‌ها و مناطق آلودهٔ دیگر در این مطالعه مورد نظر بوده اســـت. مطالعه روی گیاه تاج‌ریزی تولیدی در ســـه منطقهٔ جغرافیایی شـــمال، جنوب و شرق استان کرمان انجام شده است. از هر منطقه ســـه نمونهٔ ۱۰۰ گرمی از بذر تهیه و درکل از ۱۰ ایســـتگاه ۵۴ نمونه انتخاب و در آزمایشـــی با آرایش فاکتوریل بررسی شد.

در این تحقیق از کشت هیدرو پونیک استفاده شده است. محلول مورد استفاده در این پژوهش هوگلند است که در ۲۰ لولهٔ فالکون در چهار سطح و پنج تکرار قرار گرفت و تیمار صفر، ۱۵۰ و ۳۰۰ و ۴۵۰ میکرومولار از محلول کادمیوم اســـتفاده شده است. اندازه‌گیری کادمیوم به روش اسپکتروفتومتری، جذب اتمی باشعله(Flameless) و جذب اتمی بدون شـــعله (GFAAS) بوده اســـت که میزان جذب کادمیوم در قســـمت ریشه ۱۳/۲ ppm و در بخش هوایی گیاه ۱۰۹/۳ ppm به‌دســـت آمده اســـت و از مقادیر مجاز برای مصرف انسان براساس اتحادیهٔ اروپا (۱/۱میلی‌گرم در یک کیلوگرم سبزی تازه) بیشتر بوده است. می‌توان گفت با توجه به میزان جذب بالای عنصر کادمیوم توسط گیاه تاج‌ریزی می‌توان از آن به‌عنوان یک گیاه پیش‌تجمع‌کننده برای پاک‌سازی مناطق آلوده استفاده کرد.

کلید واژگان: آلایندگی، پسماند، هیدروپونیک، جذب اتمی، تاج‌ریزی

وحید شهبازی زنه‌ی

کارشناس ارشد منابع طبیعی مرتع‌داری
دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

مقدمه

آلودگی خاک‌ها با فلزات ســـنگین درحال‌حاضر یک مشـــکل زیست‌محیطی عمده در ســـطح جهان است. از آغاز انقلاب صنعتی تاکنون، آلوده شدن محیط زیست که شامل خاک نیز می‌شود با فلزات سنگین شدت یافته است. فلزات سنگین به‌وسیلهٔ فرایندهای بسیاری از جمله ریزش‌های اتمسفری، کاربرد لجن فاضلاب، کودهای حیوانی، فاضلاب شـــهری و فراورده‌های جنبی آنها و کودهای شـــیمیایی در خاک‌ها تجمع می‌یابند. تجمع آنها در خاک می‌تواند موجب کاهش فعالیت و تنوع میکروبی، کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش یا ازبین‌رفتن محصول و حتی صدمه به سلامتی انسان و حیوانات از طریق ورود در زنجیرهٔ غذایی شود. بنابراین یکی از عوامل کم‌هزینه و مفید برای حذف این فلز سنگین و سمی از خاک‌های آلوده گیاهان هستند. این عمل، عنوان Phytoremediation یا گیاه‌پالایی نام گرفته و گیاهانی که چنین قابلیتی دارند این توانایی را دارند که فلزات را از محیط اطراف ریشـــهٔ خـــود جـــذب کنند و درنهایت درون خود با اتصـــال به ترکیبات آلی تبدیل به مواد غیرســـمی کنند و یا اینکه در

داخل واکوئل‌های خود ذخیره کنند و از دسترس گیاه خارج و سرانجام در خود انباشته کنند (Neil Willy phytoremediation - book 2007). عوامل متعددی در گیاه‌پالایی نقش دارند. ازجمله بالابودن بیومس گیاهی، عمق ریشه، قابلیت جذب بالا و مقاومت بالا در برابر فلزات سمی (Neil Willy phytoremediation-book 2007) و از جمله عوامل مولکولی مهم در این زمینه در گیاهان و مخمرها، پپتیدهایی با نام phytochelatin هستند که از پپتیدهای بسیار مهم و موثر در عمل کلاته‌کردن فلزات هستند (Grill,et al 1986.). جذب کادمیوم توسط گیاه به سیستمی وابسته است که نه تنها از نظر متابولیکی بیشتر حالت واسطه دارد بلکه با سیستم‌های جذب سایر عناصر نیز رقابت می‌کند. همچنین به‌نظر می‌رسد که جذب و تحرک کادمیوم در گیاه به گونهٔ گیاه، مرحلهٔ رشد، غلظت عناصر غذایی، شرایط رشدی گیاه و ترکیب سایر عناصر فلزی بستگی دارد. از سوی دیگر، کادمیوم علاوه بر ایجاد اثرات سمّی اولیه، می‌تواند اثرات ثانویه‌ای مانند کاهش فتوسنتز و تنفس و برهم‌زدن تعادل عناصر غذایی نیز داشته باشد. از عوامل تاثیرگذار بر جذب کادمیوم و ظهور علائم سمی‌بودن آن در گیاه، وضعیت تغذیه‌ای گیاه‌به‌ویژه در رابطه با عناصر کم‌مصرف است. عناصری که برای رشد گیاه ضروری هستند معمولا در گیاه متحرک‌اند اما عناصر سنگین جابه‌جایی کمی دارند و در ریشه‌ها تجمع می‌یابند. بنابراین میزان کادمیوم، سرب، نیکل و کروم در ریشه حداکثر است (عبادی و همکاران، ۱۳۸۴). با توجه به خسارت‌های شدید وارد آمده، حذف فلزات سنگین یک عامل اساسی برای حفاظت محیط‌زیست است (گوپتا و بهاتاچاریا، ۲۰۰۸).

در زمان حاضر پالایش و پاکسازی آب‌ها از آلاینده‌ها به ویژه عناصر سنگین یکی از مسائل مهم روز است. بهره‌برداری روزافزون از کارخانه‌ها و استفاده از کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، مواد سوختی و رنگی در مقیاس عظیم، منابع مختلف آلودگی آب‌ها را تشکیل می‌دهند. درنتیجه امروزه در منابع جهان بیش از ۷۰۰ نوع مادهٔ شیمیایی شناسایی شده است که اغلب آنها بسیار خطرناکند. بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پساب‌های خروجی از واحدهای صنعتی می‌تواند آگاهی لازم از آلاینده‌های موجود را ارائه کند. اطلاع از وضعیت آلاینده‌ها در جلوگیری از آلودگی محیط زیست با ارائهٔ راهکارها و همچنین چگونگی تصفیهٔ پساب‌ها برای بهره‌برداری مجدد از آنها مؤثر است.

اولین بار در سال ۱۹۴۶ در نواحی اطراف رودخانهٔ «جین تسو» در ژاپن بیماری مرموزی مشاهده شد که ابتدا نوعی کمبود مواد غذایی و ویتامین به حساب می‌آمد. چراکه بارهای از اوقات در این نوع مسمومیت، بیمار ناتوان و رنجور شده با مصرف مقدار زیادی ویتامین نیروی ازدست‌رفته‌اش را تا حدی باز می‌یافت. گاه دردهای استخوانی طاقت‌فرسا به‌خصوص در استخوان‌های اطراف لگن خاصره بروز می‌کرد و بعد از مدتی منجر به شکستگی‌های متعدد در استخوان‌ها می‌شد. زنان باردار بیش از دیگران در معرض ابتلا به بیماری بودند و حدود نیمی از بیماران تلف می‌شدند (سبط النبی، ۱۳۸۰). به‌طورکلی حدود ۲۰۰ نفر از بیماران معلول شدند و ۱۰۰ نفر جان باختند. این بیماری Itai-Itai نام دارد (اسماعیل ساری ۱۳۸۱).

دورهٔ کمون این بیماری بین ۱۰-۵ سال و گاهی تا ۳۰ سال است. از اولین علائم مسمومیت با کادمیوم می‌توان از بروز حلقهٔ زرد بر دندان‌ها، ضعف حس بویایی، کم شدن تعداد گلبول‌های قرمز خون و بالاخره تجزیهٔ مغز استخوان نام برد. کمبود کلسیم در این نوع مسمومیت به حدی است که استخوان‌ها حالت خمیدگی یافته و تا ۳۰ سانتی‌متر از طول استخوان‌ها کم می‌شود (سبط النبی، ۱۳۸۰). تحقیقات نشان می‌دهد که بیماران سال‌ها برنج حاصل از شالیزارهایی را مصرف می‌کردند که نزدیک به یک معدن روی (Zn) قرار داشته و به وسیلهٔ آب رودخانه‌ای که آلوده به کادمیوم بوده آبیاری می‌شده است. کادمیوم در معادن همراه با روی به میزان کمی وجود دارد (اسماعیل ساری ۱۳۸۱).

در حال حاضر معلوم شده است که سوء تغذیه و کمبود ویتامین هم در این مورد نقش داشته‌اند. هیچ گزارش معتبری دال بر آلودگی غذاهای دریایی که موجب صدمه اخیر شوند وجود ندارد. غلظت‌های بالای کادمیوم (۱۷۳ ppm) و روی (۵۷۶۰۰ ppm) در تاسمانی موجب تهوع و استفراغ مصرف کنندگان شده، اما تاثیرات بیشتری وجود نداشته است (Ballantyne) B. ۲۱۰. باید توجه داشت در شرایطی که میزان دریافت روزانهٔ کادمیوم ۶۰۰ میکروگرم باشد، بیماری ایتای ایتای عارض می‌شود (سلامت نژاد، ناهید، بهار ۱۳۸۱). همان‌طورکه

گفته شـد غلظت کادمیوم در برنج‌های آلوده ۱۴ برابر بیشتر از غلظت آن در برنج‌های سـالم است. غلظت‌ها برحسـب میلی‌گرم بر کیلوگرم اسـت (عرفان منش). متاسفانه مطالعه روی تاثیر جذب کادمیوم بسیار کم صورت گرفته اسـت، با این حال به‌نظر می‌رسـد بررسـی وضعیت تغذیه‌ای گیاه از نظر عناصر سنگین می‌تواند راهی برای جذب کادمیوم توسط گیاه و مقابله با اثرات سوء آن در رشد و سلامت گیاه به‌خصوص از لحاظ ورود به زنجیرهٔ غذایی انسان و حیوان باشد.

این تحقیق با هدف بررسـی تاثیر جذب کادمیوم توسط گیاه تاج‌ریزی انجام شد تا بتوان تاثیر گیاه تاج‌ریزی در روند پاک‌سازی محیط زیست از آلایندگی عنصر کادمیوم را مورد بررسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسـی میزان جذب عنصر کادمیوم در گیاه تاج‌ریزی یک آزمایش فاکتوریل با غلظت‌های ۰،۱۵۰،۳۵۰،۴۵۰ میکرومولار با طرح پایهٔ فاکتوریل چهار تکرار در گلخانهٔ تحقیقاتی در شـرایط طول روز ۱۴ سـاعت و دمای ۲۵ درجه و طول شـب ۱۰ سـاعت و دمای ۱۷ درجه انجام شـد. ایـن آزمایش به‌صورت کشـت هیدروپونیک انجام شده است.

بذر گیاه درسـه منطقهٔ جغرافیایی شمال، جنوبه شرق استان کرمان در شهریور ماه ۱۳۸۹جمع‌آوری شده است.

از هر سـایت سـه نمونهٔ ۱۰۰گرمی از بذر نمونه انتخاب و بررسـی شـد. بیشـتر این نمونه بذرها از مناطقی جمع‌آوری شده است که بیشـتر در معرض کارخانه‌هـای صنعتی قرار دارنـد. مثلا کارخانهٔ لاستیک‌سـازی بارز کرمان که در ۱۵ کیلومتری استان کرمان و در ۵ کیلومتـری جاده جوباری قرار دارد و می‌تواند یکی از عوامل مهم واردکـردن عنصر کادمیوم به زمین‌های اطراف کارخانه و یا آب‌های زیرزمینی باشد.

بذر گیاه تاج‌ریزی به دلیل داشـتن مواد بازدارندهٔ رشـد به‌راحتی قابل جوانه زدن نیست و به همین دلیل مقدار بذرهای مورد نیاز را به مدت ۲۴سـاعت در مسـیر عبور آب قرار گرفتند که این مواد از سـطح آنها شسته شوند و یا با محلول رقیق شدهٔ مایع شوینده این مواد شست‌وشو داده شـدند و بعـد بذرها در پتری و روی کاغذ صافـی قرار گرفتند و برای رشـد بهتر به آنها مقداری محلول هوگلند اضافه شـد که بذرها را پوشـش دهد. دما در امر جوانه‌زدن بذر تاج‌ریزی بسـیار مهم است و دمای محیط ۱۴تا۲۴ درجه سـانتیگراد کافی است. بعد از شش روز بذرهای جوانه‌زده به محل کشت انتقال داده می‌شود.

نام ترکیب	مقدار به گرم
KNO3 (نیترات پتاسیم)	۶/۳۷۵
CA(NO3)2 (نیترات کلسیم)	۱۱/۷۵
Mgso4 (سولفات منیزیم)	۶/۱۲۵
CA2po4 (فسفات کلسیم)	۱/۷۵
Fe-EDTA	۰/۵
H3BO3 (اسید بوریک)	۰/۰۷۷۵
Mncl4 (تترا کلرید منگنز)	۰/۰۴
Znso4 (سولفات روی)	۰/۲۸۷۵
Na2Moo4 (مولیبدات سدیم)	۰/۰۱۲۱
CUso4 (سولفات مس)	۰/۰۲۲۹۵

جدول۱: ترکیبات مواد تشکیل دهندهٔ هوگلند

برای کشت گیاه در محیط هیدروپونیک (بدون خاک) به یک تکیه‌گاه نیاز اسـت تا جوانهٔ گیاه را روی ایـن محل، به‌صورت ثابت و یا معلق نگـه‌دارد و محلول غذایی به‌صورت مسـتقیم یا غیر مسـتقیم (پودر شـده) به ریشهٔ گیاه برسـد که در این تحقیق از لوله‌های پلاستیکی (فالکون) اسـتفاده شـد. ابتدا درپوش‌های آنها را برداشته و به جای درپوش‌ها از فوم نرم استفاده شد ویک سوراخ کوچک روی آن ایجاد شد تا ریشـهٔ جوانهٔ گیاه تاج‌ریزی در آن قرار گیرد. قرار دادن لوله‌ها در کاغذ آلومینیوم نیز باعث می‌شود نور به سطح محلول داخل لوله‌ها نرسـد و موجب رشد جلبک‌ها نشود و در عملکرد رشد گیاه اختلالی ایجـاد نکند. در این آزمایش از ۲۰ لولهٔ فالکون اسـتفاده می‌شـود و لوله‌ها در جـا لوله‌ای مخصوص قرار می‌گیرند و مادهٔ هوگلند در این لوله‌ها به مقداری که ریشـهٔ جوانه‌های انتقالـی در مواد غذایی قرار گیرد، اضافه می‌شود.

۱۵روز پـس از انتقـال جوانه‌هـا، تیمارهـای کادمیـوم یـا غلظت‌های ۰،۱۵۰،۳۵۰،۴۵۰ میکرومولار در چهار سطح و پنج تکرار به محلول غذایی افزوده و در روز بیستم، ریشه و بخش‌های هوایی جدا و با آب مقطر شسـت‌وشو داده شدند و برای انجام مراحل بعدی آزمایش در پاکت‌های کاغذی به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های گیاهی در آون تحت دمای ۷۰ درجه سـانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس آسـیاب و بعد از عبور از الک ۵ درظروف پلاسـتیکی نگهداری شدند. مقدار مشـخصی از نمونه‌های خرد شده با اسـتفاده از اسید نیتریک و اسید پرکلریک هضم و سپس غلظت کادمیوم در نمونه‌های هضم شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست آمده با استفاده از نرم افزار spss آنالیز شد.

یافته‌ها و بحث

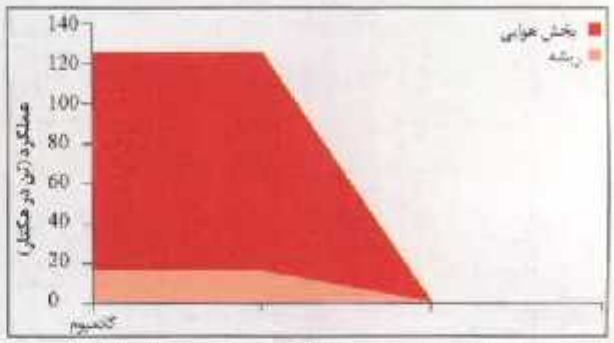
نتایج این مطالعه نشان‌دهندهٔ رشد گیاه تاج‌ریزی در محیطی خارج از خاک بوده است. کشت گیاه تاج‌ریزی در محیط هیدروپونیک به رشد نسبتا خوبی از این گیاه منجر شده است. گیاه تا ارتفاع ۶۰ سانتیمتری رشد کرده و ساقه به‌صورت مستقیم و استوانه‌ای شکل و کمابیش چوبی است. ساقه حاوی مقدار زیادی آب است. برگ‌های گیاه نیزه‌ای شکل، متناوب، به طول ۲۰ تا ۳۰ سانتیمتر و به پهنای ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتر می‌رسد. ریشهٔ گیاه تاج‌ریزی به ارتفاع ۱۰ تا ۲۰ سانتیمتر رشد کرده که ریشهٔ این گیاه مخروطی شکل است و انشعابات متعددی تولید می‌کند. بذر گیاه تاج‌ریزی بعد از گذشت مدت ۱۴ تا ۲۰ روز در پتری جوانه زد که این جوانه‌ها به محل کشت انتقال یافت و بعد از گذشت ۵۰ روز که گیاه به ارتفاع ۶۰ سانتیمتری رسید و به تعداد ۵ تا ۷ برگ روی ساقه ایجاد شد، تیمار‌دهی کادمیوم برای گیاه شروع شد و بعد از گذشت یک هفته که ریشهٔ گیاه تمام مواد غذایی و عنصر کادمیوم را جذب کرد گیاه برای سنجش میزان جذب عنصر کادمیوم با دستگاه GC/MS از محیط کشت خارج شد.

نمونه‌های کشت شدهٔ گیاه تاج‌ریزی بعد از دادن غلظت‌های مختلف فلز کادمیوم (۱۵۰،۳۰۰ و ۴۵۰ میکرومولار) مورد آزمایش قرارداده شد که نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد میزان جذب عنصر کادمیوم در قسمت‌های مختلف گیاه متفاوت است و بیشترین میزان آن ۱۰۹/۳ در قسمت هوایی گیاه تاج‌ریزی بوده است. این میزان جذب عنصر کادمیوم از حد استاندارد بیشتر است و می‌تواند به عنوان یک گیاه پیش‌تجمع‌کننده برای پساب‌های کارخانجات و محیط‌های آلوده باشد. مقدار جذب عنصر کادمیوم توسط ریشه گیاه تاج‌ریزی به میزان ۱۳/۲ ppm بود که نشان‌دهندهٔ این است که ریشهٔ گیاه تاج‌ریزی بیشتر عنصر جذب‌شده در خود را به قسمت‌های هوایی گیاه منتقل می‌کند. پس میزان این عنصر در قسمت ریشه به مراتب کمتر از میزان آن در قسمت‌های هوایی گیاه است. همان‌طور که در جدول تجزیهٔ واریانس و جدول تجزیهٔ میانگین مشخص است سطوح مختلف کادمیوم بر طول ریشه اثر بسیار معنی‌داری داشتند و در چهار سطح ۰ و ۱۵۰ و ۳۰۰ و ۴۵۰ باهم متفاوت بودند و همه موجب کاهش طول اندام زیرزمینی به‌طور معنی‌داری شدند $P<0/05$. جمعیت‌های متفاوت در سطح ۱ درصد تفاوت داشتند و با توجه به جدول تجزیهٔ میانگین جمعیت کرمان کاهش طول ریشهٔ بیشتری را نسبت به دو جمعیت دیگر نشان دادند و این دو جمعیت تفاوتی نداشتند. مشخص است وزن تر و خشک اندام زمینی و هوایی در اثر تیمار کادمیوم در جمعیت‌های متفاوت کاهش یافته است. ولی جمعیت کرمان نسبت به دو جمعیت دیگر کاهش کمتری نشان داده است و دو جمعیت دیگر به جز در صفت وزن خشک اندام هوایی تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان ندادند. سطوح مختلف کادمیوم اثرات بسیار معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی داشتند. با توجه به جدول تجزیهٔ میانگین اثرات متقابل و معنی‌دار شدن اثرات متقابل در صفت وزن خشک اندام زمینی می‌توان گفت در جمعیت‌ها سطوح کادمیوم با شدت‌های متفاوتی تاثیر داشته ولی در همهٔ آنها موجب کاهش وزن خشک شده است. در صفت وزن تر ریشهٔ سطوح مختلف کادمیوم موثر بوده است و دو سطح ۱۵۰ و ۳۰۰ با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند اما سه سطح ۱۵۰ و ۳۰۰ و ۴۵۰ با شاهد تفاوت معنی‌داری نشان دادند و در مورد صفت وزن تر اندام هوایی سطوح کادمیوم اثرات معنی‌داری نداشتند. بنابراین می‌توان گفت کاهش مشاهده‌شده حقیقی نبوده است و این صفت تحت‌تاثیر کادمیوم تغییر نمی‌کند. سطح برگ روند کاهش در مقابل تنش کادمیوم داشته. به‌طوری‌که سطوح ۱۵۰ و ۳۰۰ و ۴۵۰ تفاوت چشمگیر و معنی‌داری با شاهد نشان دادند. اما با توجه به جدول تجزیهٔ میانگین این سه سطح در یک گروه تیماری قرار گرفتند و تفاوت قابل‌قبولی با یکدیگر نداشتند و باید توجه داشت که کاهش سطح برگ موجب کاهش رشد کلی گیاه نیز می‌شود. از سه جمعیت مورد مطالعه، تفاوتی نداشتند.

نتیجه‌گیری

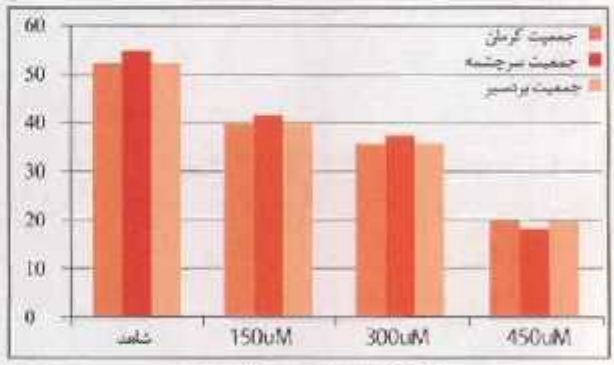
با افزایش غلظت کادمیوم میزان جذب نیز افزایش یافت و به‌طور چشمگیری جذب در ریشه کمتر از اندام هوایی (برگ‌ها) بود. با توجه به جداول تجزیهٔ واریانس و تجزیهٔ میانگین دربارهٔ جذب در برگ هر سه جمعیت یکسان بودند اما در خصوص جذب ریشه هر سه جمعیت تفاوت معنی‌داری داشتند و بیشترین جذب را جمعیت سرچشمه داشت و بیشترین سطح تیماری ۴۵۰ uM تفاوت معنی‌داری با شاهد داشتند ($P<0/01$)، اما در سطح ۱۵۰ u و ۳۰۰ uM با وجود تفاوت معنی‌دار با شاهد با یکدیگر اختلافی نداشتند. با توجه به معنی‌دار بودن اثرات متقابل و جدول تجزیهٔ میانگین برای اثرات متقابل باید گفت جمعیت‌ها عکس‌العمل‌های متفاوتی نسبت به تیمار کادمیوم یا جذب کادمیوم دارند و با آنکه افزایش جذب با افزایش غلظت کادمیوم در هر سه جمعیت مشاهده شد اما مطمئنا این شدت افزایش در سطح و جمعیت‌های مختلف متفاوت است. این یافته با بسیاری از تحقیقات انجام‌شده روی گیاهان در رابطه با جذب عنصر کادمیوم هم‌خوانی داشته است. همچنین با نظر Spitz و Costa که معتقدند کاهش رشد با یکی از اثرات سمی‌بودن فلزات سنگین مانند کادمیوم بر گیاهان منطبق است با توجه به مدل رگریسیون تعریف شده، رگریسیون چند متغیره می‌توان نشان داد که جذب در ریشه بیشتر تحت تاثیر سطح برگ و جذب در برگ بیشتر تحت تاثیر طول ریشه است و این رابطه

معکوس است. یعنی با افزایش سطح برگ در جذب ریشه و یا افزایش طول ریشه کاهش در جذب برگ را خواهیم داشت.

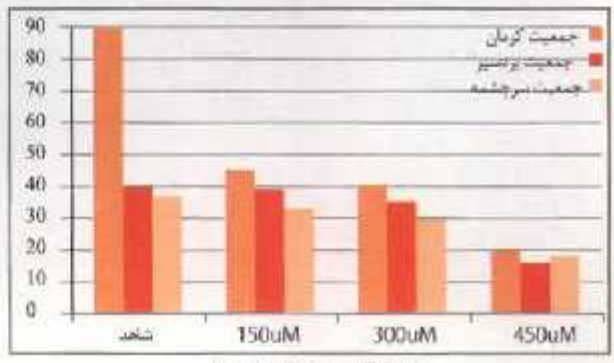


نمودار۱. میزان جذب عنصر کادمیوم در ریشه و بخش هوایی گیاه

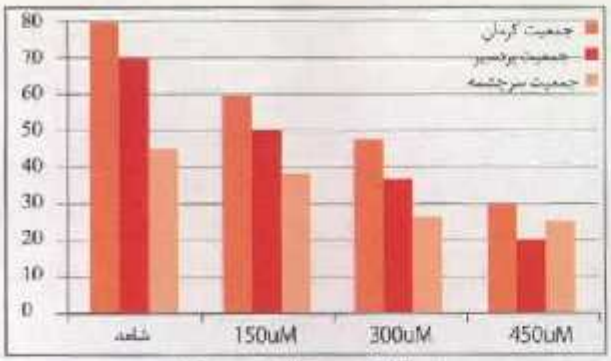
نتایج کلی به‌دست آمده نشان می‌دهد که میزان جذب کادمیوم توسط گیاه تاج‌ریزی در غلظت‌های بالاتر از ۶۱۰ میکرومولار باعث خشک‌شدن گیاه می‌شود. یعنی این گیاه غلظت زیر این مقدار را می‌تواند جذب کند و برای گیاه متلسب است و اثرات سوء برای رشدش ایجاد نمی‌کند. به‌نظر می‌رسد با توجه به تحقیقات سایر محققان که روی گونه‌های مختلف گیاهی و جذب عنصر کادمیوم انجام شده است گونهٔ solanum nigrum گیاهی است که بیشترین میزان جذب این عنصر را داشته است و می‌تواند به‌عنوان یک گیاه پیش‌تجمع مورد استفاده قرار گیرد.



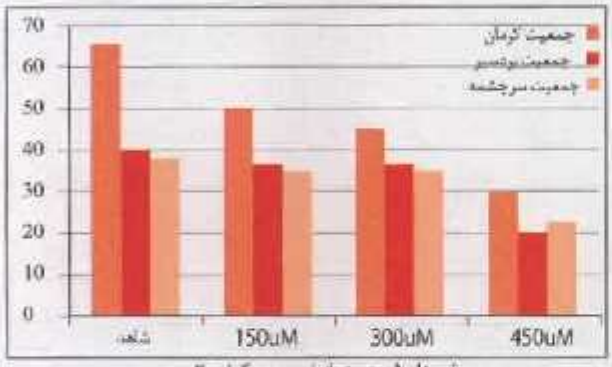
نمودار۲. طول اندام زمینی گیاه ۳۰ روزه



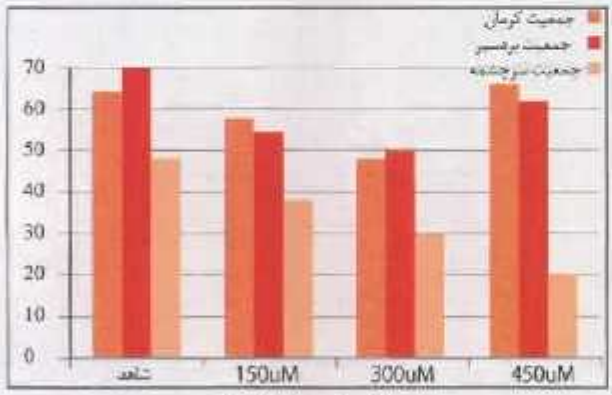
نمودار۳. وزن خشک اندام هوایی



نمودار۴. وزن خشک اندام زمینی گیاه



نمودار۵. وزن تر اندام زمینی گیاه ۳۰ روزه



نمودار۶. سطح برگ گیاه ۳۰ روزه

گزارش شده است که در حضور فلزات سنگین رشد طولی ریشه کاهش می‌یابد. در ریشه‌های گیاه تاج‌ریزی که با کادمیوم تیمار شده بودند رشد ریشه‌ها به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافته بود و در این پژوهش نیز کادمیوم کاهش قابل‌توجه رشد طولی ریشه‌های تحت تنش را باعث شده است. مهار رشد ریشه‌ها به‌واسطهٔ اثر مستقیم کادمیوم روی هستهٔ سلول‌های ریشه یا برهم‌کنش بین هورمون‌هاست. همچنین گزارش شده است که کادمیوم از طریق کاهش سنتز ریبونوکلئیک اسید و مهار سنتز ریبونوکلئاز باعث کاهش رشد طولی ریشهٔ دانهٔ رسته‌ای برنج می‌شود. یون کادمیوم بر بخش‌های مختلف گیاه تاثیر می‌گذارد. گزارش‌هایی نیز وجود دارد که

در گیاه (Brassica napus cv. Paroll) که در معرض کلرید کادمیوم قرار داشتند رشد ریشه و برگ کاهش یافته است. یون کادمیوم با اختلال در فتوسنتز تنفس و متابولیسم نیتروژن در گیاهان منجر به کاهش رشد می‌شود که به دنبال آن ، بیوماس نیز کاهش می‌یابد. همان طور که در این پژوهش مشاهده می‌شود کادمیوم باعث کاهش بیوماس (وزن تر و خشک) در ریشه و برگ گیاه شده است و احتمالا این کاهش در اثر اختلاف در جذب عناصر غذایی و آب است. کادمیوم باعث کاهش سطح برگ نیز می‌شود. نتایج حاصل ازاین تحقیق نشان داد که در گیاهان تحت تنش کادمیوم سطح برگ نسبت به گیاه شاهد، کاهش چشمگیری داشت. تاثیرات منفی کادمیوم بر سطح برگ با اختلاف در جذب آب ارتباط دارد. دانشمندان اظهار کرده‌اند که کاهش پتانسیل تورگر وکاهش قابلیت ارتجاعی دیوارهٔ سلول باعث تشکیل سلول‌های کوچک وکاهش فضای بین‌سلولی در گیاهان تحت تنش کادمیوم می‌شود وکاهش فشار تورگر ناشی از اختلال در جذب آب در این گیاهان است. گزارش‌های دیگری نیز وجود دارد مبنی بر اینکه در گیاه ذرت تحت تنش کادمیوم رشد سلول در اثر افزایش کانابولیسم اکسین کاهش یافته است .باتوجه به یافته‌های این تحقیق می‌توان از گیاه تاج‌ریزی به‌عنوان یک عامل پاک‌ساز در مناطق آلوده به عنصر کادمیوم استفاده کرد.

منابع

[۱] احمدی مقدم، بررسی اثرات صنایع مس سرچشمه بر محیط با توجه به پوشش گیاهی، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران ع ۱۳۶۴

[۲] اسدی، م.معصومی، ع.ا.خانم سار، م.مظفریان، و.فلور ایران.جلد ۱-۴۴. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل ها ومراتع .تهران ۱۳۸۲-۱۳۶۷

[۳] امید بیگی، رضا. تاثیرات فرایندهای پس از برداشت برگیاهان دارویی، ماهنامه رازی ،شماره ۱۰

[۴] اسکندزاده، ی.وبنایی،م.ح.نقشه منابع واستعداد های خاکهای ایران موسسه تحقیقات خاک وآب ایران. ۱۳۷۹

[۵] دبیری، مینو . آلودگی محیط زیست (هوا، خاک، آب) صوت. تهران: نشر اتحاد، ۱۳۷۵

[۶] ماهان، اسدالله . شیمی محیط زیست . ترجمه: جعفرنوروزی و سعید فردوسی . انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی،۱۳۸۸

[۷] شکرزاده لموکی، محمد . اندازه گیری میزان سرب وکادمیوم در آب رودخانه‌های چالوس رود، بابل رود، سیاهرود، و تجن رود در منطقه مازندران. دانشگاه علوم پزشکی تهران،۱۳۸۶

[۸] رشید یاسمی، هوشنگ.مسمومیت‌ها . تهران: انتشارات دانشگاه تهران،۱۳۷۹

[۹] افیونی، م . . بررسی وضعیت آلودگی خاک‌های سطحی منطقه مرکزی اصفهان. گزارش علمی، دانشگاه صنعتی اصفهان،۱۳۸۱.

[۱۰] رحمانی، ح.ر . آلودگی خاک توسط عنصر سرب حاصل از وسائط نقلیه در محدودهٔ برخی از بزرگراههای ایران .پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷۴

[11] Ward, N.I., Reeves, R.D. and Brooks, R.R. 1975.Lead in soil and vegetation along a New Zealand

[12] state highway with low traffic volume.Environmental Pollution, 9, 243-251.

[13] Al-Chalabi, A. S. and Hawker, D. 2000.Distribution of vehicular lead in roadside soils of major roads of Brisbane , Australia. Water, Air,and Soil Pollution, 118, 299–3

[14] Ballantyne B. Marrs T.C, Syverson T.General applied toxicology. Second ed. NewYork, Grove's Dictionaries inc,2011

[15] Bond Richard G. Prober Richard.Handbook of environmental control.London: CRC press, 1978, p-70.

[16] Ward, N., Brooks, R. and Roberts, E. 1977. Heavymetal pollution automotive emissions and its effecton roadside soils and pasture species in NewZealand. Environmental Science and Technology,11/9,917-920.

[17] Huang, P. M., and I. K. Iskandar.2000. Soils and ground water pollution and remediation: Asia, Africa, and Ocealn. Lewis Publishers. Boca Raton. London New York Washington, D.C Brown, S.L., R.L. Chaney, J. Scott.Angle and J.A. Ryan. 1998. The phytoavailability of cadmium tolettuce in long – term biosolids -amended soils. J.Environ.Qual.27:1071-1078

[18] A.JMbaker.2010.metal tolerance.new phytol

[19] Davies,B.E.2009.Appliedsoil trace elements.Willey,new York

[20] Erik smolder.2009.cadmium uptake by plants. Internationnal JOURNAL OF OCCUPATIONAL MEDICINE AND ENVIRONMENTAL HEALTH , VOL

[21] Ward, N., Brooks, R. and Roberts, E. 1977. Heavy metal pollution automotive emissions and its effect on roadside soils and pasture species in NewZealand. Environmental Science and Technology,11/9,917-920.

[22] Carlosena, A., Andrade, A.M. and Prada, D. 1998.Searching for heavy metals grouping roadside soilsas a function of motorized traffic influence.Talanta, 47, 753-767.

[23] Al-Chalabi, A. S. and Hawker, D. 2000.Distribution of vehicular lead in roadside soils of major roads of Brisbane , Australia. Water, Air, and Soil Pollution, 118, 299–310.

کاربرد پسماند کشاورزی (پوست مرکبات) در حذف کادمیوم و کروم از محیط‌های آبی: تعیین ایزوترم‌های جذب

محمد علی زرولی[۱]، یونه ابراهیمی[۲]، مریم باقری اردمیلیان[۳]

۱. عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات علوم بهداشتی و دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی مازندران
zarali49@yahoo.com
۲. عضو هیئت علمی موسسه آموزش عالی گنبد، صندوق پستی ۱۶۵، گنبد، ایران
۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی مازندران

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی قابلیت پوست میانبر پرتقال و نارنج به‌عنوان جاذب در حذف کادمیوم و کروم از محیط‌های آبی و تعیین ایزوترم‌های جذب آن است. در این مطالعه میانبر پوست پرتقال و نارنج بعد از اصلاح به‌عنوان جاذب استفاده و طراحی تعداد آزمایش‌ها از نظر غلظت فلزات سنگین، غلظت جاذب، pH و زمان بر اساس طرح باکس- بنکن انجام شد. تمام آزمایش‌ها مطابق روش‌های استاندارد آب و فاضلاب صورت گرفت. نتایج حاصل از مدل‌سازی، نشان داد که بیشترین میزان حذف کادمیوم و کروم توسط میانبر پرتقال و نارنج اصلاح‌شده بیش از ۹۹/۶۴ درصد بوده است. pH بهینه برای جذب کادمیوم و کروم توسط میانبر پرتقال اصلاح‌شده به‌ترتیب ۹ و ۸/۵ و برای جذب کادمیوم و کروم توسط میانبر نارنج اصلاح‌شده ۹ است. در شرایط بهینه، میزان جاذب مورد نیاز برای حذف کروم کمتر از کادمیوم است. بهترین ایزوترم برای جذب کادمیوم و کروم توسط پوست پرتقال به ترتیب ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ است. همچنین بهترین ایزوترم برای جذب کادمیوم توسط پوست نارنج، ایزوترم لانگمویر است و جذب کروم توسط پوست نارنج از انواع ایزوترم‌های لانگمویر و فروندلیچ تبعیت نمی‌کند. این بررسی نشان داد که پوست پرتقال و نارنج قابلیت خوبی در جذب فلزات سنگین از محلول‌های آبی دارد.

کلید واژگان: مدیریت پسماند کشاورزی، زائدات کشاورزی، پوست مرکبات، حذف فلزات سنگین

مقدمه

فلزات سنگین عناصری هستند که به‌علت پایداری و خاصیت تجمع بیولوژیکی، اثرات مضری بر سلامتی انسان دارند و به‌عنوان آلاینده‌های مقدم توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده معرفی شده‌اند[۱]. تجمع فلزات سنگین در زنجیره غذایی و پایداری آنها در طبیعت، و همچنین تخلیه آنها توسط بسیاری از فعالیت‌های صنعتی، پدیده‌ای شناخته شده است [۲]. افزایش فعالیت صنعتی همواره دلیل اصلی اغلب مشکلات آلودگی زیست‌محیطی و تخریب اکوسیستم بوده و موجب تجمع آلاینده‌هایی نظیر فلزات سمی (کروم، مس، سرب، کادمیوم، روی، نیکل، و غیره) می‌گردد. آلودگی خاک، آب‌های زیرزمینی، رسوبات، آب‌های سطحی و هوا با مواد شیمیایی خطرناک و سمی است و مشکلات اساسی برای سلامت انسان و محیط زیست ایجاد می‌کند. مخصوصا فلزات سنگین به‌عنوان آلاینده‌های خطرناک همواره مورد توجه بوده‌اند و حضور آنها در فاضلاب برخی فرایندهای صنعتی، نظیر آبکاری، پرداخت فلزات، کارهای استخراج و ذوب فلزات، دباغی، کارخانجات تولید مواد شیمیایی، معدنکاری و ساخت باتری، نگرانی‌های زیست‌محیطی بیشتری به علت سمی‌بودنشان حتی در غلظت‌های کم ایجاد کرده است.

روش‌هایی که برای حذف فلزات سنگین از فاضلاب و آب متداولند عبارتند از روش‌های شیمیایی (ترسیب/خنثی سازی) یا فیزیکی (تبادل یونی، جداسازی غشایی، الکترودیالیز و جذب سطحی بر روی کربن فعال). عموما این گونه فرایندها در حذف مقادیر زیاد فلزات از محلول‌های با غلظت زیاد یا متوسط، مفیدند. با این وجود، فرایندهای شیمیایی مقادیر زیادی لجن فلزی بر جای می‌گذارند که بازیابی فلزات را مشکل می‌کند. همچنین لجن به دفع پیشرفته‌تری نیاز خواهد داشت. به‌علاوه، پساب ناشی از چنین فرایندهای تصفیه‌ای، معمولا دارای مقادیر بالا و غیرقابل‌قبولی از کل جامدات محلول خواهد بود. هنگامی‌که این فرایندها برای زائدات حاوی فلزات کم یا یون‌های

فلزی با غلظت پایین مورد استفاده قرار گیرند، ناکارآمد و غیراقتصادی خواهند بود[۳]. در دهه‌های اخیر، انواع جاذب‌ها برای حذف فلزات سنگین بررسی شده‌اند[۲]. از جملهٔ این جاذب‌ها می‌توان به مواد طبیعی و زائدات کشاورزی و صنعتی اشاره کرد که از جاذب‌های ارزان قیمت محسوب می‌شوند، به‌دلیل هزینهٔ پایین این مواد، پس از مصرف می‌توان آنها را بدون روش‌های پرهزینهٔ بازیابی دفع کرد. قیمت، پارامتر مهمی برای مقایسهٔ مواد جاذب مختلف است[۴]. استفاده از محصولات جانبی و زائدات کشاورزی به‌عنوان جاذب سطحی برای حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی یکی از موضوعات درخور توجه و جالب است. بسیاری از زائدات کشاورزی کم‌هزینه‌اند و توانایی قابل توجهی در حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی دارند [۵]. از آنجایی که مرکبات از محصولات مهم در منطقه شمال کشور ایران است و به‌عنوان ماده زائد در این مناطق و در صنایع مرتبط به وفور، تولید می‌شوند و جاذبی ارزان‌قیمت محسوب می‌شوند، به‌نظر می‌رسد که بتوان از میانبر مرکبات برای حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی استفاده کرد. بنابراین، هدف از این مطالعه، بررسی توانایی پوست میانی پرتقال (Citrus Sinensisvar Tampson) و نارنج (Citrus Aurantium) به‌عنوان جاذب در حذف فلزات سنگین (کادمیوم و کروم)، تعیین اثر پارامترهای مختلف بر راندمان حذف، مقایسهٔ میزان حذف دو ماده زائد انتخاب شده و تعیین گروه‌های عاملی پوست میانی مرکبات اصلاح‌شده و اصلاح نشده است.

مواد و روش‌ها

روش آماده‌سازی و اصلاح جاذب

ابتدا میانبر پرتقال و نارنج (قسمت سفید زیر پوست اصلی) جدا و در دمای اتاق، خشک شد. سپس به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد آون قرار گرفت و در هاون چینی خرد شد. میانبرهای خردشده ابتدا با سود ۰/۴ مولار، سپس اسید نیتریک ۰/۴ مولار و پس از آن با آب مقطر دوبار تقطیر (هر یک به‌مدت ۵ دقیقه) شست‌وشو داده شد و پس از گرفتن آب اضافی میانبرها، بر روی سطح تمیزی پهن و خشک شدند. میانبرهای آماده شده به‌مدت ۲۴ ساعت در آون ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند تا کاملاخشک شوند[۶]. سپس میانبرهای خشک‌شده با هاون دستی تا اندازهٔ مورد نظر خرد شدند و برای دانه‌بندی آنها از سرند با اندازه ۰/۲۵-۱ میلی‌متر (۱۸-۶۰ مش) استفاده شد.

روش انجام آزمایش‌های جذب

فلزات سنگین به غلظت‌های ۸۰، ۵۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر و غلظت جاذب ۸، ۵ و ۲ گرم در لیتر در بشرهای ۱۰۰۰ سی سی، به حجم ۵۰۰ سی‌سی ریخته و پس از تنظیم pH بر روی ۵، ۷ و ۹، در جارتست ۶ پارویی مدل M.K ۲۰۰۱ با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه [۷] در زمان‌های ۳۰، ۹۰، و ۱۵۰ دقیقه قرار داده شد. آزمایش‌های شاهد در آب مقطر عاری از فلزات سنگین، برای هر نوع پوست (پرتقال و نارنج) در غلظت حداکثر ۸ گرم در لیتر و در سه درجه pH، ۵، ۷ و ۹ و زمان حداکثر ۱۵۰ دقیقه انجام گرفت. پس از انجام هر فرایند، نمونه‌ها بلافاصله از صافی واتمن ۴۲ عبور داده شد و پس از اسیدی‌کردن توسط اسید نیتریک غلیظ تا pH کمتر از ۲ در ظروف پلاستیکی دردار به حجم ۵۰ سی‌سی ریخته و تا زمان خواندن در یخچال ذخیره شد [۸]. مقادیر فلزات سنگین باقیمانده در محلول‌ها توسط دستگاه جذب اتمی خوانده شد. هر مرحله خواندن، سه بار تکرار شد. برای خواندن غلظت هر عنصر در دستگاه جذب اتمی از ۴ تا ۶ استاندارد استفاده شد.

محاسبه تعداد نمونه‌ها

در سال‌های اخیر، ابزارهای شیمی‌متری با توجه به مزایای آنها از قبیل کاهش تعداد آزمایش‌های مورد نیاز و درنتیجه مصرف کمتر معرف‌ها و کاهش قابل توجه کار آزمایشگاهی، به‌طور گسترده‌ای برای بهینه‌سازی روش‌های تجزیه به‌کار می‌رود. به‌علاوه، این روش‌ها سبب ایجاد نوعی مدل‌های ریاضی می‌شوند که موجب ارزیابی ارتباط و همچنین معناداری آماری اثرات فاکتور مورد مطالعه و همچنین ارزشیابی اثرات متقابل بین فاکتورها خواهند شد [۹]. جهت تعیین تعداد نمونه‌های مورد آزمایش، طرح آزمایشی مربوط برای هر نوع پوست و هر نوع عنصر با استفاده از طرح باکس بنکن Box-Behnken Design (BBD) نوشته شد. با توجه به این طرح آزمایشی، برای هر نوع پوست (پوست پرتقال، پوست نارنج) با هر نوع فلز (کادمیوم، کروم) ۲۵ نمونه و در مجموع ۱۰۰ نمونه آزمایش شد.

ایزوترم‌های جذب

از ایزوترم‌های تجربی برای تشریح ظرفیت جذب سطحی و تسهیل ارزیابی امکان اجرای فرایند مورد نظر، استفاده شده و برای انتخاب مناسب‌ترین جـاذب و تعیین اولیـهٔ غلظت مورد نیاز جاذب بـه‌کار می‌روند. به‌علاوه، ایزوترم‌ها نقش مهمی در آنالیز روش‌های مدل‌سـازی پیشـگویی‌کننده و طراحی سیسـتم‌های جذب بـازی می‌کنند. ایزوترم‌هـای لانگمویر و فروندلیچ رایج‌ترین ایزوترم‌های مورداسـتفاده برای نشـان‌دادن جذب از محلول محسـوب می‌شوند [۱۰]. داده‌های به‌دسـت‌آمده از مدل‌سازی، به لحـاظ تطابق با ایزوترم‌های لانگمویر و فروندلیچ بررسـی شـده‌اند.

یافته‌ها و بحث

نتایج آزمایش‌های جذب

برای بهینه‌سازی دامنهٔ آزمایش‌ها، از طرح باکس- بنکن در طول تحقیق اسـتفاده شـد. متغیرهای مسـتقل طبق جدول (۱) با اعداد ۱-، ۰ و ۱+ کدگذاری و مقادیر حداکثر، متوسـط و حداقل برای آنها محاسـبه شـد و آزمایش‌هـای جـذب کادمیوم و کروم توسـط میانبر پرتقـال و نارنج اصلاح‌شـده، مطابق با طرح آزمایشـی باکس- بنکن انجام گرفت. نتایج جذب فلزات کادمیوم و کروم توسـط میانبر پرتقال و نارنج اصلاح‌شـده به‌صورت درصد حذف به‌دست آمد که در جدول (۲) آمده است.

متغیر	غلظت جاذب (g/L)	pH	غلظت فلز (mg/L)	زمان (min)
علامت	X_1	X_2	X_3	X_4
+۱	۸	۹	۸۰	۱۵۰
۰	۵	۷	۵۰	۹۰
-۱	۲	۵	۲۰	۳۰

جدول ۱. مقادیر و علائم متغیرها برای طرح باکس-بنکن در مطالعهٔ حاضر

۲. نتایج طرح آزمایشی باکس- بنکن

پـس از انجام ۱۰۰ آزمایش برای مطالعهٔ شـرایط جذب فلزات کادمیوم و کروم توسـط جاذب میانبر پرتقال و نارنج اصلاح‌شده و به‌دست‌آوردن مقادیر حذف، سـایر شرایط آزمایشی از روی مدل‌سازی نتایج حاصل از ایـن آزمایش‌ها، با درنظرگرفتن مقادیر ۵، ۵/۵، ۶، ۶/۵، ۷، ۷/۵، ۸، ۸/۵ و ۹ برای pH؛ ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر برای غلظت فلز؛ ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ گرم در لیتر برای غلظت جاذب؛ و ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰، ۱۲۰، ۱۳۰، ۱۴۰ و ۱۵۰ دقیقه برای زمان واکنش؛ و در مجموع ۵۷۳۳ آزمایش و پیش‌بینی نتایج برای این آزمایش‌ها به‌دسـت‌آمد. برای دسـت‌یابی به بهترین مدل، در مورد کادمیوم، از توان ۱ و ۲ متغیرهای مستقل و برهم‌کنش آنها، و در مورد کروم، از توان ۱، ۲ و ۳ متغیرهای مسـتقل و برهم‌کنش آنها و در مورد متغیر وابسته (درصد حذف) از مقدار متغیر خام، لگاریتم متغیر و معکوس متغیر، برای مدل‌سازی استفاده شد. در همهٔ موارد، از متغیر وابستهٔ خام، نتایج بهتری به‌دست آمد. نتایج مدل‌سازی در جدول (۳) آمده است. پس از بررسی ۵۷۳۳ آزمایش با مدل‌های به‌دست‌آمده در مطالعه، بیشترین و کمترین مقادیر حذف، برای دو نوع میانبر (پرتقال و نارنج) اصلاح‌شده و دو نـوع فلز سـنگین (کادمیوم و کـروم) به‌صورت جـدول (۴) بود:

ایزوترم‌های جذب

نتایج ایزوترم‌ها برای جاذب‌های میانبر پرتقال و نارنج اصلاح‌شـده و فلزات کادمیوم و کروم به‌صورت اشکال ۱ تا ۴ است. پس از به‌دست‌آوردن معادلات ایزوترم‌های جذب لانگمویر و فروندلیچ فلزات کادمیوم و کروم بر روی میانبر پرتقال و نارنج اصلاح‌شـده، ضرائب ثابت آنها مورد محاسـبه قرار گرفت که به‌صورت جدول (۵) اسـت. با توجـه به نمودارهای فـوق، بهترین ایزوترم بـرای جذب کادمیوم توسـط میانبر پرتقال اصلاح‌شـده، ایزوترم لانگمویر بـا R^2=۰/۹۵ و بهتریـن ایزوترم برای جـذب کروم توسـط میانبر پرتقال اصلاح‌شـده، ایزوترم فروندلیچ با R^2=۰/۸۹ است. همچنین بهترین ایزوترم بـرای جذب کادمیوم توسـط میانبر نارنج اصلاح‌شـده، ایزوترم لانگمویر با R^2=۰/۸۸ بود و جذب کروم توسـط میانبر نارنج از هیچ‌یک از ایزوترم‌های لانگمویر و فروندلیچ تبعیت نمی‌کند. در ایزوترم فروندلیچ، ثابت‌های K و $\frac{1}{n}$ اندیکاتورهای نسـبی ظرفیت جذب سطحی و شدت جذب هستند. مقدار $\frac{1}{n}$ بین ۰/۱ و ۱ دلالت بر جذب سـطحی مطلوب فلزات سـنگین دارد[۱۰] و همان‌طـور که در جدول (۵) مشـاهده می‌شـود، جذب سـطحی فلزات کادمیوم و کروم توسط میانبرهای پرتقال و نارنج اصلاح‌شده در همهٔ موارد به‌طور مطلوبی صورت گرفته اسـت. در مطالعـهٔ ایزانلو و ناصری که حذف کادمیوم از محلول‌های آبی با استفاده از میوهٔ کاج در شرایط منقطع مطالعه شـده، نتایج دلالت بر این دارد که مدل لانگمویر، تطابق بهتری با اطلاعات آزمایشـگاهی، در مقایسـه با معادلهٔ فروندلیچ دارد [۱۱]. در مطالعهٔ کومار و باندیوپادیـای، جذب کادمیوم از محلول آبی توسـط شـلتوک برنج مورد بررسـی قرار گرفته است. اصلاح شـیمیایی موجب افزایش ظرفیت جذب شـلتوک برنج و کاهش زمان تعادل شد[۱۰]. در این مطالعه، ایزوترم جذب لانگمویـر بهتر از ایزوترم فروندلیچ بود. در مطالعـهٔ فهیم و همکارانش نیز از زائدات صنعت نیشـکر برای جذب کروم اسـتفاده شـده است. داده‌های جذب به‌خوبی از مـدل جذب لانگمویر تبعیت می‌کرد. بازدهی کربن فعال تولیـدی از زائدات برای حذف کروم سـه ظرفیتی ۹۸/۸۶ درصد بود [۱۲].

آزمایش	عاملی				بازدهی حذف (٪) با پوست پرتقال		بازدهی حذف (٪) با پوست نارنج	
	X_1	X_2	X_3	X_4	کادمیوم	کروم	کادمیوم	کروم
۱	۰	+۱	۰	+۱	۸۲/۹	۸۷/۴۷	۸۳/۲	۸۳/۸۱
۲	۰	-۱	۰	+۱	۷۳/۲۹	۶۵/۵۱	۷۱/۷۷	۸۷/۰۶
۳	+۱	۰	۰	+۱	۷۹/۷۴	۷۹/۷۴	۸۱/۱۸	۸۷/۰۶
۴	-۱	۰	۰	+۱	۳۹/۳	۶۳/۸۸	۱۷/۹۶	۷۲/۹۲
۵	۰	۰	+۱	+۱	۵۵/۱۸	۷۷/۹۴	۵۹/۴۷	۸۱/۷۵
۶	۰	۰	-۱	+۱	۸۹/۸۶	۸۳/۹۱	۸۸/۵۹	۷۷/۸۱
۷	۰	۰	-۱	-۱	۶۳/۳۱	۹۵/۱	۶۵/۳۳	۷۷/۸۱
۸	۰	۰	+۱	-۱	۴۲/۱	۷۵/۹	۴۵/۶۳	۷۹/۸۹
۹	-۱	۰	۰	-۱	۱۴/۸۳	۷۱/۶۱	۱۷/۸۶	۵۸/۱۹
۱۰	+۱	۰	۰	-۱	۵۷/۹۱	۸۵/۰۳	۶۳/۳۷	۸۷/۰۶
۱۱	۰	-۱	۰	-۱	۳۶/۶۷	۷۳/۲۴	۴۹/۹۳	۷۷/۷۱
۱۲	۰	+۱	۰	-۱	۵۱/۰۴	۹۳/۹۷	۵۹/۷۳	۸۳/۴
۱۳	۰	+۱	+۱	۰	۷۳/۱۳	۷۰/۸۲	۷۶/۲۹	۸۶/۳۲
۱۴	۰	+۱	-۱	۰	۸۹/۳۵	۸۲/۹	۹۳/۴	۷۹/۸۵
۱۵	-۱	+۱	۰	۰	۵۶/۷	۵۲/۱۳	۶۶/۰۱	۷۳/۳۴
۱۶	+۱	+۱	۰	۰	۸۴/۰۱	۲۹/۲۲	۹۰/۸۹	۸۶/۶۵
۱۷	۰	-۱	-۱	۰	۷۶/۲۶	۷۹/۸۵	۹۱/۱۲	۹۵/۱
۱۸	-۱	-۱	۰	۰	۲۷/۶۷	۴۳/۵۵	۴۲/۱۴	۵۹
۱۹	۰	-۱	+۱	۰	۵۲/۳۴	۵۲/۰۱	۷۱/۴۹	۷۱/۸۴
۲۰	+۱	-۱	۰	۰	۷۳/۱۹	۶۶/۷۳	۸۵/۷۳	۹۵/۱۹
۲۱	-۱	۰	+۱	۰	۶۹/۹۵	۷۸/۱۱	۴۲/۴۸	۸۶/۸۳
۲۲	+۱	۰	+۱	۰	۳۷/۲۲	۷۸/۷	۷۹/۸۳	۸۵/۳۱
۲۳	-۱	۰	-۱	۰	۶۸/۷۲	۸۳/۷۸	۸۲/۲۹	۷۰/۷
۲۴	+۱	۰	-۱	۰	۷۱/۹	۷۷/۸۱	۹۴/۶۶	۷۸/۸۳
۲۵	۰	۰	۰	۰	۸۶/۸۲	۸۱/۸۸	۷۱/۰۶	۸۱/۷۷

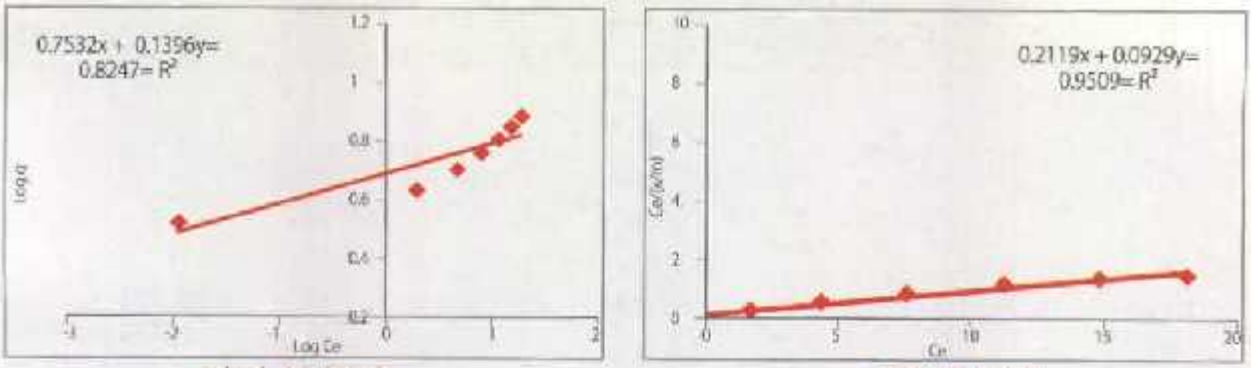
جدول ۲. نتایج آزمایش‌های انجام‌شده مطابق طرح باکس- بنکن

متغیر	پرتقال		نارنج	
	کادمیوم	کروم	کادمیوم	کروم
(واحد معادله)	۷۰/۳	۸۵/۲	۷۱/۱	۸۳/۲
X_1	۰	+۱	۱۸/۷	-
X_2	+	-۱	۲/۸	-
X_3	+۱	۰	-۱۱/۸	-
X_4	-۱	۰	۸/۴	-
X_1X_2	۰	۰	-۴/۷	-۵/۷
X_1X_3	۰	۰	۶/۵	-۲/۴
X_1X_4	۰	۰	-	-۳/۶
X_2X_3	۰	۰	-	۷/۴
X_1^2	-۱	۰	-۷/۲	-۳/۹
X_2^2	+۱	۰	۷	-
X_3^2	۰	-۱	۸/۵	-
X_4^2	۰	+۱	-۱۵/۳	-۳/۸
$X_1^2X_2$	۰	+۱	-	-
$X_1^2X_3$	۰	+۱	-	-۱۰
$X_2^2X_3$	-۱	+۱	-	-
$X_2^2X_3$	+۱	+۱	-	-
X_1^3	+	-۱	-	۱۱/۶
X_2^3	-۱	-۱	-	-
X_4^3	۰	-۱	-	۳/۶
R	۰/۹۸	۰/۸۹	۰/۹۶	۰/۹۲
SE	۵/۶۷	۷/۲۰	۸/۴۰	۴/۵۵
F	۳۲/۸۶	۶/۱۶	۱۴/۶۹	۹/۱۶

جدول ۳. مشخصات مدل‌های بهینه مربوط به درصد جذب فلزات کادمیوم و کروم توسط میانبر پرتقال و نارنج اصلاح‌شده

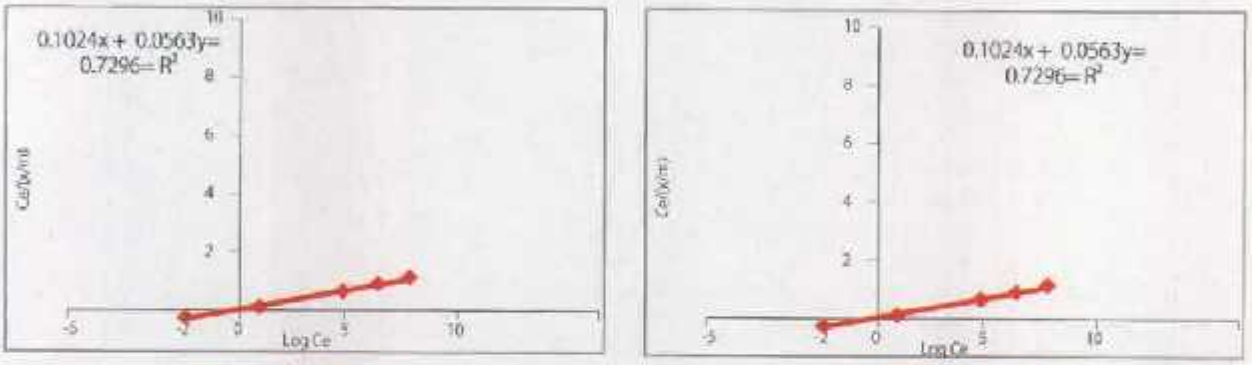
نوع میانبر	نوع فلز	شرایط جذکل حذف				مقدار حذف (٪)	شرایط حداکثر حذف				مقدار حذف (٪)
		X_1	X_2	X_3	X_4		X_1	X_2	X_3	X_4	
پرتقال	کادمیوم	۲	۵	۸۰	۳۰	۰	۶	۹	۲۰	۱۲۰	۹۹/۹۵
پرتقال	کروم	۲	۵	۸۰	۱۵۰	۳۲/۲	۴	۸/۵	۲۰	۳۰	۱۰۰
نارنج	کادمیوم	۲	۵/۵	۸۰	۳۰	۸/۷۱	۷	۹	۲۰	۱۱۰	۱۰۰
نارنج	کروم	۲	۵	۶۰	۲۰	۵۲/۴۶	۳	۹	۸۰	۱۵۰	۹۹/۶۴

جدول ۴. شرایط مقادیر حذف حداقل و حداکثر به‌دست‌آمده برای فلزات کادمیوم و کروم از طریق جذب بر روی میانبر پرتقال و نارنج اصلاح‌شده با استفاده از مدل‌سازی



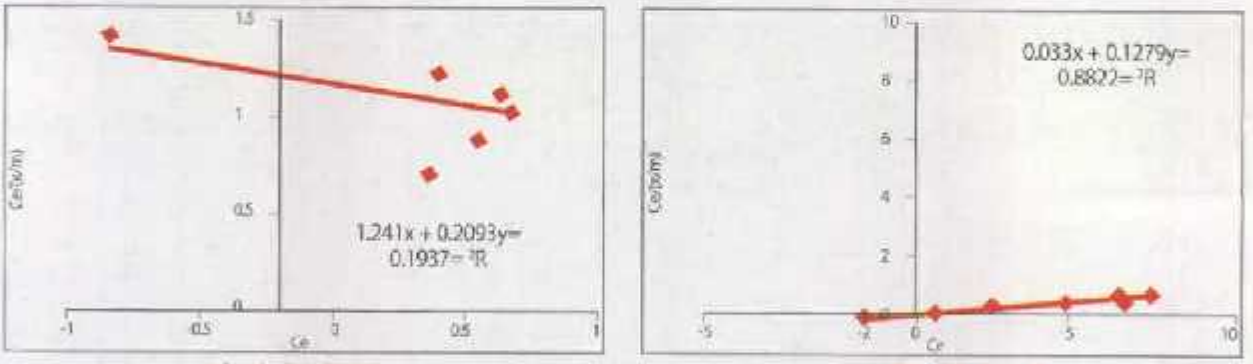
(الف) مدل خطی لانگمویر (ب) مدل خطی فروندلیچ

نمودار ۱. نمودار حاصل از برازش نتایج حاصل از آزمایش جذب کادمیوم توسط میانبر پرتقال اصلاح‌شده



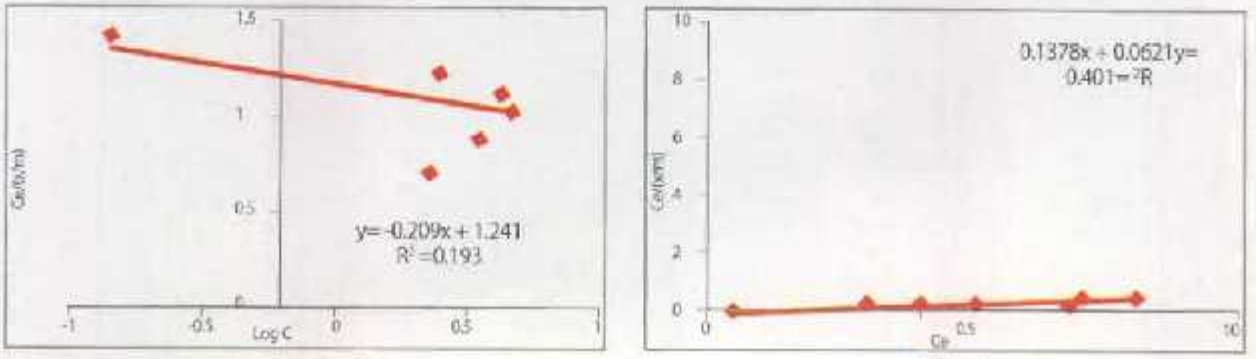
(الف) مدل خطی لانگمویر (ب) مدل خطی فروندلیچ

نمودار ۲. نمودار حاصل از برازش نتایج حاصل از آزمایش جذب کروم توسط میانبر پرتقال اصلاح‌شده



(الف) مدل خطی لانگمویر (ب) مدل خطی فروندلیچ

نمودار ۳. نمودار حاصل از برازش نتایج حاصل از آزمایش جذب کادمیوم توسط میانبر نارنج اصلاح‌شده



(الف) مدل خطی لانگمویر (ب) مدل خطی فروندلیچ

نمودار ۴. نمودار حاصل از برازش نتایج آزمایش جذب کروم توسط میانبر نارنج اصلاح‌شده

جاذب	یون فلزی / ایزوترم	ایزوترم فروندلیچ			ایزوترم لانگمویر		
		R^2	K_F	$1/n$	R^2	K_L (L mg^{-1})	q_m mg g^{-1}
میانبر پرتقال	کادمیوم	۰/۸۳	۵/۶۷	۰/۱۳۹۶	۰/۹۵	۲/۴۸	۱۰/۷۶
	کروم	۰/۸۹	۴/۰۳	۰/۶۷۱۶	۰/۷۳	۰/۵۵	۱۷/۷۶
میانبر نارنج	کادمیوم	۰/۷۷	۵/۰۶	۰/۲۴۳۲	۰/۸۸	۳/۸۸	۷/۸۳
	کروم	۰/۱۹	۱۷/۴۵	۰/۲۰۹۳	۰/۴	۰/۴۵	۱۶/۱

جدول ۵. ثابت‌ها و ضرائب همبستگی ایزوترم‌های جذب فروندلیچ و لانگمویر مربوط به فلزات کادمیوم و کروم روی میانبر پرتقال و نارنج اصلاح‌شده

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بهترین ایزوترم برای جذب کادمیوم و کروم توسط میانبر پرتقال اصلاح‌شده به ترتیب ایزوترم لانگمویر و ایزوترم فروندلیچ است. همچنین بهترین ایزوترم برای جذب کادمیوم توسط میانبر نارنج اصلاح‌شده، ایزوترم لانگمویر بوده و جذب کروم توسط میانبر نارنج از انواع ایزوترم‌های لانگمویر و فروندلیچ تبعیت نمی‌کند.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان گفت میانبر پرتقال و نارنج به‌عنوان زائدات میوه‌هایی که به وفور در منطقهٔ شمال ایران یافت می‌شود، دارای قابلیت حذف فلزات کادمیوم و کروم از محیط‌های آبی هستند. اما جداسازی میانبر از پوست اصلی به‌صورت دستی کار بسیار مشکلی است و در صورت استفاده در مقیاس زیاد، لازم است دستگاهی برای جداسازی، طراحی شود.

همچنین برای کاهش COD ایجادشده در محلول، لازم است میانبرهای آماده اصلاح شوند. پیشنهاد می‌شود تاثیر بازدهی حذف کادمیوم و کروم توسط پوست اصلی و میانبر پرتقال و نارنج به‌صورت توأم با میانبر و پوست اصلی هریک به تنهایی نیز بررسی و مقایسه شود.

به‌طور کلی با کاربرد زائدات کشاورزی و از جمله پوست مرکبات به‌عنوان جاذب، می‌توان از میزان پسماندهای تولیدی کاست و هزینه‌های جذب سطحی فلزات سنگین از منابع آبی را نیز بدین طریق کاهش داد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مازندران در تامین مالی این تحقیق با طرح تحقیقاتی به شماره ۸۸-۵۴ قدردانی می‌گردد.

منابع

[1] GHARAIBEH, S. H., ABU-EL-SHA'R, W. Y. & AL-KOFAHI, M. M. (1998) Removal of selected heavy metals from aqueous solutions using processed solid residue of olive mill products. Water Research, 32, 498-502.

[2] SCIBAN, M., RADETIC, B., KEVRESAN, Z. & KLASNJA, M. (2007) Adsorption of heavy metals from electroplating wastewater by wood sawdust. Bioresource Technology, 98, 402-409.

[3] YAN, G. & VIRARAGHAVAN, T. (2003) Heavy-metal removal from aqueous solutionby fungus Mucorrouxii. Water Research, 37, 4486–4496.

[4] KUBILAY, Ş., GÜRKAN, R., SAVRAN, A. & ŞAHAN, T. (2007) Removal of Cu(II), Zn(II) and Co(II) ions from aqueous solutions by adsorption onto natural bentonite. Adsorption, 13, 41-51.

[5] OGALI, R. E., AKARANTA, O. & ARIRIGUZO, V. O. (2008) Removal of some metal ions from aqueous solution using orange mesocarp. African Journal of Biotechnology, 7, 3073-3076.

[6] مهراسبی، م. ر.، ز. فرهمندگیا (۱۳۸۷) حذف فلزات سنگین از محیط آبی توسط جذب سطحی بر روی پوست موز اصلاح شده. سلامت و محیط، ۱(۱)، صفحات ۶۶-۵۷.

[7] ULMANU, M., ANGER, I., FERNÁNDEZ, Y., CASTRILLÓN, L. & MARAÑÓN, E. (2008) Batch Chromium(VI), Cadmium(II) and Lead(II) Removalfrom Aqueous Solutions by Horticultural Peat. Water Air Soil Pollut, 194, 209–216.

[8] BARAL, S. S., DAS, S. N. & RATH, P. (2006) Hexavalent chromium removal from aqueous solution by adsorption on treated sawdust. Biochemical Engineering Journal, 31 216-222.

[9] FERREIRA, S. L. C., BRUNS, R. E., FERREIRA, H. S., MATOS, G. D., DAVID, J. M., BRANDÃO, G. C., DA SILVA, E. G. P., PORTUGAL, L. A., DOS REIS, P. S., SOUZA, A. S. & DOS SANTOS, W. N. L. (2007) Box-Behnken design: An alternative for the optimization of analytical methods. AnalyticaChimicaActa, 597, 179-186.

[10] KUMAR, U. & BANDYOPADHYAY, M. (2006) Sorption of cadmium from aqueous solution using pretreated rice husk. Bioresource Technology, 97 104-109.

[11] IZANLOO, H. & NASSERI, S. (2005) Cadmium Removal from Aqueous Solutions by Ground Pine Cone. Iranian J Env Health SciEng, 2, 33-42.

[12] FAHIM, N. F., BARSOUM, B. N., EID, A. E. & KHALIL, M. S. (2006) Removal of chromium(III) from tannery wastewater using activated carbon from sugar industrial waste. Journal of Hazardous Materials, B136, 303-309.

ارزیابی و مقایسهٔ روش‌های تولید کمپوست از پسمانده‌های غذایـــی و تاثیر آنها بر رشـــد و عملکـــرد ذرت دانه ای

چکیده

محسن شکرگزار دارابی[1]، محمود رضا تدین[2] و احسان برزویان دستگردی[3]

۱. هنر آموز هنرستان کشاورزی داراب فارس و دانشجوی کارشناسی ارشد رشته اگرواکولوژی دانشگاه شهرکرد
m.shokrgozar@ymail.com
۲. استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد رشته اگرواکولوژی دانشگاه شهرکرد

این پژوهش در سال ۹۰-۱۳۸۹ در شهرستان داراب به‌منظور بررسی و مقایسهٔ تولید کمپوست به دو روش میکروبی (E.M[+]) و استفاده از کرم خاکی (Eisenia foetida) و مقایسهٔ تاثیر آنها بر رشد و عملکرد ذرت دانه ای انجام گرفت. برای جمع‌آوری پسماندهای مورد نظر، ۵۰ خانوار انتخاب و بین آنها کیسهٔ پسماند توزیع شد. جمع‌آوری پس‌مانده‌های غذایی که شامل سبزیجات، پوست و بقایای میوه ها، تعاملهٔ مواد غذایی و نان بود هر دو روز یک بار جمع‌آوری می‌شد. به‌طور متوسط هر خانوار روزانه یک کیلوگرم پس‌ماندهٔ مناسب کمپوست تولید می‌کردند. نتایج نشان داد که استفاده از کرم خاکی در تهیهٔ کمپوست علاوه بر صرفه‌جویی در زمان و سرعت بیشتر، بهداشتی تر و بی بو تر بود و به فضای کمتری نیاز داشت. به‌منظور مقایسهٔ کیفیت این دو نوع کمپوست و مقایسه تاثیر آنها بر رشد و عملکرد ذرت دانه ای، آزمایشی نیز در قالب بلوک های کامل تصادفی با سه تیمار (کمپوست میکروبی، ورمی کمپوست و شاهد) با چهار تکرار در مرکز تحقیقات داراب انجام شد. میزان کمپوست مصرفی ۴۰ تن در هکتار بود. نتایج نشان داد که عملکرد ذرت نسبت به شاهد در تیمارهای ورمی‌کمپوست و کمپوست میکروبی ترتیب ۱۹/۸ و ۱۵/۶ درصد بیشتر بود و این دو تیمار با یکدیگر تنها ۳/۵ درصد اختلاف داشتند که معنی دار نبود. با استفاده از روش ورمی کمپوست علاوه بر حفظ سلامتی محیط زیست و بهبود رشد گیاهان، می توان گام مؤثری در زمینهٔ اشتغال‌زایی نیز برداشت.

کلید واژگان: کمپوست میکروبی، ورمی کمپوست، پسماند، کیفیت

مقدمه

امروزه مهمترین شاخص‌های زندگی بشر، حفاظت از منابع تولید است. بشر دریافته است که تبعات و پیامدهای خسارت و زیان‌هایی که به طبیعت وارد می‌کند، به مراتب بیشتر از بهره‌ای است که از آلودن محیط زیست دریافت می‌کند. از این رو، با به‌کار بستن امکانات عملی و علمی می‌کوشد کمترین زیان را به طبیعت وارد آورد. امروزه تولید پسماند در شهرهای بزرگ مسئله‌آفرین شده است. فرایند تولید پسماند که خود ناشی از فعالیت انسان شهرنشین مصرف‌کننده است و هر روز نیز او را به مصرف بیشتر ترغیب می‌کند، جزء لاینفک زندگی است. از سوی دیگر چنانچه با دیدگاه مثبت به پسماند نگاه کنیم و نام طلای کثیف بر آن بگذاریم، پسماند ماده‌ای است ارزشمند و قابل بازیافت. در چند دههٔ اخیر مصرف نهاده های شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش حاصلخیزی خاک بوده است (شارما، ۲۰۰۲). کشاورزی پایدار بر پایهٔ استفاده از کودهای بیولوژیک و آلی یک راه‌حل مناسب در جهت رفع این مشکلات به‌شمار می رود. این کودها باعث تامین عناصر غذایی به‌صورتی متناسب با تغذیهٔ گیاه، کاهش آلودگی محیط، افزایش کیفیت و پایداری عملکرد به‌ویژه در تولید گیاهان دارویی خواهند شد (کاپور و همکاران، ۲۰۰۴). کشاورزی پایدار بر پایهٔ مصرف کودهای زیستی با هدف کاهش در مصرف کودهای شیمیایی، یک راه‌حل مطلوب جهت غلبه بر این مشکلات است. این کودهای زیستی با افزایش مادهٔ آلی خاک، باعث بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌شود. همچنین عناصر غذایی موردنیاز گیاهان و میکروارگانیسم ها را تامین می‌کنند (صالح راستین، ۲۰۰۱). مصرف طولانی‌مدت کودهای شیمیایی می تواند جامعهٔ میکروبی را تغییر دهد و در جهت کاهش فعالیت میکروبی حرکت کند (چو و همکاران، ۲۰۰۷). بعضی مطالعات نشان داده است که کود های شیمیایی،

میزان زیست‌توده کربن، زیست توده نیتروژن و فعالیت میکروبی را در خاک افزایش می دهند (گوبال و همکاران، ۱۹۹۲). اما مصرف کودهای شیمیایی به مدت طولانی، ممکن است تنوع زیستی، عملکرد و فعالیت میکروبی را کاهش دهد آنزیم هایی که از گیاهان و میکروارگانیسم ها تولید می شوند قادرند ترکیبات فسفری آلی را به فسفات تبدیل کنند. این فرایند توسط فسفاتازها که تقریبا بیشتر به‌صورت دو آنزیم فسفاتاز اسیدی و قلیایی که در بیشتر خاک ها وجود دارند، صورت می گیرد (گیانفردا و بلاک، ۱۹۹۶). اخیرا فرایند تولید ورمی کمپوست با استفاده از کرم های خاکی به‌عنوان یک فناوری آسان و یک روش طبیعت دوست، برای به‌دست آوردن کود آلی از پسماند و تثبیت آن مورد توجه قرار گرفته است. ورمی -کمپوست‌ها دارای عناصری غذایی مانند فسفر و پتاسیم هستند به گونه‌ای که به آسانی برای گیاه قابل جذب و دسترسی است (درزی و همکاران، ۱۳۸۷). در چند دهۀ اخیر مصرف کودهای شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب بروز مشکلات زیست‌محیطی، از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی و تاثیر منفی بر خصوصیات بیولوژیک خاک‌ها شده است (ملکوتی، ۱۳۷۵). مارکوت و همکارانش (۲۰۰۱) در بررسی کمپوست زبالۀ شهری بر فعالیت آنزیم اوره آز در خاک نشان دادند که در سال اول مصرف کمپوست زبالۀ شهری، فعالیت آنزیم اوره آز در خاک هنگام خوشه‌دهی جو نسبت به سایر دوره ها و شاهد بیشتر بوده است. ضمنا بسیاری از مطالعات ثابت کرده اند که افزایش مقدار مادۀ آلی خاک در نتیجۀ کاربرد کودهای آلی، می تواند در دسترس بودن آلاینده ها و فلزات سنگین را کاهش دهد (ون هر ویجتن وهمکاران، ۲۰۰۷). روش های کشاورزی متداول در جهان امروز موفقیت قابل‌قبولی را در استفاده از مدیریت منابع نداشته و با اتکای بیش از حد به نهاده‌های مصنوعی و تزریق انرژی کمکی مانند کودها و سموم شیمیایی باعث ایجاد اکوسیستم‌های زراعی ناپایدار شده است (روبرتز، ۲۰۰۸). با توجه به اینکه استفاده از کودهای شیمیایی در ابتدای فصل زراعی، ممکن است تبدیل فرم شیمیایی قابل استفادۀ عناصر برای گیاه به فرم های دیگر را در پی داشته باشد و یا از طریق آبشویی از دسترس گیاه خارج شوند، بنابراین جهت افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، روش های مصرف کود باید به گونه ای تغییر کند که مواد غذایی مورد نیاز گیاه در طول یک مدت طولانی و بدون تلفات در اختیار گیاه قرار گیرد (کندی و همکاران، ۲۰۰۴). از سوی دیگر با توجه به نیاز بالای عناصر غذایی در ذرت و ناتوانی بیشتر خاک‌های زراعی در تامین این عناصر، میزان مصرف کودهای شیمیایی در این زراعت بسیار بالا است (میر هادی، ۲۰۰۱). مصرف بیش از اندازۀ نیتروژن، نسبت کربن به نیتروژن را برهم‌زده و در نتیجه مواد آلی موجود در خاک‌های زراعی در اثر افزایش ناگهانی جمعیت میکروب های مصرف‌کنندۀ کربن، متهدم می شود (کوچکی و همکاران،۲۰۰۵).

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی سال‌های ۸۹ تا ۹۰ در شهرستان داراب دارای طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۳۳ دقیقه با ارتفاع ۱۱۸۰ متر از سطح دریا و مساحت ۱۱۱۶۶ کیلومتر مربع، به‌منظور بررسی و مقایسۀ تولید کمپوست به دو روش میکروبی (EM") و استفاده از کرم خاکی (Eisenia foetida) و مقایسه تاثیر آنها بر رشد و عملکرد ذرت دانه ای انجام گرفت. برای جمع‌آوری پسماند های مورد نظر، ۵۰ خانوار انتخاب و بین آنها دو نوع کیسه پسماند با رنگ های متفاوت برای جداسازی پس‌مانده های غذایی از سایر پسماند ها، توزیع شد. جمع‌آوری پس‌مانده های غذایی که شامل سبزیجات، پوست و بقایای میوه ها، تمانده مواد غذایی و نان بود، هر دو روز یک بار جمع‌آوری و به محل کمپوست‌سازی در خارج از شهر منتقل و توزین می‌شد. بعد از یک ماه با توجه به وزن پس مانده های جمع‌آوری شده که ۱۴۲۰ کیلوگرم بود، میزان متوسط تولید زبالۀ تولیدی توسط هر خانوار محاسبه شد. به‌طور متوسط هر خانوار روزانه حدود یک کیلوگرم پس‌ماندۀ مناسب کمپوست تولید می کردند. برای تولید کمپوست به دو روش میکروبی و ورمی کمپوست، پس ماندهای جمع‌آوری‌شده به دو بخش تقسیم می شدند. به‌منظور تولید کمپوست میکروبی، پس ماندۀ ها در مخازن ریخته می‌شد و به آن ها میکروارگانیسم های کمپوست‌ساز EM" (Effective microorganism composting) به نسبت ۱ لیتر در هر تن جهت افزایش تراکم ریزجانداران و افزایش کیفیتشان اضافه می‌شد. به‌منظور تولید ورمی کمپوست نیز پسماند ها به‌صورت توازی

بهن شـد و بهوسـیلهٔ نوعی کرم خاکی به نـام Eisenia foetida که در فارسـی به نام کرم قرمز خاکی، حلقوی یارانی و در سـطح جهانی به کرم قرمز کالیفرنیایی و در بین مردم به کرم آشـغال‌خوار معروف است و رنگ آن قهـوه ای مایل به قرمز و کوچک تر از کرم‌های خاکی معمولی اسـت. استفاده شـد. برای تعیین ویژگی های شیمیایی کمپوست های تولیدی، نمونه هایی به آزمایشـگاه ارسال شد (جدول ۱). به‌منظور مقایسهٔ کیفیت این دو نوع کمپوست و مقایسه تاثیر آنها بر رشد و عملکرد ذرت دانه ای، آزمایشـی نیز در قالب بلوک های کامل تصادفی با سـه تیمار (کمپوست میکروبی، ورمی کمپوست و شاهد) با چهار تکرار در مرکز تحقیقات داراب انجام شد. قبل از کاشت، نمونهٔ خاک مزرعه از عمق ۳۰ سانتی‌متری جهت تعیین خصوصیات فیزیکی (جدول ۳) و خصوصیات شیمیایی (جدول ۳) به آزمایشـگاه ارسال شد. کودهای شیمیایی نیترات آمونیوم، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به‌ترتیب به مقدار ۳۰۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در همهٔ کرت ها اسـتفاده شـد. ۷۵ درصد کود نیتروژنی در ابتدای کشـت و بقیهٔ کـود در مراحل پیدایش اندام های نر و ماده مصرف شـد. تیمارهای کمپوست به‌صورت نواری به عمق ۲۵ سانتی متر و به میزان ۴۰ تن در هکتار برای هر تیمار استفاده شد. ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ با فواصل ردیف ۷۵ سـانتی متر در خردادماه کشت شد. صفات مورد بررسی شـامل عملکرد دانه، عملکـرد بیولوژیک و ارتفاع بوته بـود که داده های حاصل با اسـتفاده از نرم‌افزار آماری SAS (SAS، ۱۹۸۹) تجزیه و تحلیل و با اسـتفاده از آزمون LSD در سـطح احتمال ۱ و ۵ درصد بررسی شد.

جاذب	کربن آلی	نیتروژن کل	pH	هدایت الکتریکی	فسفر قابل جذب	پتاسیم
	درصد			dS/m	mg/kg	
ورمی کمپوست	۲۲	۲/۲	۷/۵	۳/۱	۵۰۱۳/۶	۲۳۲۱/۲
کمپوست‌میکروبی	۲۳/۴	۱/۵۱	۷/۴۱	۲/۸	۲۵۲۱/۲	۱۸۵۲/۸

جدول ۱. برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی کمپوست های استفاده‌شده در این تحقیق

درصد وزنی رطوبت خاک			وزن مخصوص gr/cm³		تخلخل خاک (٪)		هدایت الکتریکی	pH	بافت خاک		
PWP	FC	SP	حقیقی	ظاهری	کل	شن	سیلت	رس	dS/m		
۱۴/۴	۲۵/۲۸	۳۶	۲/۳۱	۱/۲۸	۴۵/۲	۳۵/۲	۶۰/۶	۳۴/۲	۱/۸	۷/۹	لوم‌رسی

جدول ۲. نتایج تجزیهٔ فیزیکی خاک محل آزمایش

آهن	منگنز	روی	مس	پتاسیم	فسفر	مادهٔ آلی
قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم)						
۵/۶	۱۲	۰/۸	۰/۹	۳۵۸/۰۰	۱۰/۸	۰/۶۸

جدول ۳. نتایج تجزیهٔ شیمیایی خاک محل آزمایش

نتیجه‌گیری

براسـاس نتایج تجزیهٔ واریانس (جدول ۴) استفاده از کمپوست ها باعث تغییر معنـی‌دار صفات عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در سـطح ۱ درصد و ارتفاع بوته در سـطح ۵ درصد شد. نتایج نشـان داد عملکرد ذرت نسبت به شاهد در تیمارهای ورمی کمپوست و کمپوست میکروبی به‌ترتیب ۱۹/۸ و ۱۵/۶ درصد بیشـتر بود و این دو تیمار با یکدیگر تنها ۳/۵ درصد اختلاف داشتند که معنی دار نبود. استفاده از کمپوست‌ها باعث افزایش معنی دار عملکرد بیولوژیک ذرت نسبت به شاهد در سطح ۱ درصد شد (جدول ۴- ۵). بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار ورمی کمپوسـت با میانگین ۲۴۴۴۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که نسبت به شاهد ۵۶۷۵ کیلوگرم (۳۰ درصد) بیشتر بود (جدول ۵). استفاده از کمپوست تاثیر معنی داری نسبت به شاهد در سطح ۱ درصد بر ارتفاع گیاه داشـت (جدول ۴- ۵). بیشترین ارتفاع گیاه از تیمار ورمی کمپوست با میانگین ۲۹۸ سـانتی متر مشاهده شد که با تیمارهای کمپوست میکروبی و شاهد هم تفاوت معنی دار داشت (جدول ۵) و به ترتیب از تیمارهای کمپوست میکروبی و شاهد ۳۸ و ۸۱ سانتی متر بیشتر بود. تیمارهای ورمی کمپوست و کمپوست میکروبی با هم اختلاف معنی داری نداشتند. براساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، استفاده از ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی دار صفات اندازه گیری شـد. این افزایش احتمالا به علت بهبود شـرایط رشد و افزایش فراهمی عناصر غذایی مودنیاز گیاه توسط کمپوسـت باشد. کمپوست زبالهٔ شهری از کودهای آلی مفید است که با تعدیل نسبت کربن به ازت، افزایش فعالیت میکروارگانیسم ها، ایجاد شرایط اسیدی مناسب و ذخیره‌سازی عناصر غذایی برمصرف در خود، قدرت جذب مواد غذایی خصوصا فسفر را افزایش می دهد (هارگریوز و همکاران، ۲۰۰۸). تحقیقات زیادی نشـان داده اسـت که مصرف کمپوست زبالهٔ شهری موجب افزایش فراهمی فسـفر خاک در مقایسـه با کودهای شیمیایی می شود (کورتنی و مولن، ۲۰۰۸). پسـماندهای آلی (فاضلاب، لجن فاضلاب، کمپوست پسـماندهای شـهری و ...) دارای عناصر کم‌مصرفی هسـتند که می تواند مورد اسـتفاده گیاه قرار گیرد (برار و همکاران، ۲۰۰۰). از طرفی مواد آلی موجود در این پسـماند ها می توانند تعدادی از عناصر کم‌مصـرف موجود در خاک را که گیـاه کمتر آنها را جذب می کند به‌صورت محلـول درآورند (بهاتاچاریا، ۲۰۰۳). با اسـتفاده از روش ورمی‌کمپوسـت علاوه بر حفظ سـلامتی محیط زیست، بهبود رشـد گیاهان، سرعت بیشـتر آن در تبدیل پسماند به کمپوست و بی‌بو بودن آن، می توان گام مؤثری در زمینه اشـتغال‌زایی نیز برداشـت. با توجه به تولید مسـتمر کود دامی، ضایعات محصولات کشاورزی و پسماند های خانگی، بقایای گیاهی و تبدیل آن به ورمی کمپوست، نه یک انتخاب بلکه یک ضرورت غیرقابل اجتناب اسـت. توسعهٔ کشاورزی پایدار، مقابله با خشکسالی، جلوگیری از تخریب خاک، امکان تولید محصولات ارگانیک ، ایجاد اشتغال پایدار و تولید

ثروت از مزایای اجرای این طرح محسوب می شود. تهیهٔ بیوکمپوست از فضولات شهری در مقایسه با سایر روش های دفع پسمانده به‌خصوص سوزاندن، ارزان تر و اقتصادی تر است، به‌طوری‌که در حوالی شهرها با سرمایه‌گذاری کمی می‌توان کود مناسب برای توسعهٔ فضای سبز شهری و یا به منظور فروش تهیه کرد.

پیشنهاد

- ساماندهی بازیافت پسماند با استفاده از پیمانکاران بازیافت و استفاده از روش های کارآمدتر بازیافت از جمله ورمی کمپوست
- استفاده از خودروهای خدمات شهری برای جمع‌آوری زبالهٔ خشک در روز
- استفاده از خودروهای دو منظوره برای جمع‌آوری هم‌زمان پسماندهای تر و خشک
- استفاده از خودروهای خدمات شهری برای جمع‌آوری زبالهٔ خشک در شب
- فراهم کردن زمینه های لازم برای جداسازی پسماند ها در منازل از طریق توزیع کیسه پسماند های مخصوص و مشوق هایی از طرف شهرداری ها به شهروندان

ترجمه آزادی	منابع تغییرات	میانگین مربعات		
		عملکرد دانه (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (kg/ha)	ارتفاع (cm)
بلوک	۳	۲۹۷۱۳/۶۷	۱۱۸۶۰۳۰۷۹/۲۲ ns	۰/۴۹ ns
تیمار	۲	۲۷۶۲۴۵۱/۵۷**	۸۲۲۹۸۹۵۷/۲۵**	۰/۱۹*
خطا	۶	۹۶۳۲۰/۶۲	۲۰۱۰۲۲۵/۵	۰/۰۱۵

جدول ۴. نتایج تجزیهٔ واریانس صفات مورد بررسی

تیمار	عملکرد دانه (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (kg/ha)	ارتفاع (cm)
ورمی‌کمپوست	۷۹۱۹/۳ a	۲۴۴۴۷ a	۲۹۸ a
کمپوست میکروبی	۷۶۴۸/۳ a	۲۱۸۸۶ b	۲۶۰ a
شاهد	۶۶۱۲/۰ b	۱۸۷۷۲ c	۲۱۷ b
LSD	۶۳۶/۱۷	۱۹۴۸/۱	۰/۳۱

جدول ۵. مقایسهٔ میانگین صفات مورد بررسی

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهندهٔ معنی دار نبودن در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD است

منابع

[۱] درزی، م. ت.، قلاوند، ا.، سفیدکن، ف. و رجالی، ف. تأثیر کاربرد میکوریزا، ورمی کمپوست و کود فسفات زیستی بر کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی رازیانه (Foeniculum vulgare Mill). فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. جلد(۴) ص ۳۹۶ تا ۴۱۳، ۱۳۸۷.

[۲] ملکوتی، م. کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه سازی مصرف کود در ایران. نشر آموزش کشاورزی، ۱۳۷۵.

[3] A.K. Sharma, "Biofertilizers For Sustainable Agriculture". Agrobios (India) publications, 2002, 456-478.

[4] R. Kapoor, B. Giriand, K. G. Mukerji, " Improved growth and essential oil yield and quality in foeniculum vulgare Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer". Bioresource Technology, 2004, 93: 307-311.

[5] N. Saleh Rastin, "Biofertilizers and their role in order to reach to sustainable agriculture". A compilation of papers of necessity for the production of biofertilizers in Iran, 2001, 1-54 pp.

[6] H. Y. Chu, X.G. Lin, F. Takeshi, and Morimoto, Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. Soil Biology and Biochemistry, S. 2007, 39: 2971–2976.

[7] S. Goyal, K. Chander, M. C. Mundra, and K. K Kapoor, Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. Biology and Fertility of Soils, 1999, 29: 196–200.

[8] L. Gianfreda, and J. M. Bollag, Influence of soil natural and anthropogenic factors on enzyme activity in soil. Soil Biochemistry, vol. 9. M. Dekker, New York, 1996, pp. 123–193.

[9] I. Marcote , T. Hernandez, C. Garcia, and A. Polo, " Influence one or two successive annual application of organic fertilizers on the enzyme activity of a soil under barley cultivation". Bioresource Technology, 2001, 79: 147–154.

[10] R. Van Herwijnen , T. R. Hutchings, A. Al-Tabbaa, A. J. Moffat, M. L. Johns, and S. K. Ouki, "Remediation of metal contaminated soil with mineral-amended composts". Environmental Pollution, 2007, 150: 347-354.

[11] T. L. Roberts, "Improving nutrient use efficiency". Turk J. Agric. 32: 177-182. SAS Institute. Inc. 1997. SAS/STAT Users Guide, version 6.12. SAS Institute Inc. Cary, NC. 2008.

[12] I.R. Kennedy, A.T. M.A. Choudhury and , M.L Kecskes, "Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited?" Soil Biol. Biochem, 2004, 36: 1229-1244.

[13] M.J. Mirhadi, 2001. Maize. "Agricultural Research, Education and Extension Organization press". 214p.

[14] A. Koocheki, M. Jami-al- ahmadiKamkar, and D.Mahdavi, "Ecologycal principles of agriculture". L. E. Powers- R. McSorley (translated). Shabak press, 2005, 472p.

[15] J. C. Hargreaves, M. S. Adl and P. R. Warman, "A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture". Agriculture, Ecosystems and Environment, 2008, 123: 1–14.

[16] R. G. Courtney and G. J. Mullen, "Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types". Bioresource Technology, 2008, 99:2913-2918.

[17] M. S. Brar, S. S. Malhi, A.P.Singh, C. L. Arora, and K. S. Gill, "Sewage water irrigation effects on some potentially toxic trace elements in soil and potato plants in northwestern India". Canadian Journal of Soil Science, 2000, 80: 465-471.

[18] P. Bhattacharyya, A. K. Ghosh, A. Chakraborty, K. Chakraborty, S. Tripathy, and M. A. Powell, "Arsenic uptake by rice and accumulation in soil amended with municipal solid waste compost". Communication in Soil Science and Plant Analysis, 2003, 34: 2779-2790.

تولید کمپوست از پسماندهای آلی شهری و موادمخرب محیط زیست، با استفاده از فناوری هوادهی پشته‌ای فعال و غیرفعال

علی کوشکی[1]، منصور مرادی[2]
مزدک رسا پور[3]

۱. کارشناس سازمان پارک‌ها و فضای سبز خرم آباد
۲. مدیر عامل سابق سازمان پارک‌ها و فضای سبز خرم آباد
۳. کارشناس ارشد مدیریت پسماند

چکیده

تولید کود آلی کمپوست از پسماند جامد شهری، یکی از روش‌های مفید بازیافت پسماندهای جامد شهری است. تولید کود آلی کمپوست می‌تواند جایگزین مناسبی برای مصرف بی‌رویهٔ کودهای شیمیایی و هزینه‌های هنگفتی که صرف تولید این کودها در کشور می‌گردد باشد. در زمینهٔ تولید کود آلی کمپوست روش‌های متفاوتی وجود دارد که هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایب مربوط به خود هستند. در این تحقیق سه روش هوادهی فعال، غیرفعال و پشته‌ای در قالب طرح کاملا تصادفی، در طول زمان و از نظر پارامترهای روند تغییرات حرارت، ازت، کربن، نسبت کربن به ازت (C/N)، تلفات ازت و ازت نیتراته به منظور رسیدن به بهترین روش تولید کود آلی کمپوست، از پسماندهای شهری مقایسه و ارزیابی شدند. در روش هوادهی فعال و پشته‌ای، بعد از گذشت پنج روز، دما به بالای ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد (دمای ترموفیلیک) رسید؛ درحالی‌که در روش هوادهی غیرفعال بعد از گذشت ۱۲ روز، حرارت به بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد رسید. روش هوادهی غیرفعال از نظر پارامترهای ازت، ازت‌نیتراته و تلفات‌ازت به ترتیب با مقادیر ۱/۴۹، ۳۷۵/۲۳، ۳۶/۳۶ درصد و روش هوادهی فعال از نظر پارامترهای کربن، نسبت کربن به ازت و به ترتیب با مقادیر ۱۰/۶۳، ۷/۵۹ درصد بهترین نتیجه را به خود اختصاص دادند و در مجموع روش هوادهی غیر فعال، به عنوان بهترین روش معرفی می‌شود. پس از آن، به‌ترتیب روش‌های هوادهی فعال و پشته‌ای قرار می‌گیرند.

کلید واژگان: بازیافت، کمپوست، پسماند جامد شهری، هوادهی فعال، هوادهی غیرفعال، هوادهی پشته‌ای

مقدمه

در زمینهٔ مدیریت پسماند جامد شهری، در دنیا روش‌های متفاوتی وجود دارد که مهم‌ترین آنها عبارتند از: ۱. جلوگیری یا کاهش تولید پسماند ۲. بازیافت پسماند ۳. دفن بهداشتی پسماند ۴. سوزاندن پسماند (گارسیا و همکاران، ۲۰۰۵). یکی از روش‌های بازیافت پسماند تهیهٔ کمپوست از این مواد است. از جمله فواید تولید کمپوست این است که محصول به‌دست آمده از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است و صدمات کمتری به محیط زیست وارد می‌کند و یک اصلاح کنندهٔ خوب به‌شمار می‌آید (کالکو و بالدیز، ۲۰۰۴). کمپوست یک مادهٔ مرکب بیولوژیکی و باثبات است که در شرایط دمایی ترموفیلیک تولید و در نهایت منجر به تولید مواد باثباتی می‌گردد که برای نگهداری در انبارها و یا استفاده در زمین‌های کشاورزی مناسب است (پل پراسرت، ۱۹۹۶). فرایند تولید کمپوست به دو صورت هوازی و بی‌هوازی صورت می‌گیرد. اما به دلیل معایبی که روش بی‌هوازی دارد (تولید بوی زننده و نامطبوع و فرایند نسبتا آرامی که باعث می‌شود طول دورهٔ تولید کمپوست افزایش یابد) معمولا فرایند تولید کمپوست، بیشتر به‌روش هوازی صورت می‌گیرد (پل پراسرت، ۱۹۹۶). در زمینهٔ هوادهی (تامین اکسیژن طی مراحل تولید کمپوست) روش‌های متفاوتی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به ۱. روش هوادهی پشته‌ای ۲. روش هوادهی فعال ۳. روش هوادهی غیرفعال ۴. روش تولید راکتوری (استل ماچوسکی و همکاران، ۲۰۰۳) اشاره داشت که سه روش اول از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌تر هستند. هرکدام از روش‌های هوادهی مزایا و معایب خود را دارند. در روش هوادهی پشته‌ای، عمل هوادهی به‌وسیلهٔ زیروروکردن توده‌ها توسط ماشین‌های مکانیکی صورت می‌گیرد. در این روش مدت زمان تولید کمپوست نسبت به روش‌های دیگر کوتاه‌تر است و تجزیهٔ مواد آلی یکنواخت‌تر صورت می‌گیرد. در این روش تولید بوی زننده نیز نسبت به دیگر روش‌ها کمتر است. در زمینهٔ برگرداندن توده‌ها، برنامه‌های متفاوتی وجود دارد که مناسب‌ترین برنامه به شرح زیر است: در اولین هفته سه برگردان، در دومین هفته دو تا سه برگردان، در سومین هفته سه برگردان، در چهارمین و پنجمین هفته یک برگردان، در ششمین هفته و پس از آن هر دو هفته یک برگردان (مؤسسهٔ بین‌المللی مدیریت پسماند، ۲۰۰۳؛ سید حسنی، ۱۳۸۵). در سیستم هوادهی فعال، هوا از طریق دمیدن توسط یک پمپ در داخل لوله‌های تعبیه شده در توده‌های کمپوست صورت می‌گیرد. نرخ مناسب توصیه شده در سیستم هوادهی فعال، برای تولید کمپوست از ضایعات شهری ۰/۶ لیتر به ازای هر کیلوگرم مادهٔ آلی است (رسا پور، ۲۰۰۸). در روش هوادهی غیرفعال، هوادهی به‌طور طبیعی توسط لوله‌هایی که داخل توده‌ها کار گذاشته می‌شوند صورت می‌گیرد. این روش بیشتر در مواردی کاربرد دارد که میزان تلفات ازت بالاست، چراکه کمترین میزان تلفات ازت مربوط به این روش گزارش شده است (پاتین و همکاران، ۲۰۰۱).

مواد روش‌ها

روش اجرایی

در این تحقیق سه روش هوادهی که عبارتند از هوادهی فعال، هوادهی غیرفعال و هوادهی پشته‌ای، به‌روش کاملا تصادفی اجرا شد. برای هر یک از روش‌های هوادهی نیز سه توده (تکرار) در نظر گرفته شد که در مجموع نه توده با ابعاد ۳ مترطول، ۲/۵ متر عرض و ۱/۵ متر ارتفاع و به شکل ذوزنقه از پسماندهای شهری تشکیل گردید. به‌منظور یکنواخت کردن موادی که داخل توده‌ها به‌کار می‌رود پسماندها را از یک سرند تفکیک پسماند، به ابعاد ۸ میلی‌متر گذرانده و از پسماندهایی که در زیر سرند باقی می‌ماند برای ساخت توده‌ها استفاده شد. در روش هوادهی فعال، هوا به‌وسیلهٔ یک پمپ دهنده با نرخ هوادهی ۰/۶ L/kg/min و با تناوب ۱۵ دقیقه‌ای داخل توده‌ها دمیده شد. لوله‌های به‌کار برده شده داخل توده‌ها از جنس PVC بودند که روی سطح این لوله‌ها به منظور عبور دادن اکسیژن سوراخ‌هایی ایجاد شد. در روش هوادهی غیرفعال که هوادهی به‌طور طبیعی صورت می‌گیرد، داخل توده‌ها لوله‌هایی به تواصل ۵۰ سانتی‌متری و به‌صورت عرضی داخل توده‌ها به‌کار برده شد. هوادهی در روش پشته‌ای به‌وسیلهٔ زیرورو کردن توده‌ها صورت گرفت و به‌منظور هوادهی بهتر عمل برگرداندن از یک طرف توده‌ها به طرف دیگر انجام گرفت. عمل برگرداندن توده‌ها نیز طبق برنامهٔ زمانی زیر اجرا شد. سه برگردان در اولین هفته، سه برگردان در دومین هفته، دو برگردان در سومین هفته، یک برگردان در هفته‌های چهارم و پنجم و در ششمین هفته و پس از آن هر دو هفته یک برگردان. اندازه‌گیری دما نیز در تمامی تکرارها به‌طور روزانه و در چهار عمق مختلف (۵ سانتی‌متری، $\frac{1}{4}$، $\frac{2}{4}$، $\frac{3}{4}$) توسط ترمومتر دیجیتالی سیم‌دار صورت گرفت. و مجموع دمای چهار نقطه هر سه روش هوادهی، با دمای روزانهٔ محیط مقایسه شد. به منظور نمونه‌برداری از توده‌ها از هر کدام پنج نمونه در نقاط مختلف توده گرفته شد و این پنج نمونه با هم ترکیب و در نهایت یک نمونه که بیانگر وضعیت تمام قسمت‌های توده بود انتخاب و برای آزمایش به آزمایشگاه فرستاده شد (بی نام، ۲۰۰۵).

روش تجزیه‌ای

نیتروژن کل و کربن کل به وسیلهٔ میکروآنالیز خودکار اندازه‌گیری شدند. ازت نیتراته نیز توسط کروماتوگرافی یونی HPLC اندازه‌گیری (سولانو و همکاران، ۲۰۰۱) و تلفات ازت نیز با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$\text{تلفات ازت} = 100 - 100\left[\frac{X_1 N_2}{X_2 N_1}\right] \quad (1)$$

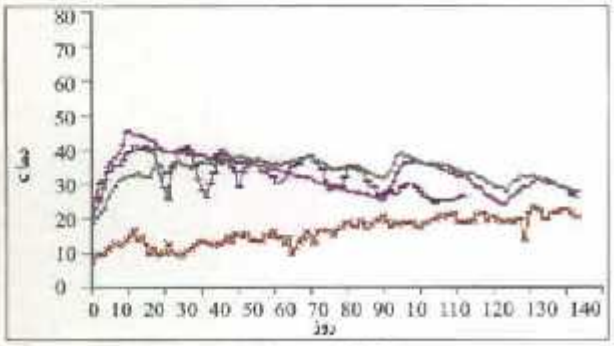
X_1 و X_2 به ترتیب درصد خاکستر اولیه و ثانویه و N_1 و N_2 به ترتیب درصد ازت اولیه و ثانویه

به‌منظور اندازه‌گیری درصد خاکستر، نمونه‌ها در کورهٔ الکتریکی و در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت هشت ساعت قرار گرفتند (سولانو و همکاران، ۲۰۰۱).

یافته‌ها و بحث

روند تغییرات حرارت

حرارت داخل توده‌ها در ابتدای شروع پروژه خیلی سریع افزایش پیدا کرد که بسته به روش هوادهی مورد استفاده، روند این تغییرات متفاوت بود. هر قدر میزان هوادهی توده‌ها بهتر صورت گیرد و اکسیژن مورد نیاز برای فعالیت میکروارگانیسم‌های فعال بهتر در اختیار آنها باشد، میزان درجه حرارت بیشتر می‌شود. در روش هوادهی فعال، حرارت بعد از گذشت پنج روز به بالاتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و روند این افزایش ادامه پیدا کرد تا به دمای ماکزیمم ۷۰ درجه سانتی‌گراد رسید و پس از آن به‌طور یکنواخت کاهش پیدا کرد. در این روش دما در حدود ۶ هفته بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد حفظ شد. در روش هوادهی غیرفعال حرارت بعد از گذشت ۱۳ روز به بالاتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد رسید و دمای ماکزیمم آن در نهایت به ۶۰ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرد. در این روش دما مدت نسبتا طولانی‌تری نسبت به سایر روش‌ها در بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد حفظ شد. در روش پشته‌ای نیز حرارت بعد از گذشت پنج روز به بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد رسید و بعد از گذشت ۱۲ روز به حداکثر درجهٔ حرارت (۶۴ درجه سانتی‌گراد) خود رسید. در بین روش‌های به‌کار برده شده دمای روش هوادهی پشته‌ای نسبت به دو روش دیگر زودتر به کمترین مقدار رسید و به دمای محیط نزدیک شد که علت آن را می‌توان برگردان‌های متوالی توده‌ها دانست. بر اساس تحقیقات انجام گرفته توسط لویز و فوستر (۱۹۸۵)، اگر فقط سه تا چهار روز دمای توده‌ها بالاتر از ۵۵ درجه سانتی‌گراد باشد عوامل بیماری‌زا حذف خواهند شد. بنابراین با توجه به دماهای به‌دست آمده می‌توان به این نتیجه رسید که در تمامی عوامل بیماری‌زا حذف شده باشند. شکل (۱) روند تغییرات دما را برای هر سه روش هوادهی در طول زمان نشان می‌دهد.

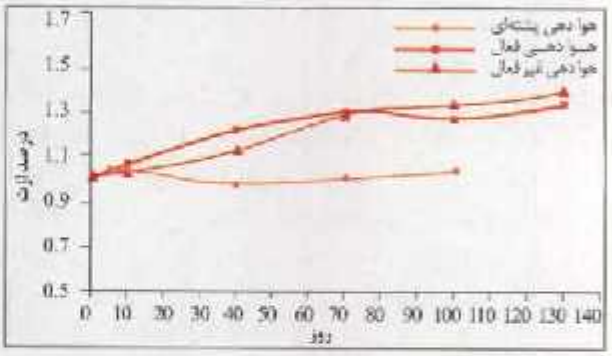


شکل ۱. روند تغییرات دما

روند تغییرات ازت

نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات درصد ازت نشان دهندهٔ این موضوع است که روند تغییرات درصد ازت در تمامی روش‌های به‌کار برده شده، در مجموع روند افزایشی داشته و بین آنها در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود

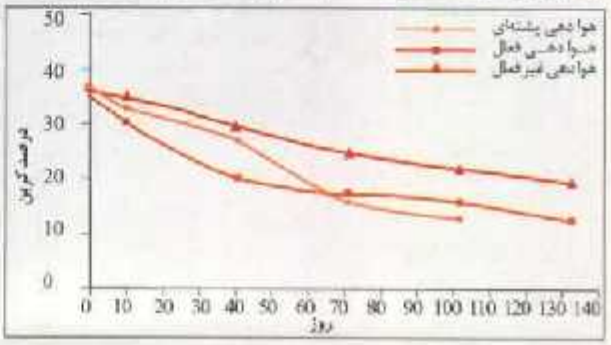
دارد. در بین روش‌های مورد مقایســـه از نظر افزایش میزان درصد ازت، روش هوادهی غیرفعال با مقدار ۱/۴۶ درصد بهترین نتیجه را داشته است و پس از آن روش هوادهی فعال با مقدار ۱/۴ درصد در رتبهٔ دوم قرار می‌گیرد و پس از آنها نیز روش هوادهی پشته‌ای با مقدار ۱/۰۳ درصد در رتبهٔ سوم قرار گرفته است. شکل (۲) روند تغییرات ازت را در طول زمان نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۲) می‌بینیم میزان درصد ازت در روش هوادهی غیرفعال نسبت به دو روش دیگر بیشتر است. به این علت که در این روش، دامنهٔ دمایی مناسب‌تری برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها وجود دارد (هانگ وهمکاران، ۲۰۰۴). میزان درصد ازت به‌دست آمده در روش‌های هوادهی غیرفعال و فعال با استاندارد کشور آلمان و فرانسه مطابق است. در حالی که میزان درصد ازت در روش هوادهی پشته‌ای، با استاندارد کشور آلمان تطابق دارد اما از استاندارد کشور فرانسه کمتر است.



شکل ۲. روند تغییرات ازت

روند تغییرات کربن

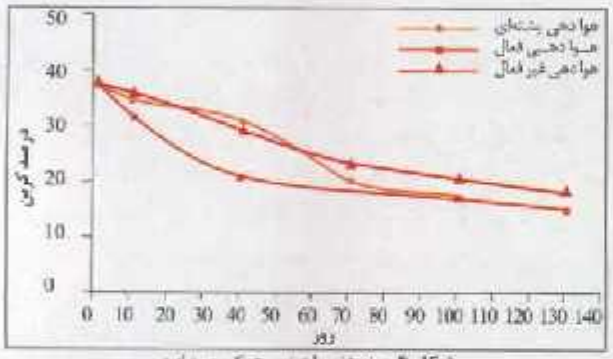
بررسی مراحل تغییرات درصد کربن نشان می‌دهد که میزان درصد کربن در مراحل تولید کمپوست دارای روند کاهشی است و بین روش های مختلف در سطح یک درصد، اختلاف معنی داری وجود دارد. شکل (۳) روند تغییرات درصد کربن را در طول دورهٔ زمانی نشان می دهد. با تجزیه و تحلیل این نمودار مشاهده می کنیم میزان درصد کربن هر سه روش در ماه اول، کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است که علت آن دمای ترموفیلیک در طی این ماه است (فتاتی، ۱۳۸۵؛ پیترو و همکاران، ۲۰۰۴). در بین روش های مورد مقایسه از نظر کاهش میزان کربن، به ترتیب روش هوادهی فعال با میانگین ۱۰/۶۲ درصد بهترین عملکرد را دارد و پس از آن روش هوادهی پشته ای با میانگین ۱۱/۲۴ درصد و روش هوادهی غیرفعال با میانگین ۱۸/۶ درصد در رتبه‌های دوم و سوم قرار می گیرند.



شکل ۳. روند تغییرات کربن

روند تغییرات نسبت کربن به ازت

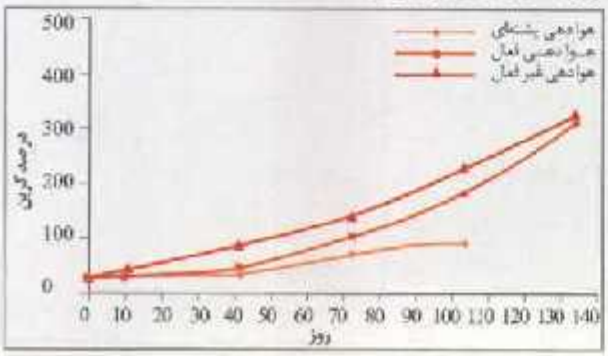
نتایج حاصل از بررســی مراحل تغییرات نسبت کربن به نیتروژن(C/N) نشان می دهد روند تغییرات در تمامی روش های هوادهی به‌کار برده شده در طول مدت زمان تکمیل کمپوســت، در مجموع روند کاهشــی داشته اســت و علت آن، معدنی شــدن مواد آلی است. همچنین بین روش های مختلف از نظر نسبت C/N در سطح یک درصد، اختلاف معنی‌داری وجود دارد. شــکل (۴) روند تغییرات نسبت C/N را در طول زمان فرایند تولید کمپوســت نشان می دهد. با توجه به شکل (۴) می‌بینیم به ترتیب، روش های هوادهی فعال با میانگین ۷/۵۸، روش پشــته‌ای با میانگین ۱۰/۹۱ و روش غیر فعال با میانگین ۱۲/۷ بهترین عملکرد را داشته اند.



شکل ۴. روند تغییرات نسبت کربن به ازت

روند تغییرات ازت نیتراته ($N-NO_3$)

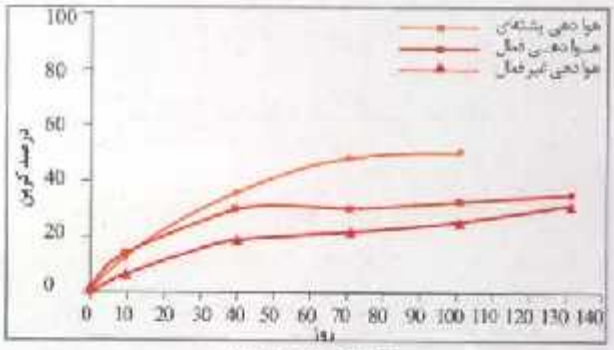
با توجه به اینکه ازت نیترانه راحت‌ترین شکل جذب نیتروژن توسط گیاهان است، در فرایند تولید کمپوست اهمیت ویژه‌ای دارد. در طول فرایند تولید کمپوســته، میــزان ازت نیتراته افزایش پیدا می‌کند. در ســطح یک درصد بین روش‌های مورد مقایســه، از نظر میــزان ازت نیتراته اختلاف معنی‌دار بود. شــکل (۵) نشان دهندهٔ روند تغییرات ازت نیتراته در مدت زمان تهیه کمپوست اســت. همان‌گونه که شکل (۵) نشان می‌دهد، هوادهی غیرفعال بــا میانگین ppm ۳۷۵/۳۳ بهترین عملکرد را داشــته اســت و پس از آن به‌ترتیب روش‌های هوادهی فعال و پشته‌ای با میانگین ۳۵۲/۶۶ و ۱۰۵/۳۳ در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند.



شکل ۵. روند تغییرات ازت نیتراته

روند تلفات ازت

نتایج حاصل از بررسی مراحل تلفات ازت نشان می‌دهد که روند تغییرات، در تمامی روش‌های هوادهی به‌کار برده شده در طول مدت زمان تکمیل کمپوست، در مجموع روند افزایشی داشته و بین تمامی روش ها در سطح یک درصد، اختلاف معنی‌داری وجود دارد. شکل (۶) روند میزان تلفات ازت را نشان می دهد، با توجه به شکل مشخص می شود که کمترین میزان تلفات مربوط به روش هوادهی غیر فعال با میانگین ۳۱/۲۴ درصد است و بعد از آن روش هوادهی فعال کمترین میزان تلفات را با میانگین ۴۰/۵۵ درصد به خود اختصاص داده است و در نهایت بیشترین میزان تلفات ازت مربوط به روش پشته‌ای با میانگین ۵۹/۳۹ درصد است که این نتیجه با تحقیقات سانچز موندرو و همکارانش (۲۰۰۰) مطابقت دارد. بارکیسون و همکارانش (۲۰۰۳) نیز طی تحقیقاتی اظهار کرده‌اند که بیشترین میزان درصد تلفات ازت طی روزهای اولیه فرایند تولید کمپوست اتفاق می افتد که نتایج حاصل از این تحقیق، با تحقیقات قبلی مطابق است.



شکل ۶. روند تلفات ازت

نتیجه‌گیری

این تحقیق در قالب طرح کاملا تصادفی و به منظور رسیدن به بهترین روش تولید کمپوست از پسماندهای جامد شهری انجام گرفته است. در این تحقیق سه روش هوادهی از نظر پارامترهای تغییرات حرارت، ازت، کربن، نسبت کربن به ازت، ازت نیتراته و تلفات ازت مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت و براساس تغییرات این شاخص‌ها، بهترین و مناسب‌ترین روش انتخاب شد. با توجه به نتایج حاصله مشخص شد که هوادهی غیرفعال از نظر پارامترهای نیتروژن، ازت نیتراته و تلفات ازت بهترین نتیجه را به خود اختصاص داده و هوادهی فعال نیز از نظر پارامترهای کربن و نسبت کربن به ازت بهترین عملکرد را داشته و روش هوادهی پشته‌ای از نظر هیچ‌یک از پارامترها، عملکرد قابل توجهی کسب نکرد. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان به این نتیجه رسید که روش هوادهی غیر فعال در مجموع بهترین عملکرد را داشته و به عنوان بهترین روش معرفی می‌شود و پس از آن روش هوادهی فعال قرار می‌گیرد و در نهایت روش هوادهی پشته‌ای نیز به عنوان کم بازده‌ترین روش معرفی می‌شود.

منابع

[۱] سید حسنی، م. ۱۳۸۵. معیارهای طراحی و ویژگی‌های تولید کمپوست در مناطق کویری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران دانشکده محیط زیست. ۱۷۰ صفحه.
[۲] فنائی، ا. ۱۳۸۵. مقدمه‌ای بر مدیریت پسماند جامد (پسماندهای شهری، خطرناک و مواد رادیواکتیو). انتشارات مهد تمدن. ۱۹۹ صفحه.

[3] Anonymous. 2005. Compost sampling for lab analysis. Woods End Research Laboratory.
[4] Garcia, A. I., Esteban, M. B., Marquez, M. C. and Ramos, P. 2005. Biodegradation of municipal solid waste: Characterization and potential use as animal feedstuffs. Waste Management.
[5] Haung, G., Wong, J. W. C., Wu, Q. T. and Nager, B. B. 2004. Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. Wast Management. 24: 805–813.
[6] International Waste Management Institute. 2003. Co-composting of faecal sludge and municipal organic waste. International Waste Management Institute.
[7] Kulcu, R. and Yaldiz, O. 2004. Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes. Bioresource. Technology. 93: 49–57.
[8] Lopez, R. and Foster, J. 1985. Plant pathogen survival during the composting of agricultural wastes. Composting of Agriculture and Other Wastes. Elsevier Applied Science Publishers, London.
[9] Parkinson, R., Gibbs, P., Burchett, S. and Missel brook. 2004. Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorous losses during aerobic composting of cattel manure. 91: 171–176.
[10] Patin, N. K., Kannagara, T., Nielsen, G. and Dinel, H. 2001. composting caged- Layer manure in passively aerated and turned windrows. ASAE Paper No: 012271. American society of Agricultural Engineers, st. Joseph, Michigan, USA.
[11] Pietro, M. and Paola, C. 2004. Thermal analysis for the evaluation of organic matter evaluation during municipal solid waste aerobic composting process. Thermochimico Acta.413: 209-214.
[12] Polprasert, C. 1996. Organic Waste recycling. John Wiley and Sons. Second edition. pp. 69 – 102.
[13] Rasapoor, M., Nasrabadi, T., Kamali, M., and Hovidi, H. 2008. The effects of aeration rate on generated compost quality, using aerated static pile method. Waste Management.
[14] Sanchez – Mondero, M. A., Roig, A., Paredes, C. and Bernal, M. P. 2000. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutges system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixture. Bioresource Technology. 78: 301–308.
[15] Solano, M. L., Iriarte, F., Ciria, P. and Negro, M. J. 2001. Performance characteristics of three aeration systems in the composting of sheep manure and straw. J. Agric. Eng Res. 79: 317–329.
[16] Stelmachowski, M., Jastrzebska, M., and Zarzycki, R. 2003. In Vessel composting for utilizing of municipal sewage-Sludge. Applied Energy. 75: 249-256.

بررسی حرکت و آبشویی فلزات سنگین در خاک‌های تیمارشده با پسماند شهری

چکیده

این مطالعه بمنظور بررسی اثر دو خاک لوم‌شنی و لوم‌رسی بر حرکت فلزات سنگین ناشی از شیرابهٔ پسماند انجام شد. در این مطالعه از طرح آزمایشی فاکتوریل با بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار استفاده شد. برای برقراری جریان غیراشباع ماندگار، شدت جریانی معادل سه‌چهارم کوچک‌ترین ضریب آبگذری تیمارها به ستون‌های خاک دست‌خورده و دست‌نخورده اعمال شد. پس از برقراری جریان ماندگار، حجمی از شیرابه معادل نصف پوروالیوم محاسبه شده برای تیمارهای مختلف به ستون‌های خاک اضافه شد؛ آبشویی ستون‌ها تا پنج برابر حجم آب منفذی ادامه یافت. نمونه‌برداری از زه‌آب به فواصل ۰/۲ پوروالیوم انجام گرفت و غلظت فلزات در زهاب خروجی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که خروج سریع و بالای فلزات از ستون‌های خاک دست‌خورده به‌علت ساختمان پایدار و حضور مسیرهای جریان ترجیحی بود که سبب حرکت بالای فلزات و کاهش جذب آنها به سطوح ذرات خاک شده است. در ستون‌های دست‌خورده ازبین‌رفتن منافذ درشت، کاهش پیوستگی منافذ و ایجاد منافذ مسدود سبب به دام افتادن فلزات و جذب بالای آنها شد. بنابراین سرعت خروج فلزات در ستون‌های دست‌خورده نسبت به ستون‌های دست‌نخورده کندتر بود؛ خصوصا در ستون‌های بابافت لوم‌رسی مقادیر بالای ظرفیت تبادل کاتیونی سبب جذب بالاتر و خروج کم‌تر فلزات نسبت به ستون‌های لوم‌شنی شد.

کلید واژگان: شیرابهٔ پسماند، فلزات سنگین، خاک دست‌خورده، خاک دست‌خورده

الهام اصغرزاده[1]، قاسم رحیمی[2]
آزاده صفادوست[3]، علی‌اکبر محسوبی[4]
و کلایه یوسفی[5]

۱.دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه بوعلی سینا همدان
asgharzadeh.elham@gmail.com
۲،۳ و ۴. اعضاء هیئت علمی دانشگاه بوعلی سینا همدان
۵. کارشناس ارشد گروه فیزیک خاک دانشگاه بوعلی سینا همدان

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت و در پی آن افزایش میزان مصرف مواد غذایی، آرامشی و بهداشتی در دهه‌های اخیر سبب افزایش میزان تولید پسماند و مخاطرات زیست‌محیطی آن شده است. کمبود امکانات و بالا بودن هزینهٔ بازیافت این مواد، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، باعث شده است که بیشترین سهم زبالهٔ تولیدی به روش سیستم دفن پسماند جامد شهری دفع گردد. سیستم زمین‌های دفن پسماند، گودال‌های بزرگی هستند که ضایعات جامد برای تخریه در آنها دفن می‌شوند. این روش دفن مواد، ۹۶ درصد دفع پسماند شهری را به خود اختصاص داده است[۲]. یکی از مهم‌ترین پیامدهای زیست‌محیطی دفع پسماند به این روش، آلودگی منابع آب اطراف محل دفن پسماند در اثر شیرابهٔ تولیدی از این مواد است که مصرف این آب‌ها را با محدودیت جدی روبه‌رو می‌کند. آب‌های زیرزمینی یکی از منابع مهم تامین‌کنندهٔ آب در تمام کشورها محسوب می‌شود که استفاده از آن‌ها در بخش‌های صنعت و کشاورزی روند رو به افزایشی دارد [۱]. بنابراین حفاظت از این منابع به‌ویژه در کشورهای مناطق خشک درحال توسعه مانند ایران که بیش از ۵۲ درصد مصرف آب کشور به منابع آب‌های زیرزمینی متکی است، ضروری است. در نتایج مطالعاتی که دربارهٔ ارزیابی اثرات شیرابه محل دفن پسماند و فاضلاب بر روی کیفیت آب‌های زیرزمینی کشور اردن در سال ۱۹۹۹ صورت گرفته، ورود شیرابه به محیط‌های آبی تهدیدی بسیار جدی شناخته شد [۴]. در مطالعات صورت‌گرفته روی منابع آب زیرزمینی مناطق مجاور گودال‌های دفن پسماند در چند کلان‌شهر اسپانیا مشخص شد اسیدیته و غلظت فلزات کمیاب در این آب‌ها افزایش قابل‌ملاحظه‌ای داشته است[۶]. در ایران نیز به علت استاندارد نبودن محل دفن پسماند در اغلب نقاط شهری، شیرابهٔ تولیدی موجبات آلودگی آب و خاک را فراهم کرده است [۲]. متاسفانه تاکنون مطالعات زیادی دربارهٔ مکان‌یابی محل‌های دفن پسماند در ایران انجام نشده است؛ در مکان‌یابی محل‌های مناسب برای عملیات دفن و دفع پسماند باید یکسری پارامترهای اساسی منطقه مورد مطالعه قرار گیرد. برای مثال موقعیت جغرافیایی و فاصله زمین دفن از مناطق مسکونی شهری و روستایی، ارزیابی فاصله مکان

مورد نظر از منابع آب سطحی و زیرزمینی و از همه مهم‌تر بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های محل دفن. هدف از این پژوهش بررسی اثر برخی پارامترهای فیزیکی در حرکت آلاینده‌های شیرابهٔ پسماند و پیشنهاد راهکارهای مناسب درجهت کاهش خطرات زیست‌محیطی دفن پسماندهاست.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

نمونه‌های خاک دست‌نخورده با استفاده از سیلندرهای فلزی با ارتفاع ۳۲ سانتی‌متر و قطر داخلی ۱۶ سانتی‌متر برداشته شدند؛ بدین ترتیب که سیلندرهای نمونه‌برداری با فاصلهٔ نزدیک به تعداد ۱۰ عدد روی محل نمونه‌برداری قرار گرفته و سپس با استفاده از نیروی چکش که بر صفحهٔ چوبی روی سیلندرها به‌صورت ضربه‌ای وارد شد، به‌صورت مستقیم تا عمق ۳۰ سانتی‌متر در خاک فرو برده شدند. پس از آن، خاک اطراف سیلندرها برداشته شد و با بریدن خاک سطح زیرین سیلندر به‌وسیلهٔ کاردک تیز، سیلندرها از خاک خارج شدند. سطح زیرین سیلندرها با پارچه و نوارسیمی بسته شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. لایهٔ سطحی خاک درونی سیلندر با کاردک تراشیده شد تا ستون خاک به ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر باقی بماند. در طول انجام آزمایش برای جلوگیری ازخشک شدن نمونه‌های خاک به‌طور مرتب با مقادیر کم آب از سطح زیرین مرطوب شدند. نمونه‌های دست‌خورده نیز از همان مکان برداشته و درکیسه‌هایی به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از عبور از الک ۸ میلی‌متری بدون ایجاد شکستگی در خاکدانه‌ها با توجه به حجم مشخص ستون و چگالی ظاهری خاک محل نمونه‌برداری، جرم و مقدار موردنیاز از این نمونه‌ها داخل سیلندرهای مشابه (ارتفاع ۳۲ سانتی‌متر و قطر داخلی ۱۶ سانتی‌متر) ریخته شد. به‌گونه‌ای که وزن مخصوص ظاهری ستون‌های دست‌خورده معادل ستون‌های خاک دست‌نخورده شد.

آزمایش‌های آبشویی

هدایت هیدرولیکی ستون‌ها با استفاده از روش بار ثابت اندازه‌گیری شد و ستون‌های با مقدار هدایت هیدرولیکی مشابه برای انجام آزمایش‌های آبشویی انتخاب شدند. برای برقراری جریان غیراشباع ماندگار، شدت جریانی معادل بیشترین ضریب آبگذری ستون‌ها (۳،۰۷ سانتی‌متر بر ساعت) که مربوط به تیمار بافت لوم‌رسی بود به ستون‌ها اعمال شد. در ادامه، برای برقراری جریان ماندگار مکشی معادل ۱۰ بار با استفاده از یک پمپ خلا به سطح زیرین ستون‌ها اعمال شد. پس از برقراری شرایط جریان غیراشباع ماندگار، محلول جایگزین‌کننده (شیرابهٔ پسماند) به صورت یالسی روی ستون‌های خاک افزوده شد. برای این منظور از یک دکانتور به حجم دو لیتر استفاده شد که به یک پایهٔ فلزی وصل شده بود و در مکانی مناسب بالای ستون خاک قرار داده شد. سپس حجم مشخصی محلول شیرابه (برابر نصف پوروالیوم محاسبه شده برای هر تیمار) حاوی عناصر مس، نیکل و سرب به ترتیب با غلظت‌های ۰،۰۳۱۱، ۱/۱۷۸ و ۳/۵۷ پی پی‌ام (ppm) درون دکانتور ریخته شد. به کمک یک شیلنگ دارای شیر کنترل، محلول جایگزین‌کننده با دبی برابر شدت جریان مورد نظر به سطح خاک اعمال شد. بلافاصله پس از اتمام محلول جایگزین‌کننده، آبشویی به‌وسیلهٔ آب شهری با همان شدت جریان تا پنج برابر حجم آب منفذی (۵ PV) ادامه یافت.کل حجم خروجی محلول جایگزین شونده از ستون‌ها پنج برابر حجم اب منفذی (۵ PV) انها بود که در ۲۵ زمان مساوی (با فواصل ۰/۲ PV) نمونه‌برداری شد. سپس غلظت سرب، نیکلو مس در نمونه‌های خروجی با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. منحنی‌های رخنهٔ کلیهٔ عناصر اندازه‌گیری‌شده بر حسب غلظت نسبی‌شان ($\frac{C}{C_0}$) در مقابل حجم آب منفذی(PV) تا ۵ برابر حجم آب منفذی (۵ PV) رسم شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SAS و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD استفاده شد. برای رسم منحنی‌های رخنه از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

یافته‌ها

ویژگی‌های فیزیکی خاک بویژه شاخص‌های ساختمانی خاک مانند اعوجاج، توزیع اندازه و پیوستگی منافذ بر حرکت و انتقال رطوبت و نمک‌ها در خاک موثرند و درنتیجه بر حرکت آلاینده‌ها به سوی آب‌های زیرزمینی و میزان آلودگی این آبها تأثیر بسزایی دارند. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده است.

بافت خاک	pH	EC (dS/m)	OM (gr/100gr)	CaCO3T (gr/100gr)	pb (gr/cm3)	ρ (gr/cm3)	CEC (cmol/kg)	q (cm/h)
لوم‌رسی	۸/۲۶	۰/۰۹۲	۱/۴۹	۲۱/۵	۱/۵	۱۶/۷	۱۶/۷	۳/۰۷
لوم‌شنی	۷/۴۶	۰/۰۴۵	۰/۷۴	۶	۱/۵۵	۱۲/۴	۱۲/۴	۳/۰۷

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی*

*pH: اسیدیته عصاره ۱ به ۵ خاک به آب؛ EC: هدایت الکتریکی عصاره ۱ به ۵ خاک به آب؛ OM: درصد ماده آلی؛ CaCO3: درصد کربنات کلسیم؛ ρb: چگالی ظاهری؛ ρ: چگالی حقیقی؛ CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی؛ q: شدت جریان آب در ستون‌های خاک؛ PV: حجم آب منفذی

تجزیه و تحلیل آماری

نتایج تجزیه واریانس اثر بافت و ساختمان خاک بر غلظت نسبی فلزات اندازه‌گیری شده در جدول ۲ آورده شده است.

منبع تغییر	درجه آزادی	نسبت F			
		۴/۱۷	۱۱/۷	۳۶/۷	۵۴/۷
مس					
بافت	۱	۲/۸۸	۲۷۸/۵۶*	۱/۵۵	۱/۷۱
ساختمان	۱	۱/۰۶	۲۷۶/۹۲*	۱۳/۱۲*	۱/۸۳
بافت × ساختمان	۱	۱/۲۰	۵۲۶/۶۵*	۰/۱۲	۲/۳۲
سرب					
بافت	۱	۳۶/۶*	۱۱۲/۰۳*	۳۵/۵۱*	۰/۷۴
ساختمان	۱	۴۶/۵۴*	۱۸۹/۶۱*	۰/۰۱	۶/۶۵**
بافت × ساختمان	۱	۳۵/۹۸*	۱۱۲/۱۰*	۳۴/۷۶*	۰/۱۸
نیکل					
بافت	۱	۰/۰۱	۲۴/۸۹*	۴۹/۹۶*	۱۵/۵۸*
ساختمان	۱	۰/۰۱	۲۸/۴۵*	۱۵۷/۱۳*	۱۶/۶۹*
بافت × ساختمان	۱	۰/۰۱	۲۸/۰۶*	۰/۰۵	۱۵/۴۶*

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر بافت و ساختمان خاک بر غلظت نسبی فلزات خروجی از ستون‌های خاک در حجم‌های مختلف آب خروجی

* و ** به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد هستند

نتایج تجزیه واریانس اثر بافت و ساختمان خاک بر غلظت نسبی سرب خروجی نشان داد اثر بافت خاک در تمامی حجم‌های آب منفذی به‌جز حجم آب منفذی ۵ معنی‌دار شد که نشان‌دهندهٔ اثر مهم و قابل توجه بافت خاک بر غلظت نسبی سرب خروجی است. معنی‌دار نشدن اثر بافت خاک در حجم آب منفذی ۵ را می‌توان به غلظت ناچیز سرب در آخرین مرحله آبشویی نسبت داد.

اثر ساختمان خاک در کلیهٔ حجم‌های آب منفذی به‌جز حجم آب منفذی ۳ معنی‌دار بود. معنی‌دار نشدن اثر ساختمان در حجم آب منفذی ۳ نشان‌دهندهٔ غلظت مشابه خروجی سرب در بین تیمارهای مختلف است. اثر متقابل بافت × ساختمان نیز در تمامی حجم‌های آب منفذی به‌جز ۵ معنی‌دار بود. این نتایج نشان می‌دهد که معنی‌داری اثر بافت، ساختمان و اثر متقابل بین آنها با گذشت زمان از شروع آبشویی افزایش یافته و با رسیدن به مراحل انتهایی به علت کاهش غلظت سرب خروجی در حین آبشویی، کاهش می‌یابد.

نتایج تجزیهٔ واریانس اثر بافت و ساختمان خاک بر غلظت نسبی مس خروجی نشان داد، اثر بافت تنها در حجم آب منفذی ۱ معنی‌دار بود. اثر ساختمان نیز در حجم‌های آب منفذی ۱ و ۳ معنی‌دار بود. معنی‌دار نشدن اثر بافت و ساختمان در حجم‌های آب منفذی ۰/۲، ۳ و ۵ را می‌توان به غلظت ناچیز مس خروجی در مراحل ابتدایی و انتهایی آبشویی نسبت داد.

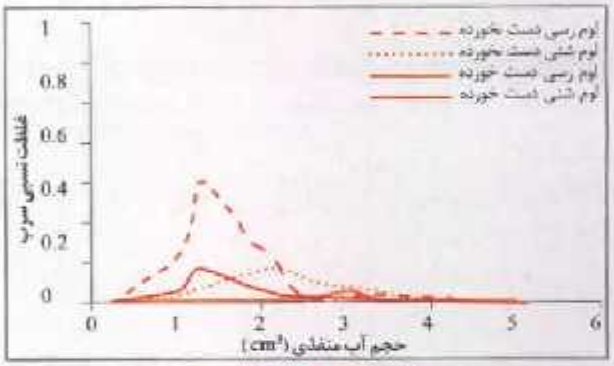
اثر متقابل بافت × ساختمان تنها در حجم آب منفذی ۱ اثر معنی‌دار شد. نتایج نشان می‌دهد با گذشت زمان از شروع آبشویی، اثر معنی‌دار تیمارها افزایش یافته و سپس در مراحل انتهایی آبشویی به علت آبشویی زیاد و کاهش غلظت مس خروجی سبب کاهش معنی‌داری اثر تیمارها می‌شود.

بافت خاک در تمامی حجم‌های آب منفذی به‌جز ۰/۲ دارای اثر

معنی‌دار بر غلظت نسبی نیکل خروجی بود؛ اثر ساختمان خاک نیز در تمامی حجم‌های آب منفذی به‌جز ۰/۲ معنی‌دار شد که نشان‌دهندهٔ اثر قابل‌توجه بافت و ساختمان خاک در حرکت نیکل و خروج آن از ستون‌های خاک در شرایط غیراشباع است. اثر متقابل بافت × ساختمان در تمامی حجم‌های آب منفذی به‌جز ۰/۲ و ۳ معنی‌دار بود.

منحنی رخنه

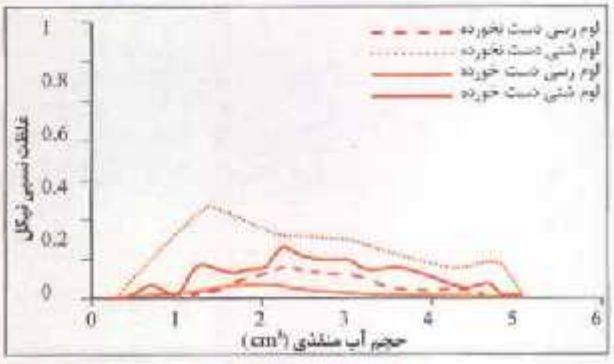
اثر تیمارهای بافت خاک و ساختمان خاک بر منحنی رخنه سرب، نیکل و مس به ترتیب در شکل ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱. منحنی‌های رخنهٔ سرب

منحنی رخنهٔ تیمار لوم‌رسی دست‌نخورده از همان لحظات نخست آبشویی شروع شد، به‌طوری‌که در ۰/۲ pv دارای غلظت نسبی ۰/۰۰۸ بوده است. درحالی‌که سایر منحنی‌ها در این حجم آب منفذی دارای غلظت نسبی صفر بودند. همچنین حداکثر مقدار سرب زه‌آب خروجی در این تیمار در حجم آب منفذی ۱/۲ pv و با مقدار ۰/۳۸۸ قابل مشاهده است.

در واقع منحنی لوم‌رسی دست‌نخورده در ۰/۲ pv شروع شده و بعد از پشت سر گذاشتن نقطهٔ اوج خود در ۱/۲ pv با یک دنبالهٔ کشیده در ۴pv کامل می‌شود. این تیمار با دارابودن مقدار رس، مادهٔ آلی و کربنات کلسیم بالا دارای ساختمان قوی و پایداری است. منحنی بعدی متعلق به خاک‌های لوم‌شنی دست‌نخورده است که نقطهٔ اوج آن (غلظت نسبی ۰/۱۱) در حجم آب منفذی ۱/۲ pv ظاهر شده است. ترتیب سایر تیمارها به این شکل است که در ابتدا منحنی لوم‌شنی دست‌خورده با حداکثر مقدار سرب خروجی (۰/۱۰۸) در حجم آب منفذی ۱/۲ pv و سپس منحنی لوم‌رسی دست‌خورده با حداکثر مقدار خروجی ۰/۰۲۵ در حجم آب منفذی ۳pv قرار گرفتند. در خاک‌های با ساختمان دست‌خورده، پایین بودن پیوستگی منافذ سبب به دام افتادن سرب در منافذ ته‌بسته می‌گردد و درنتیجه مقادیر زیادی سرب به سطوح فعال جذب می‌شود و انتقال آن نسبت به تیمارهای دست‌نخورده کمتر و آهسته‌تر صورت می‌گیرد که با نتایج کمبرکو و همکارانش (۱۹۹۶) مطابقت دارد. این پژوهشگران نشان داده‌اند جریان ترجیحی نقش مهمی در انتقال فلزها از نیمرخ خاک دارد. آنها گزارش کرده‌اند تمامی فلزهایی که به ستون‌های خاک دست‌خورده اضافه شده بود توسط خاک جذب شد، درحالی‌که در ستون‌های خاک دست‌نخورده بخشی از فلزات از خاک عبور کردند [۵]. منحنی‌های رخنهٔ کلیهٔ تیمارها در حجم آب منفذی ۴ pv کامل شدند. کشیدگی زیاد منحنی‌ها نشان‌دهندهٔ غالب‌شدن فرایندهای انتشار و پخش‌شدن در اثر شرایط رطوبتی حاکم است. توسیدن غلظت نسبی سرب خروجی به مقدار ۱= $\frac{C}{C_0}$ به‌علت جذب کاتیونی سرب توسط خاک است. مقدار سرب خروجی در خاک‌های لوم‌رسی دست‌خورده نسبت به لوم‌شنی دست‌خورده پایین‌تر بود که علت آن را می‌توان به ظرفیت تبادل کاتیونی بالای خاک لوم‌رسی (۱۶/۷-cmolckg⁻¹) نسبت به خاک لوم‌شنی (۱۲/۴-cmolckg⁻¹) نسبت داد. یعنی در خاک‌لوم‌رسی دست‌خورده سرب به مقدار زیادی جذب ذرات خاک می‌شود.

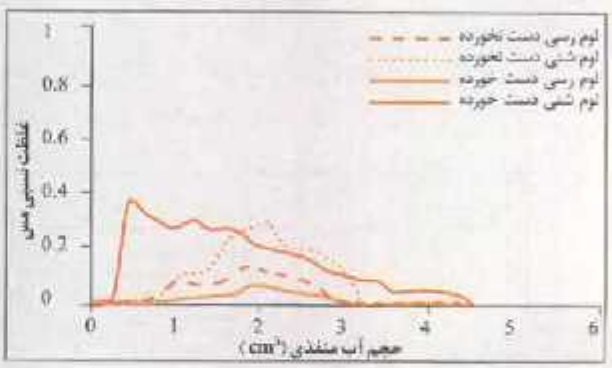


شکل ۲. منحنی‌های رخنهٔ نیکل

در بررسی منحنی رخنهٔ نیکل ابتدا منحنی خاک لوم‌رسی دست‌نخورده قرار دارد. این منحنی از حجم آب منفذی۰/۲ pv(با غلظت نسبی ۰/۰۰۸) شروع شده، در حجم آب منفذی ۱/۴ pvبه نقطه اوج خود (۰/۳) می‌رسد و سپس با شیب ملایمی شروع به کاهش می‌کند و در نهایت در حجم آب منفذی۵ pvکامل می‌گردد.

شیب تند منحنی در ابتدای آبشویی، دلباله کشیده و شکل نامتقارن آن همگی گواهی بر حضور جریان ترجیحی در این خاک دارد. خاک‌های لوم‌رسی از مقادیر بالای درصد رس، مادهٔ آلی و کربنات کلسیم برخوردار هستند که همگی سبب افزایش خاکدانه‌سازی، پایداری ساختمان خاک و در نتیجه افزایش درصد منافذ درشت و پیوستگی منافذ شده و درنهایت سبب افزایش سرعت انتقال آب و املاح می‌شوند.

منحنی بعدی، منحنی خاک لوم‌شنی دست‌نخورده است. این منحنی به علت دارا بودن ساختمان ضعیف‌تر نسبت به تیمار قبلی با تاخیر ظاهر شده است و نقطهٔ اوج آن در PV ۳/۲ (۰/۱۳۶) مشاهده شد. بیشترین مقادیر غلظت نسبی نیکل خروجی تیمارهای لوم‌شنی دست‌خورده و لوم‌رسی دست‌خورده به‌ترتیب در حجم‌های آب منفذی PV ۲/۲۴ (۰/۰۷۸) و PV ۳(۰/۰۳۳) قرار دارند. این منحنی‌ها نسبت به سایر منحنی‌ها دارای کشیدگی بیشتری هستند و شیب ملایم‌تری دارند. چراکه دارای منافذ نه‌بستهٔ زیادی هستند که سبب گیر افتادن نیکل می‌شوند و انتقال و خروج آن را کند می‌کنند.



شکل ۳. منحنی‌های رخنهٔ مس

در مورد مس نیز روند کلی مشابه نیکل و سرب بود. به این مفهوم که منحنی رخنهٔ لوم‌رسی دست‌نخورده نسبت به منحنی رخنهٔ سایر تیمارها زودآیی نشان داد. (شکل ۳) در این تیمار بیشترین غلظت نسبی مس در ۱/۴ pv ظاهر شده است.

بیشترین مقدار غلظت نسبی مس خروجی برای تیمارهای لوم‌شنی دست‌نخورده، لوم‌شنی دست‌خورده و لوم‌رسی دست‌خورده با مقادیر به ترتیب ۰/۲۹، ۰/۱۳ و ۰/۰۶ به ترتیب در حجم‌های آب منفذیpv ۲/۴، ۲ و ۲/۴ ظاهر شدند. منحنی‌های رخنهٔ این سه تیمار در حجم آب منفذی pv ۴/۶ کامل شد.

مقایسهٔ منحنی رخنهٔ فلزها نشان داد مس و سرب نسبت به نیکل با سرعت بیشتری در خاک حرکت می‌کند که با نتایج پیت (۱۹۹۴) مطابقت دارد. پیت با بررسی حرکت آفت‌کش‌ها در خاک‌های شنی و لومی دریافت که سرعت انتقال فلزها با توجه به ماهیتشان متفاوت از هم است.

مس و آهن دارای حرکت رو به پایین قابل توجهی در هر دو خاک بودند. درحالی‌که نیکل، ارسنیک و سرب حرکت روبه‌پایین بسیار کمی را از خود نشان دادند.

روی به دلیل حلالیت بالا، نسبت به آهن دارای غلظت بیشتری در آب زیرزمینی بود و در نهایت ترتیب پویایی و انتقال فلزهای مورد بررسی به آب زیرزمینی بدین ترتیب گزارش شد:

روی>مس> منگنز>سرب> آهن > کروم > نیکل > آلومنیوم[۷].

نتیجه‌گیری

به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود ترتیب خروج فلزات در ستون‌های خاک به این ترتیب بود: لوم‌رسی دست‌نخورده > لوم‌شنی دست‌نخورده > لوم‌شنی دست‌خورده > لوم‌رسی دست‌خورده. خروج سریع و بالای فلزات ازستون‌های خاک دست‌نخورده به‌علت ساختمان پایدار و حضور مسیرهای جریان ترجیحی است که سبب حرکت بالای فلزات می‌شود و جذب آن‌ها را به سطوح ذرات خاک و سایر سطوح جذبی کاهش می‌دهد.

در ستون‌های دست‌خورده در اثر از بین رفتن منافذ درشت و همچنین کاهش پیوستگی منافذ، یک‌سری منافذ ته‌بسته ایجاد می‌شوند که سبب به دام افتادن فلزات شده و جذب بالای آن‌ها را سبب می‌گردند. بنابراین سرعت خروج فلزات در ستون‌های دست‌خورده نسبت به ستون‌های دست‌نخورده کندتر است. به‌ویژه درستون‌های با بافت لوم‌رسی که با داشتن مقادیر بالای ظرفیت تبادل کاتیونی سبب جذب بالاتر و خروج کم‌تر و کندتر فلزات شده است.

منابع

[۱] پیشکار دهکردی، ا. و. بررسی اثرات احتمالی لاگون‌های دفع فاضلاب صنعتی ذوب آهن بر کیفیت شیمیایی آبهای زیرزمینی اطراف آن. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده بهداشت. دانشگاه علوم پزشکی اصفهان. ۱۳۸۸.

[۲] رقیمی،م ضرورت استاندارد سازی سیستم مدیریت مواد زاید شهری.نخستین کنفرانس توسعه و ترویج استاندارد. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. ۱۳۷۹. صص ۲۸۹-۲۹۲.

[۳] عابدی کوپایی، ج. تاثیر لندفیل مشهد بر آلودگی منابع آب زیرزمینی. چهارمین همایش کشوری بهداشت محیط. ۱۳۸۰. صص ۷۱۴-۷۲۰.

[4] Abu-Rukah, Y., Osama, A. The assessment of the effect of landfill leachate on ground water quality- a case study ELA Kader landfill site north Jordan. J. AridEnviromental.2001.49: 615-630.

[5] Camobreco, V. J., Richards, B. K., Steenhuis, T. S., Peverly, J. H. and Mcbride, M. B. movement of heavy metals through undisturbed and homogenized soil columns. Soil Science .1996 . 161: 740-750.

[6] Jose, P. Simultaneous use of agrochemical and geophysical methods to characterize anandoned landfill. J. Enviromental Geology. 2002. 41: 898-905.

[7] Pitt, R. Clark, S. and Parmer, k. Potential groundwater contamination from intentional and nonintentionalstormwater infiltration. Reasearch and Development.EPA.1994. 600. SR. 94/051.

بررسی صرفهٔ اقتصادی احداث خط تولید سوخت RDF در تکمیل خط تفکیک صنعتی پســماند در شیراز

چکیده

علی عبداللهی‌فر[1]، روح‌ا... معظمی[2]
حمید کشتکار[2]

۱. دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک-جاذبات، پژوهشکده هوا و دریا-شیراز
abdollahifar@shirazu.ac.ir
۲. سازمان مدیریت پسماند شهرداری شیراز

توسعهٔ شهرها، افزایش جمعیت، تغییر شیوهٔ زندگی، رشد سریع و بی‌رویهٔ مصرف انرژی و استفاده از منابع تجدید ناپذیر، مشکلات زیادی از جمله تولید پسماند، آسیب‌های زیست‌محیطی، کاهش منابع انرژی، گرم شدن کرهٔ زمین و... را همراه داشته است. برای حل این مشکلات، روش‌های مختلفی مانند پردازش، تفکیک و بازیافت پسماند استفاده می‌شود. همچنین با توجه به رو به اتمام بودن منابع انرژی، مانند سوخت‌های فسیلی نیاز به جایگزینی مناسب، پایدار و مقرون به صرفه برای آنها احساس می‌شود. از این رو انرژی نهفته در پسماند به‌عنوان یک منبع مناسب، ارزان و در دسترس مطرح است که علاوه بر تامین بخشی از انرژی مورد نیاز بشر و صرفه‌جویی در منابع فسیلی موجود، به کاهش مشکلات بهداشتی و زیست محیطی ناشی از تولید پسماند و مصرف سوخت‌های فسیلی نیز کمک می‌کند.

شهر شیراز با ۱۵۱۷۶۵۳ نفر جمعیت در برآورد آماری سال ۱۳۹۰، یکی از شهرهای بزرگ کشور است که طی یک دههٔ گذشته، همراه با پیشرفت‌های تکنولوژیکی و همچنین افزایش جمعیت، شاهد افزایش تقریبا دو برابری در میزان تولید پسماند بوده است. در شهر شیراز روزانه بیش از ۱۰۹۰ تن پسماند تولید می‌شود. اگر چه سیستم بازیافت از مبدا در راستای کاهش دفن و استفادهٔ مجدد از پسماند گام مهمی محسوب می‌شود، اما استفاده از سیستم تفکیک در مقصد در شیراز امری اجتناب ناپذیر است. در همین راستا ساخت خط تفکیک صنعتی پسماند ۲۵۰ تنی شهر شیراز در سال ۱۳۹۰ با هزینه‌ای نزدیک به ۱۵ میلیارد ریال شروع شد. هدف از احداث آن نه تنها تفکیک ۲۵۰ تن پسماند شیراز و کاهش دفن و بازگشت سرمایه‌های ملی بوده، بلکه مطالعات میدانی در خصوص بازده وکارایی ماشین‌آلات و روش‌های بهینهٔ تفکیک و ارزیابی حلقه‌های تکمیلی سیستم تفکیک صنعتی پسماند نیز مورد نظر بوده است. با وجود انجام تفکیک در مبدا و مقصد، در مردودی (REJECT) خروجی خط تفکیک تقریبا تمام پلاستیک‌های سبک و قسمت عمده‌ای از سایر پلاستیک‌های قابل استفاده در تولید RDF، تفکیک‌نشده باقی می‌ماند.

به بخش قابل اشتعال پسماند یا به عبارت دیگر به بخش دارای ارزش حرارتی بالای پسماند شهری RDF می‌گویند. در تولید سوخت RDF باید اطمینان داشت که گرمادهی سوخت حاصل شده بالا و مواد شیمیایی مضر مانند کلر و فلزات سنگین رها شده از آن پایین است. کیفیت سوخت بر میزان موفقیت طرح از لحاظ اقتصادی بسیار موثر است. استانداردهای کیفیت ارائه شده از دیدگاه‌ها و جنبه‌های گوناگون، متفاوت است. این مقاله به بررسی امکان‌سنجی و صرفهٔ اقتصادی تفکیک مواد با ارزش حرارتی بالا، برای تولید RDF، از مردودی خروجی خط ۲۵۰ تنی تفکیک صنعتی پسماند شیراز، پرداخته است. در این راستا قیمت تمام شدهٔ RDF تولیدی با این روش محاسبه و با قیمت سوخت‌های مشابه مقایسه شده است و همچنین صرفه‌جویی ناشی از دفن کمتر پسماند نیز محاسبه شده است. در نهایت پس از معرفی استانداردهای مرتبط، سوخت پیشنهادی با آن‌ها نیز مقایسه شده است.

کلیه واژگان: سوخت مشتق شده از پسماند (RDF)، خط تفکیک صنعتی پسماند، ارزش زیست محیطی، صرفهٔ اقتصادی، انرژی پاک و ارزان

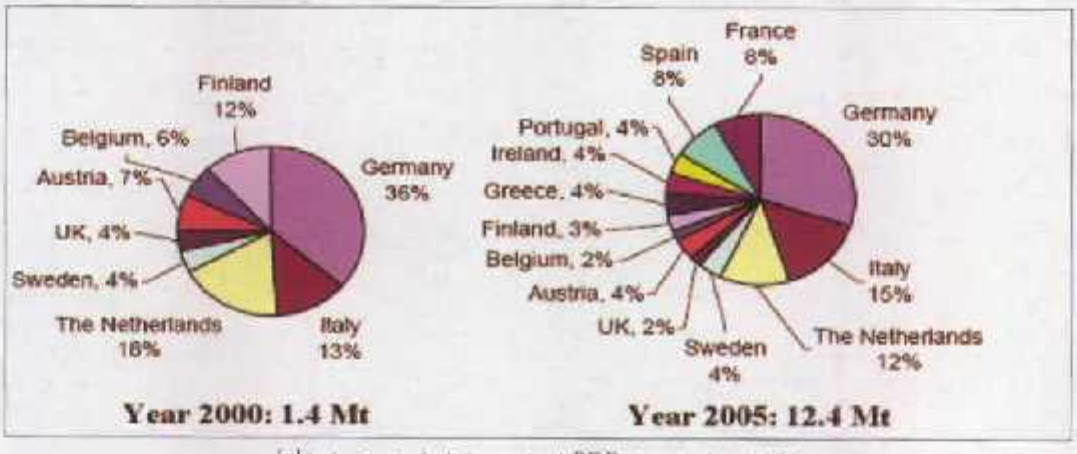
مقدمه

توسعهٔ شهرها، افزایش جمعیت، تغییر شیوهٔ زندگی، رشد سریع و بی‌رویهٔ مصرف انرژی و استفاده از منابع تجدید ناپذیر، مشکلات زیادی از جمله تولید پسماند، مشکلات زیست محیطی، کاهش منابع انرژی، گرم شدن کرهٔ زمین و ... را همراه داشته است. برای حل این مشکل روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها، پردازش و تفکیک پسماندهاست. مهم‌ترین مزیت جداسازی اجزاء مختلف پسماندها و استفادهٔ مجدد از آن‌ها، صرفه‌جویی در منابع و آسیب حداقلی به محیط زیست است. بازیافت که به آماده‌سازی مواد برای استفادهٔ مجدد گفته می‌شود به‌عنوان زیربنای سیستم مدیریت پسماندها مطرح است. امروزه اغلب مواد موجود در ترکیب پسماندها به انواع مختلف بازیافت مستقیم، غیرمستقیم، احیاء و بازیافت و استحصال انرژی قابل استفاده هستند. تکنیک‌های مختلفی در جهان برای تفکیک و جداسازی اجزای ترکیبی پسماندها توسعه یافته‌اند. از مهم‌ترین این تکنیک‌ها می‌توان به دو روش عمدهٔ تفکیک از مبدا تولید و تفکیک در مقصد اشاره کرد. شهر شیراز با ۱۵۱۷۶۵۳ نفر جمعیت در آمارگیری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰، ششمین شهر بزرگ کشور از نظر جمعیتی است. طی یک دههٔ گذشته، همراه با پیشرفت‌های تکنولوژیکی و همچنین افزایش جمعیت، شهر شیراز شاهد افزایش تقریبا دو برابری در میزان پسماندها بوده است. در شهر شیراز روزانه بیش از ۱۰۹۰ تن پسماند تولید می‌شود. اگرچه سیستم بازیافت از مبدا، در راستای کاهش دفن و استفاده مجدد از پسماند گام مهمی محسوب می‌شود، اما نیاز به استفاده از سیستم تفکیک در مقصد در شیراز امری اجتناب‌ناپذیر است. نوع مواد قابل بازیافت، نحوهٔ پردازش مواد بازیافت شده، نحوهٔ راهبری جاری و پیش‌بینی‌های مربوط به آینده، همگی مواردی هستند که در انتخاب و طراحی خط تفکیک صنعتی پسماند باید مدنظر قرارگیرند. در همین راستا در سال ۱۳۹۰ ساخت خط تفکیک صنعتی پسماند ۲۵۰ تنی در شهر شیراز آغاز شد. هدف از احداث آن نه تنها تفکیک ۲۵۰ تن پسماند شیراز و کاهش دفن و بازگشت سرمایه‌های ملی بود، بلکه مطالعات میدانی درخصوص بازده وکارایی ماشین‌آلات و روش‌های بهینهٔ تفکیک و ارزیابی حلقه‌های تکمیلی سیستم تفکیک صنعتی پسماند نیز مورد نظر بوده است.

در این خط از تجهیزاتی مانند هوبر ورودی اسلت اولیه و ثانویه، سرند دوار مجهز به تیغهٔ کیسه پاره کن، مگنت، سالن تفکیک، اتاق کنترل و نوار نقاله استفاده می‌شود. شهر شیراز نیاز به حداقل چهار خط تفکیک پسماند صنعتی دارد که یک خط ۲۵۰ تنی دیگر در همین سوله قابل نصب است. توسط این خط، مواد آلی، فلزات فرومغناطیس، PET، بطری‌های فلزی و بطری‌های شیشه‌ای تفکیک می‌شوند. مواد آلی تفکیک‌شده در تولید کود کمپوست و یا ورمی کمپوست به‌کار می‌روند و سایر موارد تفکیک‌شده به‌منظور استفادهٔ مجدد به فروش می‌رسد. اما با وجود تفکیک در مبدا و مقصد، در مردودی خروجی خط تفکیک تقریبا تمام پلاستیک‌های سبک و قسمت عمده‌ای از سایر پلاستیک‌های قابل استفاده در تولید RDF، تفکیک نشده باقی می‌ماند. به بخش قابل اشتعال پسماند یا به عبارت دیگر به بخش دارای ارزش حرارتی بالای پسماند شهری، سوخت مشتق شده از پسماند[1] می‌گویند که برای اولین بار در کشور آلمان ابتدای دههٔ ۹۰ به عنوان جایگزین سوخت استفاده شد و درحال‌حاضر در بیشتر کشورهای اروپایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تولید سوخت RDF باید اطمینان داشت که گرمادهی سوخت حاصل شده بالا و مواد شیمیایی مضر مانند کلر و فلزات سنگین رها شده از آن پایین است. کیفیت سوخت در میزان موفقیت طرح از لحاظ اقتصادی بسیار موثراست. استانداردهای کیفیت ارائه شده از دیدگاه‌های مختلف و جنبه‌های مختلف متفاوت است. اگرچه در آسیا هنوز استاندارد جامعی برای کیفیت RDF تنظیم نشده است. اما استفاده از استاندارد ارائه شده در اروپا می‌تواند راه‌گشا باشد. در استاندارد کیفیت اروپا، درصد وزنی عناصر کادمیوم، کلر، مس، جیوه، سرب و قلع موجود در RDF به‌عنوان مشخصهٔ آلودگی سوخت مطرح شده است. به‌طور خاص کلر اهمیت زیادی دارد و به دلایل فنی و زیست‌محیطی مقدار آن باید کمتر از یک درصد باشد. همچنین استاندارد دیگری نیز بر مبنای میزان کالری، رطوبت، خاکستر و ... وجود دارد که در این مقاله بررسی شده است. این مقاله به امکان‌سنجی و صرفهٔ اقتصادی تفکیک مواد با ارزش حرارتی بالا برای تولید RDF، از مردودی خروجی خط ۲۵۰ تنی تفکیک صنعتی پسماند شیراز، پرداخته است. در این راستا قیمت تمام شده RDF تولیدی با این روش محاسبه شده و با قیمت سوخت‌های مشابه مقایسه شده است و همچنین صرفه‌جویی ناشی از دفن کمتر پسماند نیز محاسبه شده است.

بررسی تاریخچه RDF[1]

برای اولین بار در جهان، کشـور آلمان در ابتدای دهۀ ۹۰ برای حل مشـکل و کاهش هزینه‌های دفن پسماندها روش پردازش پسـماندهای پس‌سوزی و استفاده از آن به‌عنوان جایگزین سوخت به نام سوخت مشتق‌شده از پسماند را ارائه و توسـط شرکت Herbof ثبت و اجرا کرد. در این روش پسـماندهای مخلـوط بـه روش کاهش حجـم فیزیکـی بیولوژیکی[2] پردازش می‌شـود. به‌طوری‌که پسماندهای آلی به‌روش بیولوژیکی تثبیت و سایر مواد جداسازی می‌شوند. پسماندهایی که ارزش حرارتی با حداکثر رطوبت ۱۵ درصد دارند، جداسازی و به صورت خشک نگهداری می‌شوند تا در کارخانه‌های سیمان یا نیروگاه‌های تولید الکتریسـیته و سایر موارد به‌عنوان سوخت استفاده شوند. همچنین از سـال ۱۹۷۰ تکنولوژی RDF در شمال آمریکا گسترش یافت. دست‌یابی به این دانش و در کنار آن افزایش قیمت انرژی‌های فسیلی موجب شـد که تکنولوژی‌های متعددی برای پردازش پسـماندهای قابل اشتعال و تبدیل آن مواد RDF فراهم شـود. در سال ۲۰۰۸ علاوه بر اینکه ۶۵ درصد انرژی مورد نیاز ۴۹ کارخانۀ سیمان در آلمان از مواد RDF تامین شد و ۴۲ واحد نیروگاه برای تولید الکتریسیته با سـوخت RDF احداث شد بسیاری از واحدهای صنعتی نیز با احداث نیروگاه کوچک، انرژی خود را از RDF تامین کردنـد [۱]. امروزه استفاده از منابع انرژی جایگزین نظیر بازیافت انرژی از پسماند به‌عنوان سوخت جایگزین، به دلیـل ارزانی (در مقایسه با قیمت‌های جهانی انرژی) و قابل دسترس بودن و تبدیل سریع‌تر به انرژی مورد نیاز، مورد توجه قرار گرفته است. سالانه مقادیر زیادی پسماند در آمریکای شمالی، اروپا و ژاپن برای تولید انرژی سوزانده می‌شود که بیش از ۲۵ میلیون تن آن بـه صـورت RDF است. میزان رشد تولید RDF از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۰۵ در اروپا در شکل شماره یک نشان داده شده است [۲].



شکل ۱. میزان رشد تولیدRDF از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۰۵ در اروپا [۲]

تعریف، انواع، استاندارد و ارزش حرارتی RDF

تعریف و انواع RDF

بـه بخش قابل اشـتعال یا به عبارت دیگر به بخـش دارای ارزش حرارتی بالا از پسـماندهای شـهری RDF می‌گویند. اصطلاحـات دیگری نظیر REF[3]، PDF[4]، PPF[5] و PEF[6] نیز به سـوخت مشـتق شـده از پسـماند اطـلاق می‌شـود [۳]. براسـاس تعریـف انجمن آزمـون و مـواد امریکا (ASTM) به سـوخت تکه‌تکۀ مشـتق شـده از پسـماند جامد شـهری (MWS) کـه آهن، شیشـه و دیگر مواد غیرآلی آن گرفته شـده و ذرات آن دارای اندازه‌ای هسـتند که ۹۵ درصد از وزن آنها از سـرند با مش ۲ اینچ مربع عبور کند RDF گفته می‌شـود [۴]. طبق اسـتاندارد ASTM شـماره E856-83 سـال ۲۰۰۶، RDF را می‌توان به هفت دسـته تقسیم کرد. این تقسـیم‌بندی در جدول شماره یک نشـان داده شده اسـت [۴].

استاندارد و ارزش حرارتی RDF

در تولید سوخت RDF باید اطمینان داشت که گرمادهی سوخت تولید شـده، بالا و مواد شـیمیایی مضر مانند کلر و فلزات سنگین رها شده از آن پایین است.

مبحث کیفیت در میزان موفقیت طرح تولید RDF، به لحاظ اقتصادی بسیار موثراست.

استاندارد کیفیت ارائه شده از دیدگاه‌ها و جنبه‌های مختلف متفاوت است. متاسفانه هنوز در آسیا استاندارد کیفیت جامعی RDF تنظیم نشده اسـت [۵]. اما استفاده از استاندارد ارائه شده در اروپا می‌تواند راه‌گشـا باشد. استاندارد کیفیت اروپا در جدول شماره دو نشان داده شده است [۶].

1. Refuse Derived Fuels (RDF)
2. Mechanical Biological Treatment(MBT)
3. Recovered Fuel
4. Packing Derived Fuel
5. Paper and Plastic Fraction
6. Process Engineered Fuel

طبقه‌بندی	مشخصات	نام
۱-RDF	پسماندها به صورت خام	MSW
۲-RDF	پسماندهای پردازش شده یا فرآت درشت تا (بدون) جداسازی فلزات به نحوی که ۹۵ درصد وزنی آن از سرند با مش ۶ اینچ مربع عبور کند	Coarse RDF
۳-RDF	پسماند پردازش شده یا جداسازی فلزات، شیشه، و سایر مواد غیر آلی، به نحوی که از سرند با مش ۳ اینچ مربع عبور کند	Fluff RDF
۴-RDF	بخش قابل احتراق پسماند که به فرم پودر درآمده و ۹۵ درصد وزنی آن از سرند شماره ۱۰ (مش ۰/۰۳۵ اینچ مربع) عبور کند	Powder RDF
۵-RDF	بخش قابل احتراق پسماند که متراکم شده (فشرده شده) و به فرم گلوله‌ای، مکعبی، بریکت یا فرم‌های مشابه است	Densified RDF
۶-RDF	بخش قابل احتراق پسمانده به فرم سوخت مایع	RDF slurry
۷-RDF	بخش قابل احتراق پسماند به فرم گاز	RDF syngas

جدول ۱. طبقه‌بندی RDF طبق استاندارد ASTM شماره E۸۵۶-۸۳ سال ۲۰۰۶ [۲]

استاندارد و ارزش حرارتی RDF

در تولید سوخت RDF باید اطمینان داشت که گرمادهی سوخت تولید شده، بالا و مواد شیمیایی مضر مانند کلر و فلزات سنگین رها شده از آن پایین است. مبحث کیفیت در میزان موفقیت طرح تولید RDF، به لحاظ اقتصادی بسیار موثراست. استاندارد کیفیت ارائه شده از دیدگاه‌ها و جنبه‌های مختلف متفاوت است. متاسفانه هنوز در آسیا استاندارد کیفیت جامعی RDF تنظیم نشده است [۵]. اما استفاده از استاندارد ارائه شده در اروپا می‌تواند راه‌گشا باشد. استاندارد کیفیت اروپا در جدول شماره دو نشان داده شده است [۶].

ماده	سوئیس (۱۹۹۸) mg/Mg	هلند (۲۰۰۰) mg/Mg	بلژیک (۱۹۹۸) mg/Mg	آلمان (۲۰۰۱) mg/Mg
As	۰/۶	n.a.	۰/۵	۰/۷
Be	۰/۲	n.a.	n.a.	۰/۱
Cd	۰/۱	۰/۳	۰/۴	۰/۵
Co	۰/۸	n.a.	n.a.	۰/۷
Cr	۴	n.a.	۶	۱۴
Cu	۴	n.a.	۱۲	۵۶
Hg	۰/۲۰	۰/۰۳	n.a.	۰/۷
Ni	۴	n.a.	۳	۸/۹
Pb	۸	n.a.	۱۱	n.a.
Sb	۰/۲	n.a.	n.a.	۳/۳
Se	۰/۲	n.a.	n.a.	۰/۳
Sn	۰/۴	n.a.	n.a.	۳/۹
Te	n.a.	n.a.	n.a.	۰/۳
Tl	۰/۱۲	n.a.	n.a.	۰/۱۱
V	۴	n.a.	n.a.	۱/۴
Za	۱۶	n.a.	۲۸	n.a.
Chlorine	n.a.	۱/۵ ٪ by weight	۰/۹ ٪ by weight	Only declaration

جدول ۲. استاندارد کیفیت اروپا [۶]

در این استاندارد عناصر کادمیوم، کلر، مس، جیوه، سرب و قلع موجود در RDF به‌عنوان عناصر مشخصه آلودگی مطرح شده‌اند. اما به طور خاص کلر اهمیت بیشتری دارد و به دلایل فنی و زیست‌محیطی باید کمتر از یک درصد باشد. همچنین استاندارد دیگری نیز بر مبنای مقدار کالری، میزان رطوبت، میزان خاکستر و ... وجود دارد که در جدول شماره سه ارائه شده است [۳].

پارامترها	فنلاند	اتریش	انگلستان
ارزش حرارتی (MJ/kg)	۱۳-۱۶	۱۵	۱۸/۷
درصد رطوبت	۲۵-۳۵	حداکثر ۲۵	۷-۲۸ (برای RDF5) و ۲۸ (برای RDF2)
درصد خاکستر	۵-۱۰	۳۰	۱۲
درصد گوگرد	۰/۱-۰/۳	۰/۶	۰/۱-۰/۵
درصد کلر	۰/۳-۱	۰/۱٪	۰/۳-۱/۲

جدول ۳. استاندارد کیفیت اروپا [۳]

میزان حرارت آزاد شده را می‌توان به روش آزمایشگاهی توسط مخزن کالری‌متر و یا با دانستن درصد کربن اکسیژن، هیدروژن، نیتروژن و گوگرد ماده و محاسبه ارزش حرارتی پیوندهای آن با استفاده از رابطهٔ زیر، محاسبه کرد:

$$MJ/kg = 337\ C + 1419\ (H_2 - \%125\ O_2) + 93\ S + 23\ N$$

در این رابطه، کربن، اکسیژن، هیدروژن، نیتروژن و گوگرد برحسب درصد وزنی است. در جدول شماره چهار میزان درصد عناصر یادشده و میزان خاکستر تولیدی از کاغذ، چوب، پلاستیک، منسوجات و لاستیک فهرست شده است [۷]. در جدول شمارهٔ پنج میزان عناصر سنگین و هالوژن‌دار موجود برای پسماند خانگی و کاغذ و پلاستیک فهرست شده است [۸].

RDF	zAsh	zH_2O	zCl	zS	zN	zO	zH	zC
کاغذ	۴/۶۳	۲۱	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۱۶	۳۲/۴	۴/۷۳	۳۴/۲
پلاستیک	۸/۵۹	۱۵	۳	۰/۲۹	۰/۸۵	۸/۰۵	۷/۷۹	۵۶/۴
چوب	۲/۸۲	۱۶	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۳	۳۴/۵	۵/۰۳	۴۱/۳
منسوجات	۱/۹۸	۲۵	۰/۲۷	۰/۲۸	۱/۳	۲۷/۱	۵/۰۲	۳۷/۳
لاستیک و چرم	۲۲/۵	۱۰	۹۷/۴	۰/۱۷	۱/۲۴	۱۱/۶	۵/۳۷	۴۴/۱

جدول ۴. درصد عناصر در مواد مختلف موجود در RDF [۷]

مواد خطرناک	پسماند خطرناک (mg/kg)	کانه (mg/kg)	پلاستیک (mg/kg)
cd	۲/۹	۰/۵	۴۳/۱
cr	۷۶	۲۲	۲۸/۲
Cu	۳۱	۶۵	۷۸
Ni	۱۲	۱۰/۷	۱۸/۸
Pb	۲۹۲	۶۵/۷	۱۷۱/۱
Zn	۳۱۰	۱۰۸	۴۰۲/۲
Ci	۲۷۶۰	۱۷۸۹	-
F	۷۱	۱۰۲	۱۲

جدول ۵. درصد عناصر در مواد مختلف موجود در RDF [۷]

ارزش حرارتی به دو صورت ارزش حرارتی بالا[7] و ارزش حرارتی پایین[8] تعریف می‌شود، که هر کدام کاربرد خود را دارند.

ارزش حرارتی بالا که به آن میزان گرمازایی ناخالص سوخت نیز می‌گویند، زمانی استفاده می‌شود که خروجی حاصل از احتراق چگالش می‌یابد و به‌صورت مایع خارج می‌شوند.

در این حالت انرژی نهفته مورد نیاز برای تبخیر آب نیز در ارزش حرارتی سوخت محاسبه می‌شود.

ارزش حرارتی پایین که به آن میزان گرمازایی خالص نیز می‌گویند و زمانی استفاده می‌شود که خروجی حاصل از احتراق به‌صورت گاز باقی بماند. در این حالت انرژی مورد نیاز برای تبخیر آب از کل ارزش حرارتی کم می‌شود.

با توجه به تعاریف بالا از آنجا که در سوخت RDF آب حاصل از خروجی به‌صورت مایع چگالش نمی‌شود، در محاسبات پایدار از LHV یا گرمازایی خالص استفاده شود. از رابطهٔ زیر می‌توان LHV و HHV را به یکدیگر تبدیل کرد:

$$LHV = HHV\ (MJ/kg) - 0.0224/0\ (W + 9\ H)$$

در این رابطه W درصد وزنی آب و H درصد وزنی هیدروژن است.

در جدول شماره شش ارزش حرارتی سوخت موجود با سایر سوخت ها مقایسه شده است.

نوع	میزان رطوبت (درصد)	ارزش حرارتی (تقریبی) MJ/kg
RDF	-	۳۰-۳۳
نفت سبک	-	۴۲/۶ با چگالی ۰/۸۴۵ کیلوگرم بر لیتر
نفت سنگین	-	۳۹/۵ با چگالی ۰/۹۹۰ کیلوگرم بر لیتر

جدول ۶. مقایسهٔ ارزش حرارتی سوخت RDF با سایر سوخت‌ها

آنالیز پسماند شهر شیراز و مشخصات خط تفکیک صنعتی پسماند

همان گونه که بیان شـده در شهر شیراز روزانه بیش از ۱۰۹۰ تن پسماند تولید می‌شود. اگرچه سیستم بازیافت از مبدا در راستای کاهش دفن و استفادهٔ مجدد از پسماند گام مهمی محسوب می‌شود، اما نیاز به استفاده از سیستم تفکیک در مقصد نیز امری اجتنابناپذیر است. خط تفکیک صنعتی پسماندها که به MRF[9] معروف است روش کارایی در تفکیک پسماندها محسوب می‌شود. مزایای خط تفکیک پسماندها عبارتند از:

- افزایش طول عمر سایت دفن
- کاهش دفن پسماندها
- کاهش زمین‌های مورد استفاده برای محل دفن پسماندها
- تولید شیرابه کمتر
- آلودگی کمتر منابع آب زیرزمینی
- ایجاد درآمد از طریق فروش پسماندهای قابل بازیافت تفکیک شده
- حفاظت از منابع طبیعی
- ایجاد اشتغال
- توسعه پایدار منطقه

آنالیز پسماند شهر شیراز

جدول شماره هفت آنالیز چهار فصلی پسماندهای شهر شیراز نشان داده شده است.

ردیف	اجزاء پسماند	میانگین مناطق به کانه کل شهر شیراز				
		بهار (درصد)	تابستان (درصد)	پاییز (درصد)	زمستان (درصد)	میانگین سالانه(درصد)
۱	فسادپذیر	۶۷/۱۸	۵۸/۴۹	۷۲/۴۳	۶۶/۰۰	۶۶/۲۷
۲	کاغذ و کارتن	۵/۴۱	۵/۶۶	۵/۰۳	۵/۴۳	۵/۳۸
۳	نایلون و نایلکس	۵/۳۵	۷/۳۵	۵/۵۸	۵/۷۸	۵/۹۹
۴	فلزات	۱/۹۸	۲/۱۴	۱/۲۲	۱/۷۱	۱/۷۶
۵	پلاستیک	۱/۴۹	۲/۳۱	۱/۱۳	۱/۵۰	۱/۵۸
۶	پت	۱/۶۹	۲/۸۱	۱/۱۸	۱/۴۶	۱/۷۸
۷	ظروف یکبار مصرف	۱/۳۱	۱/۵۸	۰/۹۵	۱/۴۶	۱/۳۰
۸	شیشه	۲/۲۹	۲/۴۸	۱/۹۰	۲/۸۱	۲/۴۰
۹	سی دی	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۴
۱۰	اجزاء غیرقابل بازیافت	۱۳/۱۷	۱۷/۳۰	۹/۹۵	۱۳/۹۳	۱۳/۵۹
مجموع		۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

جدول ۷. آنالیز پسماندهای شهر شیراز

7. Higher Heating Value (HHV)
8. Lower Heating Value (LHV)
9. Material Recovery Facility (MRF)

مشخصات خط تفکیک صنعتی پسماند شیراز

نوع مواد قابل بازیافت، نحوهٔ پردازش مواد بازیافت شده، نحوهٔ راهبری فعلی و پیش‌بینی‌های مربوط به آینده، همگی مواردی هستند که در انتخاب و طراحی خط تفکیک صنعتی پسماند باید مدنظر قرار گیرند. در همین راستا، ساخت خط تفکیک صنعتی پسماند ۲۵۰ تنی شهر شیراز در سال ۱۳۹۰ آغاز شد که هدف از احداث آن نه تنها تفکیک ۲۵۰ تن پسماند شیراز و کاهش دفن و بازگشت سرمایه‌های ملی بوده، بلکه مطالعات میدانی در خصوص بازده و کارایی ماشین‌آلات و روش‌های بهینهٔ تفکیک و ارزیابی حلقه‌های تکمیلی سیستم تفکیک صنعتی پسماند نیز مورد نظر بوده است. مشخصات خط تفکیک صنعتی در حال اجرای شیراز در جدول شماره هشت، مواد قابل تفکیک در جدول شماره نه و لیست تجهیزات مورد استفاده در جدول شماره ۱۰ ارائه شده است. شهر شیراز با توجه به میزان پسماند در روز نیاز به چهار خط تفکیک پسماند صنعتی دیگر دارد که یک خط ۲۵۰ تنی در همین سوله قابل نصب است.

مشخصهٔ خط	ظرفیت	مکان	طول خط	مساحت سوله	هزینهٔ احداث
کمپته	۲۵۰ تن در روز	محل دفن پسماند برمشور شیراز	۱۱۰ متر	۲۰۰۰ متر مربع	۱۵ میلیارد ریال

جدول ۸. مشخصات خط تفکیک صنعتی شیراز

مواد قابل تفکیک	مواد آلی	فلزات فرومغناطیس	PET	بطری‌های آلومینیومی	بطری‌های پلاستیکی	قطعات پلاستیکی

جدول ۹. مواد قابل تفکیک

نام دستگاه	توضیحات
هوپر ورودی اسلت اولیه و ثانویه	تغذیه خط تفکیک
لودر	جابجایی پسماند
سرند دوار مجهز به تیغهٔ کیسه پاره‌کن	تفکیک مواد آلی براساس اندازه
مگنت	تفکیک فلزات فرومغناطیس
سالن تفکیک	جداسازی پسماندهای خشک به‌صورت دستی
اتاق کنترل	نمایش و کنترل تمام تجهیزات و فرآیندهای خط تفکیک
کانوایر	انتقال پسماند
تأسیسات تهویهٔ مطبوع	ایجاد فضای کاری مناسب

جدول ۱۰. لیست تجهیزات مورد استفاده در خط تفکیک صنعتی شیراز

مراحل تولید RDF

خط تفکیک موجود به این صورت کار می‌کند که پسماند ورودی به کارخانه توسط لودر به هوپر ورودی خط تفکیک تغذیه می‌شود. در ابتدا پسماندهای حجیم به‌صورت دستی تفکیک و سپس پسماندها وارد سرند استوانه‌ای دوار می‌شوند.

توسط این سرند پسماند براساس اندازه (Size) تفکیک می‌شود. مواد آلی زیرسرندی پس از عبور از میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط آهنربا و تفکیک فلزات فرومغناطیس آن، به منظور تولید کود کمپوست ذخیره می‌شود. مواد روسرندی نیز از سرند دوار تکمیلی عبور می‌کند و باقیماندهٔ پسماند آلی آن نیز تفکیک می‌شود. پس از آن پسماند روسرندی، وارد کابین تفکیک می‌شود و مواد قابل بازیافت مستقیم (مانند PET و بطری‌های فلزی غیرآهنی) آن تفکیک و پس از عبور از میدان مغناطیسی و جدا شدن فلزات آهنی آن به‌عنوان مردودی دفن می‌شود. اما کاملا مشهود است که در بین مواد مردودی، مواد با ارزش حرارتی بالا نیز وجود دارد که می‌توان از آن‌ها برای تولید RDF بهره برد.

با این کار نه تنها از اتلاف منابع جلوگیری خواهد شد، بلکه از میزان دفن کاسته و به عمر سایت دفن افزوده می‌شود و همچنین آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از دفن نیز کاسته می‌شود. به این منظور در سالن تفکیک علاوه بر مواد قابل بازیافت مستقیم، مواد غیرقابل بازیافت مستقیم که دارای ارزش حرارتی بالایی هستند (مانند سایر پلاستیک‌ها، لاستیک‌ها، منسوجات و ...) نیز تفکیک می‌شود. بعد از آهنربای مردودی، یک جداساز هوایی نیز نصب شده تا پلاستیک‌ها و کاغذهای سبک هم تفکیک شوند.

در نهایت کاغذ، مقوا، پلاستیک‌های سبک و سایر پلاستیک‌ها و منسوجات تفکیک شده را متراکم می‌کنند تا به d-RDF تبدیل شود. از آنجا که مواد تفکیک شده برای تولید این RDF رطوبت کمی دارند (به علت نداشتن مواد آلی) نیازی به روند خشک‌کنی در تولید این سوخت نیست و به همین علت، قیمت تمام شدهٔ این سوخت کمتر است. همچنین به علت استفاده از مواد با ارزش حرارتی بالا در تولید این RDF، ارزش حرارتی سوخت به‌دست آمده بالاست. این سوخت به‌عنوان جایگزین یا همراه با سوخت‌های فسیلی در کوره‌ها و دیگ‌های بخار یا توربین‌های گازی و مصارف دیگر به‌کار می‌رود که مزیت آن حفظ منابع و امکان جابجایی سوخت برای استفاده در مصارف مختلف است.

همچنین با توجه به رو بـه اتمام بودن منابع انرژی مانند سوخت‌های فسیلـی باید به دنبال جایگزینی مناسب، پایدار و مقرون به‌صرفه برای آن بـود که ایـن سوخت به‌عنوان یک منبع انـرژی در دسترس ارزان مطرح است.

ضمنـا علاوه بر تامین بخشی از انرژی مـورد نیاز، به کاهش مشکلات بهداشتـی و زیست‌محیطی ناشی از تولید پسماند نیز کمک می‌کند. با وجود تمام مزایای یادشده، برای تولید این سوخت مشکلات و موانعی مانند آماده نبودن بستر لازم برای فروش وجود دارد.

ضمـن آنکه رعایت استانـدارد کیفیت این سوخت نیـز مشکل است.

بررسـی اقتصـادیِ تکمیل خـط تفکیک پسماند شیراز به منظور تولید سوخت RDF

بـا توجـه بـه این که هـدف مقالـه بررسـی اقتصـادی تکمیل خط تفکیـک پسمانـد موجود به منظور تولید سوخـت RDF است، عملا هزینه‌هـای احداث زیادی وجود نـدارد و فقط اضافه هزینهٔ بنا (فضای اضافی مورد نیاز دستگاه‌هـای اضافه‌شده و انبار) محسوب شده است. در محاسبهٔ هزینه‌های جاری هزینهٔ برق دستگاه‌ها و هزینهٔ نیروی انسانی اضافه شده به خط تفکیک در نظر گرفته شده است (جدول شماره ۱۱).

محاسبـهٔ هزینـهٔ تولید یک کیلوRDF در دو حالـت ایدئال و نزدیک بـه واقعیت بررسی شده است. در حالـت ایدئال فرض شده است ۱۰۰ درصـد کاغـذ و کارتن و نایلـون و نایلکس و ظـروف یکبار مصرف و پلاستیک‌هـای غیـر قابل بازیافـت مستقیم تفکیک شـده و در تولید RDF استفاده شود.

امـا در حالـت نزدیک به واقعیـت فقط ۸۰ درصد نایلـون و نایلکس و ظروف یکبار مصرف و ۵۰ درصد پلاستیک‌ها تفکیک شده و در تولید RDF استفاده شود. قیمت محاسبه‌شده برای یک کیلو RDF با فرض بازگشـت سرمایهٔ اولیه در یک سال بوده و در این محاسبه صرفه‌جویی ناشـی از دفن‌نکـردن پسماندهای تفکیک شده نیـز لحاظ شده است (جدول شماره ۱۲).

هزینه تامین ماشین آلات (خرید و حمل و نقل)	هزینه اضافه بنای مورد نیاز برای RDF	هزینه‌های جاری اضافه (نیروی انسانی و برق تجهیزات)	صرفه‌جویی حاصل شده از دفن‌نکردن پسماندهای تفکیک شده
۲۰۰۰۰۰۰۰۰	۲۴۸۰۰۰۰۰۰	۲۰۵۸۴۵۰۰۰	۶۵۰۱۵۶۲۵۰

جدول ۱۱. اضافه هزینهٔ مورد نیاز برای احداث خط تکمیلی RDF

وضعیت	قیمت هر کیلو RDF (ریال)	میزان تولید RDF (تن در سال)	صرفه‌جویی حاصل شده ناشی از دفن‌نکردن پسماندها (ریال در سال)
حالت ایدئال	۳۱	۱۳۰۰۳	۶۵۰۱۵۶۲۵۰
حالت واقعی	۱۲۴	۴۰۴۳	۳۰۲۱۲۸۷۵۰

جدول ۱۲. قیمت یک کیلو RDF و میزان تولید RDF و صرفه‌جویی ناشی از دفن‌نکردن پسماند

نتیجه‌گیری

در راستای حفظ منابـع طبیعی و تامین سوخت ارزان که از مهم‌ترین دغدغه‌هـای بشر محسـوب می‌شوند، امکان‌سنجـی و صرفهٔ اقتصادی تکمیـل خط تفکیک پسماند بـرای تولید RDF بررسـی شده است. بـه این منظور ارزش حرارتی سوخـت RDF تولیدی با سوخت‌های رایـج مقایسه شد (جدول شماره شش) کـه این مقایسه نشان‌دهندهٔ مطلـوب بـودن ارزش حرارتی سوخـت پیشنهادی اسـتـو همچنین استانداردهای موجود بررسـی (جداول شماره ۲، ۳و ۵) و سعی شده که سوخت تولیدی این استانداردها را رعایت کند.

با توجه با اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها و واقعی شدن قیمت سوخت بـا مقایسهٔ قیمت‌های سوخت بدون یارانه با قیمت محاسبه شده برای ایـن سوخت (جـدول شمـاره ۱۲) صرفهٔ اقتصادی ایـن طرح کاملا مشخص می‌شود.

عـلاوه بر صرفهٔ اقتصادی، سالانه نزدیک به ۶۰۰۰ تا ۱۳۰۰۰ تن مواد بازیافتـی کمتر دفن می‌شود که این به معنای آسیب کمتر به محیط زیست است.

منابع

[1] شیرزادی، هایده، "استفاده از پسماند قابل اشتعال RDF به عنوان سوخت جایگزین در صنعت سیمان"، فناوری سیمان، شماره ۲۹ بهمن ۱۳۸۸.

[2] B. Bilitewski, "State of the Art and New Developments of Waste to Energy Technologies," In Proceedings of Biomass and Waste to Energy Symposium.Venice

[3] A. Gendebien, A. Leavens, K. Blackmore, A. Godley, K. Lewin, K.J. Whiting and et al. "Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives Final Report.," European Commission, 2003.

[4] American Society for Testing and Materials (ASTM). Standard definitions of terms and abbreviations relating to physical and chemical characteristics of refuse derived fuel, Volume 11.04 Waste Management. Annual Book of ASTM Standards 2006. West Conshohocken: ASTM International 2006.

[5] J. Nithikul, POTENTIAL OF REFUSE DERIVED FUEL PRODUCTION FROM BANGKOK MUNICIPAL SOLID WASTE, Master of Engineering thesis, Asian Institute of Technology School of Environment, Resources and Development ,Thailand, December 2007, pp 5.

[6] V.S. Rotter, T. Kost, J. Winkler, and B. Bilitewski, "Material flow analysis of RDF-production processes.Waste Management." vol. 24, 2004, pp. 1005-1021.

[7] F.D. Maria and G. Pavesi, "RDF to energy plant for a central Italian region SUW management system: Energetic and economical analysis." Applied Thermal Engineering. vol. 26, 2006, pp.1291-1300

[8] P. Tawach and V. Chettiyappan, RDF Production Potential of Municipal Solid Waste, Environmental Engineering and Management Program Asian Institute of Technology, Thailand, 2006.

مروری بر روش‌های نوین جداسازی فیزیکی، تفکیک و بازیافت پسماندهای الکترونیک

چکیده

رضـــا دهـــقان

استادیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد
rdehghans@yazduni.ac.ir

پسماندهای صنایع الکترونیک شامل قراضه‌های کامپیوتر، برد مدارهای چاپی، گوشی‌های تلفن و تجهیزات صوتی و تصویری و سایر تجهیزات برقی مورد استفاده، حاوی عناصر فلزی متعددی نظیر مس، سرب، قلع، نیکل، آهن، کادمیـــوم، آلومینیوم، پلاتین و پالادیوم هستند و دفع آنهـــا آلودگی‌های جبران‌ناپذیری را به محیط زیست وارد می‌کند. امروزه با توسعهٔ صنایع الکترونیک و رشد سریع تولید این محصولات، تفکیک پسماندهای الکترونیک و بازیافت فلزات ارزشمند محتوی آنها یکی از دغدغه‌های اصلی بشر به‌شمار می‌رود. از طرفی بازیافت فلزات موجود در ایـــن پسماندها ارزش اقتصادی قابل‌توجهی دارد و نقش مهمی را در افزایش عمر ذخایر فلزی محدود زیست کرهٔ زمین ایفا می‌کند. لذا با استفاده از اصول و مکانیسم حاکم بر فرایندهای جداسازی مواد معدنی از یکدیگر، فرایندهای متعددی در سال‌های اخیر برای بازیافت فلزات از پسماندهای الکترونیک توسعه یافته‌اند. در این تحقیق روش‌هـــای نوین جداسازی فیزیکی مورد استفاده در تفکیک پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی و بازیافت آنها مطالعـــه شده‌اند. این روش‌ها شامل روش‌های نوین خرد کردن و طبقه‌بندی ابعادی، جداسازی ثقلی، جداسازی مغناطیســـی، جداسازی الکترواستاتیک، جداکنندهٔ جریان سخالف و سایر روش‌های جداسازی بر مبنای اختلاف شکل و ویژگی‌های ظاهری مواد هستند. سپس با بررسی روش‌های صنعتی بازیافت پسماندهای الکترونیک در سایر کشورها و مقایسهٔ آنها پیشنهاداتی برای توسعهٔ این فرایندها در ایران ارائه شده است.

کلیدواژگان: پسماندهای الکترونیک (E- waste)، تفکیک و بازیافت، جداسازی فیزیکی، مغناطیسی، الکترواستاتیک

مقدمه

امـروزه تجهیـزات الکترونیکی اعم از تجهیزات صنعتی، اداری و خانگی در جوامع صنعتی و شهری رشد قابل توجهی دارند. در نتیجهٔ توسعهٔ سریع فناوری‌های تولید محصولات جدید الکترونیک و گسترده‌تر شدن روزافزون بازار مصرف این محصولات و از رده خارج شدن تجهیزات قدیمی‌تر، پسماندهای الکترونیک بیشترین رشد تولید سالانه را داشته‌اند. تولید گوشی‌های تلفن همراه و وسایل صوتی و تصویری متنوع در سال‌های اخیر و ارائهٔ مدل‌های مختلف به بازار نمونه‌ای از این رشد سریع به‌شمار می‌رود. براساس گزارش سال ۲۰۰۵ آژانس حفاظت محیط زیست سازمان ملل متحد سالانه حدود ۵۰ میلیون تن پسماند تجهیزات الکتریکی و الکترونیک در سراسر جهان تولید می‌شود که مخاطرات جدی را برای سلامت بشر و حیات زیست‌کره ایجاد کرده است. براساس این گزارش تنها در کشور چین سالانه حدود ۴ میلیون کامپیوتر شخصی اسقاط می‌شود[۱]. پسماندهـــای الکترونیک حدود یک درصد وزنی پسماندهای شهری را تشکیل می‌دهند اما رشد تولید پسماندهای الکترونیک حدود سه برابر بیشتر از سایر اجزای تشکیل دهندهٔ پسماندهای جامد شهری است. براساس برآوردهای سازمان‌های بین‌المللی حفاظت از محیط زیست در فاصلهٔ زمانی بین سال‌های ۲۰۰۰ تـا ۲۰۰۷ میـلادی تنها حدود ۵۰۰ میلیون کامپیوتر شخصی از رده خارج شده‌اند[۲]. از آنجا که پسماندهای صنایع الکترونیک حاوی مواد خطرناکی هستند، در صورت استفاده نکردن از فناوری‌های مناسب در مرحلهٔ مدیریت و بازیافت، می‌توانند مشکلات زیست‌محیطی متعددی را ایجاد کنند. بازیافت پسماندهای الکترونیک از نظر اقتصادی و بازگرداندن فلـزات و اجـزای باارزش این پسماندها به چرخهٔ تولید و مصرف، نیز حائز اهمیت بسیاری است. در این تحقیق پس از

معرفی ویژگی‌های کلی پسماندهای الکترونیک، روش‌های نوین جداسازی فیزیکی مورد استفاده در تفکیک پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی و بازیافت آنها مرور شده‌اند. این روش‌ها شامل خرد کردن و طبقه‌بندی ابعادی، جداسازی ثقلی، جداسازی مغناطیسی، جداسازی الکترواستاتیکی، جداسازی با استفاده از جریان مخالف و سایر روش‌های جداسازی بر مبنای اختلاف شکل و ویژگی‌های ظاهری مواد هستند.

منابع اولیهٔ پسماندهای الکترونیک

منشاء تشکیل‌دهندهٔ پسماندهای الکترونیکی مشتمل بر لوازم الکترونیکی مورد استفاده در منازل نظیر یخچال، تلویزیون، رادیو، ویدئو، گوشی‌های تلفن ثابت و همراه، ساعت، ماشین‌های لباسشویی و ظرفشویی و سایر لوازم برقی مورد استفاده در آشپزخانه و نیز تجهیزات و لوازم اداری و دفتری شامل کامپیوترها و ابزارهای جانبی آنها، تجهیزات کپی، فکس، اسکن و نیز باتری‌های فرسوده و برد انواع مدارهای چاپی مورد استفاده در تجهیزات و ماشین آلات صنعتی و کارخانه‌ها است. بخش اصلی پسماندهای الکترونیکی شامل برد مدارهای الکتریکی تجهیزات مختلف است که عمدهٔ این تجهیزات در جدول شماره یک نمایش داده شده‌اند.

شکل ۱. منشاء پسماندهای برد مدارهای چاپی وسایل الکترونیک [۲]

ترکیب پسماندهای الکترونیکی

نتایج تحقیقات مختلف حاکی از این واقعیت است که در مراحل مختلف جمع‌آوری، تفکیک و پردازش پسماندهای الکترونیکی، مقادیر قابل‌توجهی از عناصر و فلزات سمی و ترکیبات آلی خطرناک در محیط منتشر می‌شوند. پسماندهای صنایع الکترونیک حاوی عناصر فلزی متعددی همچون مس، سرب، قلع، نیکل، آهن، طلا، نقره، کادمیوم، جیوه، آلومینیوم، پلاتین و پالادیوم هستند و دفن آنها در محل‌های دفن پسماند، آلودگی‌های جبران‌ناپذیری را به محیط زیست وارد می‌کند. درعین‌حال پسماندهای الکترونیک علاوه بر فلزات دارای اجزای دیگری نیز هستند. سهم متوسط اجزای مختلف تشکیل‌دهندهٔ پسماندهای الکترونیک برحسب درصد در جدول شمارهٔ یک ارائه شده است. همچنین برخی از عناصر و ترکیبات خطرناک موجود در پسماندهای مهم الکترونیکی در جدول شمارهٔ دو ارائه شده‌اند.

چنانچه در جدول شمارهٔ یک مشاهده می‌شود بیش از ۶۰ درصد وزنی پسماندهای الکترونیکی از فلزات تشکیل شده است. درعین‌حال بسته به منشاء اولیهٔ پسماند الکترونیکی، سهم بخش‌های مختلف تغییر خواهد کرد. برای مثال، درصد توزیع پنج عنصر فلزی مختلف در محصول خرد کردن قرانیه‌های یک کامپیوتر شخصی در شکل شماره دو نشان داده شده است.

ماده تشکیل دهنده	سهم متوسط در تجهیزات الکترونیکی (درصد)
فلزات آهنی	۳۸
فلزات غیرآهنی	۳۸
پلاستیک	۱۹
شیشه	۵
سایر مواد	۱۰

جدول ۱. منشاء پسماندهای برد مدارهای چاپی وسایل الکترونیک [۳]

نوع پسماند الکترونیکی	ملاحظات یا ترکیبات خطرناک تعمیه
باتری‌های فرسوده	فلزات سنگین از قبیل سرب، جیوه و کادمیم موجود در باتری‌ها
لوله‌های اشعه کاتدی	سرب و پرشش فلورسنت موجود در شیشه‌های پنل
پسماندهای حاوی جیوه مثل سوئیچ‌ها	از جیوه در ترموستات، سنسورها، رله‌ها، سوئیچ‌ها، ابزار آلات پزشکی، تجهیزات انتقال داده، مخابرات و گوشی‌های موبایل‌ها استفاده می شود
پسماندهای حاوی آزبست	پسماندهای حاوی آزبست باید به‌صورت جداگانه عمل‌آوری شود
کارتریج پرینتر و کپی و فکس، تونرهای رنگی	تونرها و کارتریج‌ها حاوی پلیمرهای پلی‌اکریلات، پودر مگنتیت و وزین هستند که همگی سمی‌اند
برد مدارهای چاپی	در تخته‌های مدار چاپی کادمیوم در مقاومت‌ها، دئکتورها و نیمه‌هادی‌ها به‌کار می‌رود
خازن‌های حاوی بی‌فنیل چند کلره	خازن حاوی بی‌فنیل چندکلره به علت سرطان‌زا بودن این ترکیب باید جدا شود
صفحه نمایش کریستال مایع (LCD)	صفحات نمایش کریستال مایع که ابعاد صفحه آنها بیشتر از ۱۰۰ سانتیمتر مربع است باید از سایر پسماندهای الکترونیک جدا شوند
پلاستیک‌های حاوی مواد هالوژنه شدنشعله‌ور شدن	هنگام سوختن این نوع پلاستیک‌ها مواد سمی تولید خواهد شد
لامپ‌های محتوی گازهای خطرناک	جیوه نیز باید از از این لامپ‌ها خارج شود

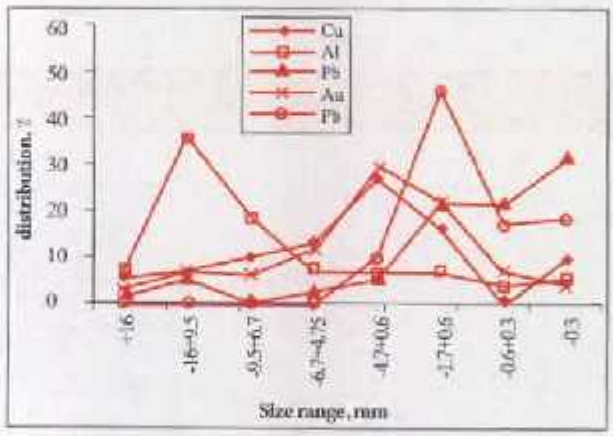
جدول ۲. مواد خطرناک موجود در پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی مختلف [۳]

فرایندهای تفکیک و بازیافت پسماندهای الکترونیک

بازیافت پسماندهای الکترونیک شامل سه مرحله اساسی زیر است:

- پیاده‌سازی قطعات: پیاده‌سازی انتخابی با هدف شناسایی و تفکیک اجزای باارزش و یا خطرناک موجود در پسماند
- پرعیارسازی[1]: استفاده از فرایندهای فیزیکی، مکانیکی و متالوژیکی برای بالابردن عیار مواد محتوی پسماندها
- پالایش[2]: آماده‌سازی مواد بازیافت شده برای بازگشت به چرخهٔ استفادهٔ مجدد به‌عنوان مواد خام

فرایندهای پیرومتالورژیکی و هیدرومتالورژیکی مختلفی برای بازیافت فلزات گرانبها از پسماندهای الکترونیک توسعه‌یافته‌اند اما با کاهش میزان مصرف فلزات گرانبها در وسایل الکترونیکی جدید نیاز به توسعه فرایندهای پیاده‌سازی قطعات، خرد کردن و جداسازی فیزیکی ساده‌تر، با کارایی بالاتر و با سرمایه‌گذاری کمتر احساس می‌شود. فرایندهای فیزیکی و مکانیکی شامل خرد کردن، طبقه‌بندی ابعادی با استفاده از سرندها و سیکلون‌ها، جداسازی براساس شکل ذرات، جداسازی مغناطیسی، جداسازی جریان مخالف، جداسازی الکترواستاتیک و جداسازی ثقلی با استفاده از جیگ به‌طور گسترده‌ای در صنایع بازیافت استفاده شده‌اند اما کاربرد این روش‌ها در تفکیک و بازیافت پسماندهای الکترونیک در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است.



شکل ۳. درصد توزیع پنج عنصر فلزی در محدوده‌های ابعادی محصول خرد کردن قراضه یک کامپیوتر شخصی [۳]

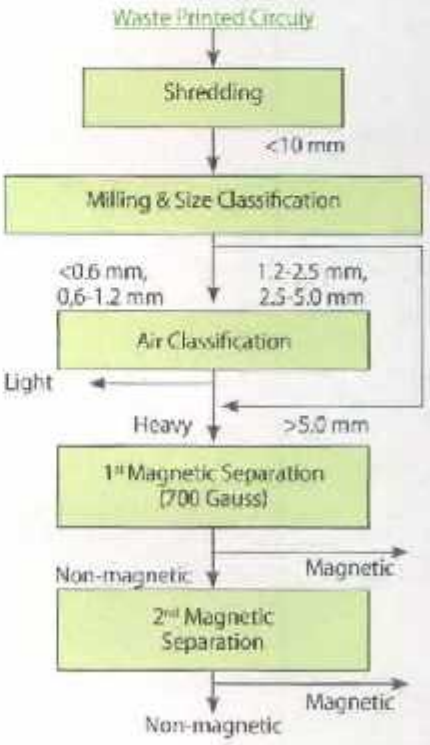
پیاده‌سازی قطعات

پیاده‌سازی انتخابی قطعه و یا گروهی از قطعات از پسماندهای الکترونیکی با هدف شناسایی و تفکیک اجزای باارزش و یا خطرناک موجود در پسماند ضروری است. قبل از خردکردن پسماندها و تبدیل آنها به ابعادی که برای جداسازی توسط یکی از روش‌های جداسازی فیزیکی مناسب باشند جداسازی و پیاده‌سازی برخی از قطعات به‌صورت دستی ضروری است. برای مثال با اطلاع از اینکه فلزات باارزشی در قطعهٔ خاصی از یک ابزار به‌کار رفته‌اند، می‌توان قبل از خردکردن کل ابزار، قطعهٔ مورد نظر را جدا کرد. همچنین به ضرورت پیاده‌سازی قطعات برخی از انواع پسماندهای الکترونیک برای جداسازی بخش‌های خطرناک در جدول شمارهٔ دو اشاره شده است. یکی از فرایندهای مورد استفاده در جداسازی کانی‌ها و مواد معدنی در صنایع پردازش مواد معدنی سنگ جوری[3] است که در این فرایند قطعات مادهٔ معدنی براساس ویژگی‌هایی چون شکل ذرات، رنگ، رادیواکتیویته و ... از یکدیگر جدا می‌شوند. در پیاده‌سازی بخش‌های مختلف تشکیل‌دهندهٔ پسماندهای الکترونیکی نیز از علوم رباتیک به منظور توسعهٔ ربات‌های مناسب استفاده شده است. چراکه درصورت جداسازی دستی این مواد، پرسنل مربوطه از آلودگی‌های عناصر سمی و ترکیبات آلی متعدد موجود در این پسماندها مصون نخواهند بود. پس از پیاده‌سازی قطعات و قبل از جداسازی و بازیافت اجزای مختلف پسماندهای الکترونیک، خردکردن آنها با استفاده از تجهیزات مختلف برش‌دهنده[4] و یا اسیاب‌های چکشی و ضربه‌ای انجام می‌شود. به‌منظور آزادسازی موثر اجزای تشکیل‌دهندهٔ پسماندهای الکترونیکی در اغلب موارد خردکردن آنها تا ابعاد کوچکتر از ۵ الی ۱۰ میلیمتر ضروری است.

1. Upgrading
2. Refining
3. Ore Sorting
4. Shredder

جداسازی مغناطیسی

جداکننده‌های مغناطیسی در صنعت از دیرباز برای جداسازی کانی‌های آهن از سایر باطله‌های همراه استفاده می‌شدند و جداسازی مغناطیسی به عنوان فرایند اصلی تولید کنسانتره‌های آهن در معادن سنگ آهن به‌شمار می‌روند. این جداکننده‌ها در دو نوع خشک و تر و در شدت‌های میدان مغناطیسی ضعیف، متوسط و زیاد و با ظرفیت‌های مختلف در دسترس هستند. در بازیافت پسماندهای الکترونیکی از روش جداسازی مغناطیسی برای جداسازی فلزات دارای خاصیت مغناطیسی از فلزات غیرآهنی و نیز از اجزای غیرفلزی به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. ویت و همکارانش (۲۰۰۵) با استفاده از یک دستگاه جداکنندهٔ مغناطیسی استوانه‌ای خشک با شدت میدان حدود ۶۵۰۰ گوس، کنسانتره‌ای با عیار بیش از ۵۰ درصد آهن از پسماند برد مدارهای چاپی را بازیابی کرده‌اند [۴]. همچنین در تحقیق دیگری در کشور کره در سال ۲۰۰۹ میلادی با استفاده از ترکیبی از فرایندهای ثقلی و مغناطیسی ۸۳ درصد نیکل و آهن محتوی پسماند برد مدارهای چاپی در محصول مغناطیسی و ۹۳ درصد مس محتوی این پسماندها در محصول غیرمغناطیسی بازیابی شده است [۵]. فلوشیت مورد استفاده در این تحقیق در شکل شماره سه نشان داده شده است.



شکل ۳. فلوشیت فرایند خردکردن و جداسازی فیزیکی اجزای فلزی نمونه‌ای از پسماند برد مدارهای چاپی [۵]

جداسازی بر مبنای هدایت الکتریکی

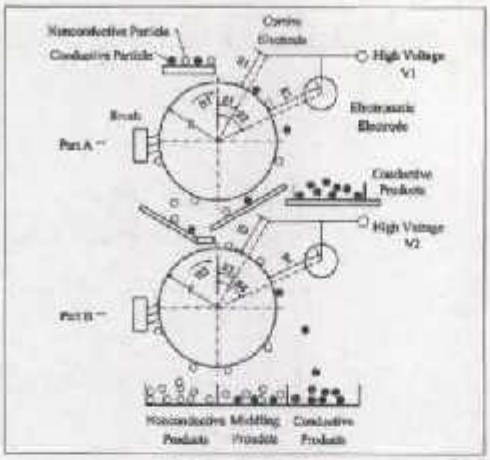
جداسازی الکتریکی نیز یکی از فرایندهای پرعیارسازی مورد استفاده در صنایع پردازش مواد معدنی است که به منظور جداسازی کانی‌های هادی (نظیر کانی‌های حاوی تیتانیوم) از کانی‌های غیرهادی (نظیر سیلیکات‌ها) استفاده می‌شود. از آنجا که اجزای فلزی موجود در پسماندهای الکترونیک هادی الکتریسیته است و سرامیک‌ها و مواد پلیمری تشکیل‌دهندهٔ این پسماندها غالبا غیرهادی هستند، لذا از جداسازی الکترواستاتیک به‌طور گسترده در بازیافت پسماندهای الکترونیک استفاده می‌شود. فرایندهای جداسازی بر مبنای هدایت الکتریکی خود به سه دسته جداسازی با استفاده از جریان مخالف، جداسازی الکترواستاتیک تخلیه کرونا و جداسازی تریبوالکتریک تقسیم‌بندی می‌شوند. این سه روش جداسازی از نظر معیار جداسازی، مواد قابل بازیافت و محدودهٔ ابعادی مناسب مواد خوراک در جدول شماره سه ارائه شده‌اند.

نوع فرایند	معیار جداسازی	مواد قابل جداسازی	محدودهٔ ابعادی جداسازی
جداسازی با استفاده از جریان عبور هم‌جهت	هدایت الکتریکی و اختلاف چگالی	جداسازی مواد غیرفلزی از فلزات غیرآهنی	بزرگتر از ۵ میلیمتر
جداسازی الکترواستاتیک با تخلیه کرونا	هدایت الکتریکی	جداسازی فلز از غیرفلز	۰/۱ تا ۵ میلیمتر
جداسازی تریبوالکتریک	اثبات دی‌الکتریک	جداسازی اجزای پلیمری و پلاستیک (مواد غیرهادی)	کوچکتر از ۵ میلیمتر

جدول ۳. مقایسهٔ روش‌های جداسازی فیزیکی بر مبنای اختلاف هدایت الکتریکی [۳]

اصول جداسازی جریان مواد رسانا از مواد نارسانا در یک جداکنندهٔ الکترواستاتیک غلتکی دو مرحله‌ای مجهز به سیستم تخلیهٔ کرونا در شکل شماره چهار نشان داده شده است.

این دستگاه توسط جیانگ و همکارانش برای بازیافت فلزات از پسماندهای برد مدارهای چاپی ساخته شده است و قابلیت تولید سه محصول هادی، غیرهادی و میانی را دارد [۶]. ویت و همکارانش (۲۰۰۵) نیز با استفاده از جداکنندهٔ الکترواستاتیک تخلیهٔ کرونا کنسانتره‌ای فلزی با عیار متوسط ۵۰ درصد مس، ۲۵ درصد قلع و ۷ درصد سرب را از پسماند برد مدارهای چاپی بازیابی کرده‌اند.



شکل ۴. مدار دو مرحله‌ای جداسازی الکترواستاتیک مورد استفاده در بازیافت پسماندهای الکترونیک [۶]

جداسازی ثقلی

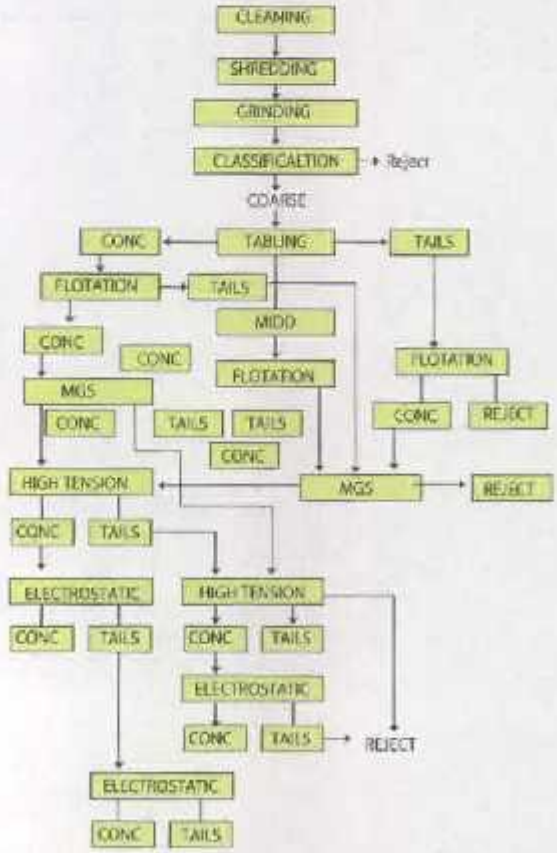
استفاده از اختلاف سرعت سقوط ذرات سبک و سنگین در یک سیال، پایهٔ اصلی فرایندهای جداسازی ثقلی به‌شمار می‌رود. فرایند جداسازی ثقلی با استفاده از تجهیزات متنوعی در صنایع بازیافت مواد معدنی به دو روش خشک و تر در حال استفاده است. در جداکننده‌های ثقلی مورد استفاده در بازیافت پسماندهای الکترونیکی، جداسازی مواد سبک و سنگین عموما از طریق حرکت ذرات در جهت قائم در یک سیال (آب یا هوا) انجام می‌شود. معروف‌ترین این جداکننده‌ها جیگ، جداکنندهٔ واسطهٔ سنگین، هیدروسیکلون و سیکلون هوایی است. همچنین در مواردی از جداکننده‌های لایه نازک آب نظیر میز لرزان نیز برای این منظور استفاده شده است. با توجه به اینکه اجزای فلزی موجود در پسماندهای الکترونیکی در مدارهای خرد کردن اغلب به‌صورت ورقه‌ای تبدیل می‌شوند، لذا با استفاده از اختلاف وزن مخصوص بین این اجزای فلزی و مواد غیرفلزی در مواردی جداسازی با استفاده از میز لرزان با سهولت بیشتری انجام می‌شود. مهاباس و همکارانش (۲۰۰۷) بازیافت مس از پسماند کابل‌های انتقال برق را با استفاده از یک جداکنندهٔ ثقلی خشک گزارش کرده‌اند [۷]. در بخش‌های بعدی مقاله مواردی از کاربرد روش‌های میز لرزان و جداکنندهٔ مولتی گرانیتی[5] در بازیافت پسماندهای الکترونیک ارائه شده است.

۱. فلوتاسیون

شناورسازی کانی‌ها و مواد معدنی بر اساس اختلاف خواص فیزیکوشیمیایی سطح نیز با عنوان فلوتاسیون یکی از فرایندهای بسیار مهم و پرکاربرد در فرآوری مواد معدنی است. این فرایند از طریق تزریق حباب‌های هوا به محیط جداسازی و اتصال ذرات آبران به این حباب‌ها و حمل این ذرات توسط حباب‌ها به سطح راکتور انجام می‌شود. با توجه به اینکه یکی از اجزای اصلی تشکیل‌دهندهٔ پسماندهای الکترونیکی پلاستیک‌ها هستند که خاصیت آبرانی (هوادوستی) خوبی دارند، لذا از فرایند فلوتاسیون به منظور شناورسازی فازهای پلاستیکی و پلیمری پسماندهای الکترونیک استفاده شده است.

۲. فلوشیت ترکیبی فرآیندهای مختلف در بازیافت پسماندهای الکترونیک

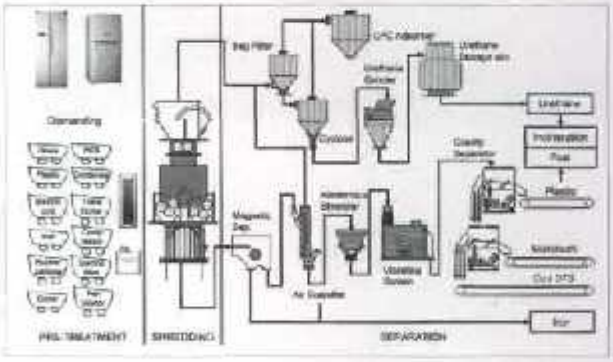
با توجه به تنوع خصوصیات فیزیکی اجزای تشکیل‌دهنده پسماندهای الکترونیک در مواردی ترکیبی از روش‌های خرد کردن، طبقه‌بندی ابعادی، جداسازی ثقلی با استفاده از میز لرزان، فلوتاسیون، جداسازی مغناطیسی و جداسازی الکتریکی فشار قوی و الکترواستاتیک را می‌توان برای تفکیک و بازیافت این پسماندها استفاده کرد. در شکل شمارهٔ پنج فلوشیت ترکیبی از فرایندهای جداسازی فیزیکی برای تولید کنسانتره‌های فلزی از پسماند حاصل از برد مدارهای چاپی نمایش داده شده است. با استفاده از این فلوشیت کنسانتره فلزی حاوی ۴۷/۵ درصد مس، ۸/۶۴ درصد سرب، ۵/۹۳ درصد قلع، ۱۱/۳ درصد آهن، ۸/۳۹ درصد آلومینیوم و ۱/۸۳ درصد نیکل و مجموع فلز محتوی ۸۳/۷ درصد به دست آمده است [۹].



شکل ۵. فلوشیت ترکیبی از روش‌های جداسازی فیزیکی برای تولید کنسانتره فلزی از پسماندهای الکترونیک [۹]

5. Multi Gravity Separator (MGS)

در فرایند استفاده شده توسط داس و همکارانش (۲۰۰۹) که فلوشیت آن در شکل شمارهٔ پنج نشان داده شده است، حدود ۱۰۰ کیلوگرم نمونه از پسماند برد مدارهای چاپی ابتدا به صورت دستی تا ابعاد ۱/۵ سانتیمتر و سپس در آسیای گلوله‌ای آزمایشگاهی تا ابعاد ۰/۵ میلیمتر خرد شده‌اند. در این نمونه چگالی بخش غیرفلزی ۱/۴۹ و چگالی نمونهٔ اولیه ۳/۳۲ گرم بر سانتیمتر مکعب بوده است. لذا آزمایش‌های غرق و شناورسازی با استفاده از مایع سنگین برموفرم (با چگالی ۲/۸) انجام شده و نتایج حاکی از مناسب بودن استفاده از روش‌های ثقلی برای بازیافت اجزای مختلف این پسماند بوده است. براساس فلوشیت پیشنهادی برای این فرایند (شکل شماره پنج) ابتدا محصول خرد گردن در هیدروسیکلون‌هایی به قطر ۲ اینچ نرمه‌گیری شده و ته‌ریز هیدروسیکلون توسط میز لرزان پرعیار شده است. سپس محصولات میز لرزان برای جداسازی اجزای غیرفلزی به فرایند فلوتاسیون منتقل شده و محصول تمیز شده در فرایند فلوتاسیون مجدداً با استفاده از جداکنندهٔ ثقلی مولتی‌گراویتی و در ادامه از طریق جداکننده‌های الکتریکی قشار قوی و الکترواستاتیک پرعیار شده و محصول فلزی محتوی ۸۳/۷ درصد فلز به‌دست آمده است. فلوشیت ترکیبی فرایندهای جداسازی ثقلی و مغناطیسی در بازیافت پنجال‌های فرسوده در کشور کره نیز در شکل شمارهٔ شش نمایش داده شده است.



شکل ۶. مراحل مختلف فرایند کارخانه بازیافت پنجال‌های فرسوده [۱۰]

نتیجه‌گیری

- فرایندهای جداسازی فیزیکی تفکیک و بازیافت پسماندهای الکترونیک شامل روش‌های جداسازی ثقلی، مغناطیسی، الکتریکی و فلوتاسیون هستند که این فرایندها در صنایع فراوری مواد معدنی به‌طور گسترده‌ای در کشور در حال استفاده‌اند.
- با توجه به میزان و نوع مواد محتوی پسماندهای الکترونیکی و رشد روزافزون تولید این پسماندها بازیافت آنها برای ممانعت از تخریب محیط امری ضروری به‌شمار می‌رود و بازیافت فلزات و ترکیبات آنها از نظر اقتصادی نیز ارزش قابل توجهی دارد.
- برنامه‌ریزی در خصوص دست‌یابی به دانش فنی تفکیک و بازیافت فلزات و ترکیبات باارزش موجود در پسماندهای الکترونیکی بیش از پیش در کشور ضروری است. همچنین تسریع در وضع قوانین مربوطه و پیگیری ضمانت‌های اجرایی برای این قانون مانع از تخریب بیشتر محیط توسط این پسماندها خواهد شد.

منابع

[1] Brigden K., Labunska I., Santillo D., Allsopp M., Recycling of electronic wastes in china and india: workplace and environmental contamination", Technical report, Department of biological science, University of Exeter, UK, 2005.
[2] Xiaojun Niu, Yadong Li, Treatment of waste printed wire boards in electronic waste for safe disposal, Journal of Hazardous Materials 145 (2007) 410–416.
[3] Jirang Cui, Eric Forssberg, Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review, Journal of Hazardous Materials 99 (2003) 243–263.
[4] Veit H.M. et al., Utilization of magnetic and electrostatic separation in the recycling of printed circuit boards scrap, Waste Management 25 (2005) 67–74.
[5] Jae-Min Yoo et al., Enrichment of the metallic components from waste printed circuit boards by a mechanical separation process using a stamp mill, Waste Management 29 (2009) 1132–1137.
[6] Wu Jiang, Li Jia, Xu Zhen-ming, A new two-roll electrostatic separator for recycling of metals and nonmetals from waste printed circuit board, Journal of Hazardous Materials 161 (2009) 257–262.
[7] Nusruth Mohabuth, Philip Hall, Nicholas Miles, Investigating the use of vertical vibration to recover metal from electrical and electronic waste, Minerals Engineering 20 (2007) 926–932.
[8] Kui Huang, Jie Guo, Zhenming Xu, Recycling of waste printed circuit boards: A review of current technologies and treatment status in China, Journal of Hazardous Materials 164 (2009) 399–408.
[9] Das A., Vidyadhar A., Mehrotra S.P., A novel flowsheet for the recovery of metal values from waste printed circuit boards, Resources, Conservation and Recycling 53 (2009) 464–469.
[10] Jae-chun Lee, Hyo Teak Song, Jae-Min Yoo, Present status of the recycling of waste electrical and electronic equipment in Korea, Resources, Conservation and Recycling 50 (2007) 380–397.

بررسی وضعیت 4R در جمهوری اسلامی ایران

امیرحسین محوی[1]
علی اکبر روده‌باری[2]

۱. دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی دانشگاه‌علوم‌پزشکی تهران، تهران، ایران
ahmahvi@yahoo.com
۲. دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود، شاهرود، ایران (نویسنده مسئول)

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی وضعیت سرمایه‌گذاری‌های ریالی و ارزی در زمینهٔ هریک از این چهار فعالیت، قبل و بعد از تصویب، قانون طرح‌های جامع مدیریت پسماند در سال ۲۰۰۴، مشخص کردن تغییرات ایجاد شده در روند حرکت شهرهای مختلف در زمینهٔ هر یک از این چهار فعالیت و همچنین ارائهٔ آمار تعداد و حجم سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته و جاری در زمینهٔ این فعالیت‌ها در سراسر کشور است. نتایج مطالعه نشان داد تا قبل از تصویب قانون تهیهٔ طرح‌های جامع مدیریت پسماند (۲۰۰۴) مجموع سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته در زمینهٔ 4R تقریبا ۱۴۶ میلیون دلار بوده است؛ اما بعد از تصویب این قانون که پایه و اساس آن تفکیک پسماند از مبداء تولید است به اجزاء 4R توجه بیشتری شد. به‌طوری‌که طی شش سال مجموعا ۸۳۰ میلیون دلار و به‌طور اختصاصی در سال ۲۰۰۹ مبلغ ۳۹۰ میلیون دلار در این زمینه سرمایه‌گذاری شد. همچنین از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ هر سال مبلغ ۳۰ میلیون دلار بیشتر از سال گذشته در زمینهٔ 4R سرمایه‌گذاری مستقیم در کشور انجام شده است.

کلید واژگان: 4R، سرمایه‌گذاری، ایران

مقدمه

بازیافت و پردازش، پنجمین عنصر از عناصر موثر در مدیریت پسماند جامد شهری است. این عنصر می‌تواند به‌طور مستقل به‌عنوان یک عنصر مجزا یا همراه با دیگر عناصر در سیستم مدیریت پسماند جامد مورد توجه قرار گیرد [۱]. بازیافت و پردازش، هر روش یا سیستمی است که ایجاد تغییرات فیزیکی یا شیمیایی در پسماند جامد را باعث شود [۲]. هدف از بازیافت و پردازش، بازیافت مواد قابل استفادهٔ مجدد، بازیابی انرژی و بهبود بهره‌وری از سیستم‌های مدیریت پسماند جامد است [۳]. تکنیک‌های مختلفی از پردازش و بازیافت در جهت بهبود سیستم‌های مدیریت پسماند جامد وجود دارد. برای مثال با فشرده‌سازی و بسته‌بندی مواد و یا با سوزاندن آن‌ها در کوره‌های پسماندسوز تا حد زیادی می‌توان نیاز به ذخیره‌سازی ضایعات در آپارتمان‌ها را کاهش داد [۴،۵]. هدف دوم، بازیابی مواد قابل بازیافت است. کاغذ، کارتن، پلاستیک، شیشه، فلزات و آلومینیوم از مهم‌ترین اجزای قابل بازیافت پسماندهای جامدند که می‌توانند در مقادیر بسیار زیادی در پسماندها بازیافت شوند و در بازار به فروش برسند [۵،۶]. هدف سوم، بازیافت انرژی است. بازیابی انرژی را می‌توان به روش‌های مختلف از جمله سوزاندن مستقیم در دیگ‌های بخار و تولید بخار، تجزیه در اثر حرارت و تولید سوخت مایع و گاز و همچنین هضم بیولوژیکی با یا بدون لجن فاضلاب برای تولید متان انجام داد [۷،۸]. برای دستیابی به این سه هدف، تکنیک‌های مختلفی نظیر کاهش مکانیکی حجم (فشرده‌سازی)، کاهش شیمیایی حجم (سوزاندن)، کاهش مکانیکی اندازه (خرد کردن)، جداسازی اجزای ترکیبی (جداسازی مکانیکی یا دستی) و خشک کردن و هیدراتاسیون [۸،۹] وجود دارد. به‌طور کلی، بازیافت در سیستم مدیریت پسماند جامد در ابتدا دارای سه جزء بود: کاهش، استفادهٔ مجدد و بازیافت. بعدها در کشورهای مختلف، اجزایی مانند پردازش مجدد، احیا (در ایران) و خرید مجدد به آن افزوده شد و 4R تکمیل شد [۱۰]. هدف اصلی این مقاله بررسی وضعیت 4R در ایران قبل و بعد از تصویب قانون جامع مدیریت پسماند است. اهداف دیگر آن عبارتند از تعیین تعداد شهرهایی که هر یک از اجزاء 4R را اجرا می‌کنند، تعیین تعداد کارخانجات و طرح‌های مرتبط با 4R، تعیین میزان سرمایه‌گذاری صورت گرفته در زمینهٔ هریک از اجزاء 4R و روند برنامه‌های آتی کشور در این زمینه.

مواد و روش‌ها

این مطالعه از نوع مطالعات توصیفی- تحلیلی و جامعهٔ مورد مطالعه، کشور ایران بوده است. طول مدت مطالعه نیز شش ماه بوده که در این مطالعه وضعیت سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته در زمینهٔ هر یک از اجزاء 4R یعنی Reduction,Recovery,Recycle و Reprocess در سال‌های مختلف در ایران مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، بازهٔ زمانی بررسی‌ها به دو دورهٔ قبل از تصویب طرح جامع مدیریت پسماند (سال ۲۰۰۴) و بعد از تصویب طرح جامع مدیریت پسماند (بعد از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰) تقسیم شده است. اطلاعات مورد نیاز این مطالعه نیز از طریق مراجعهٔ حضوری به شهرداری‌ها، بررسی منابع پایگاه داده‌های وزارت کشور، مستندات پژوهشکدهٔ مطالعات شهری و روستایی وزارت کشور، پایان‌نامه‌های دانشگاه‌های سراسر کشور و نیز گزارش‌های عمومی منتشر شده در ارتباط با بازیافت، جمع‌آوری شده است. داده‌ها پس از مرتب کردن وارد نرم‌افزار EXCEL شد و ترسیم نمودارها صورت گرفت.

یافته‌ها

۱. مدیریت پسماند جامد در ایران: تاریخچه و تغییرات

در ایران، شهرداری‌ها مسئول تهیه و پیاده‌سازی سیستم مدیریت پسماند جامدند. شهرداری‌ها نیز مستقیما زیر نظر دفتر امور شهری و روستایی وزارت کشور هستند. در سال ۲۰۰۴، قانون برنامهٔ مدیریت یکپارچهٔ پسماند جامد (ISWMP[1]) توسط مجلس ایران تصویب شد. بر اساس این قانون، تمام شهرها باید تا پایان سال ۲۰۱۴، طرح جامع مدیریت پسماند (ISWM) خود را آماده کنند. همچنین براساس این قانون، شهرداری‌های شهرهایی که بیش از یک میلیون نفر جمعیت دارند، باید سازمان مدیریت پسماند جامد در ساختار سازمانی خود ایجاد کنند. در شهرهایی که کمتر از یک میلیون نفر جمعیت دارند نیز براساس دستورالعمل‌ها باید واحد مدیریت پسماند ایجاد شود. پایه و اساس ISWMP تفکیک در منبع پسماندهای جامد است. برای این منظور، خانوارها پسماندهای خود را در دو سطل جداگانه (یکی برای پسماندهای خشک و دیگر برای پسماندهای مرطوب) جمع آوری می‌کنند. در ابتدای خیابان ها و کوچه‌ها دو سطل جداگانه نصب می‌شود و خانوارها پسماندهای خود را در این سطل‌های جداگانه تخلیه می‌کنند. سپس، زبالهٔ خشک توسط وسیلهٔ نقلیه بدون فشرده سازی به محل ایستگاه بازیافت و پسماندهای تر نیز توسط وسایل نقلیه فشرده‌ساز به محل کارخانهٔ کمپوست منتقل می‌شوند. در حال حاضر، تنها ۲۶ شهرداری ISWMP خود را آماده کرده‌اند و بیش از ۱۷۰ شهر نیز در حال آماده‌سازی ISWMP خود و یا انتخاب یک مشاور برای آماده‌سازی طرح هستند. در این مطالعه، وضعیت 4R قبل و بعد از ۲۰۰۴ بررسی شده است [۱۴].

۲. قبل از ۲۰۰۴ (قبل از تصویب ISWMP)

بررسی اسناد وزارت کشور و شهرداری‌ها، پایان‌نامه‌های دانشگاهی و گزارش‌های عمومی ملی نشان می‌دهد که قبل از ۲۰۰۴ یک سری فعالیت‌های نامنظم و متفاوت در زمینهٔ 4R در شهرهای مختلف انجام شده است [۱۵]. بسیاری از این فعالیت‌ها بدون برنامه‌ریزی و مقطعی بوده‌اند. جداول زیر وضعیت و سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در زمینهٔ اجزای 4R را در ایران قبل از سال ۲۰۰۴ نشان می‌دهد.

بخش	فعالیت	شهرهای با جمعیت بیش از یک میلیون (بزرگ)	شهرهای با جمعیت بین پانصد هزار تا یک میلیون (متوسط)	شهرهای با جمعیت کمتر از ۵۰۰ هزار (کوچک)
RECYCLE	اولیه	۲	۱	۱۳
	ثانویه	۳	۳	۱۹
REDUCTION	کاهش مکانیکی حجم	۲	۲	۳
	کاهش مکانیکی اندازه	-	-	-
	کاهش شیمیایی حجم	۶	۴	۷
REUSE	-	۵	۷	۵۴
REPROCESS	-	-	-	-

جدول ۱. تعداد شهرهای فعال و دارای واحد یا کارگاه در زمینه هر یک از اجزای 4R قبل از سال ۲۰۰۴

سال	کمپوست	بازیافت	دفن
۲۰۰۱	۲۳	۵	۷۳
۲۰۰۲	۲۳	۶	۷۱
۲۰۰۳	۲۳	۶	۷۱

جدول ۲. سهم کمپوست، بازیافت و دفن در دفع نهایی پسماندهای شهرهای ایران قبل از سال ۲۰۰۴ به درصد

1. Integrated Solid Wastes Management Plant

همچنین تا قبل از سال ۲۰۰۴ تعداد کارخانه‌های کمپوست در حال کار سه مورد و تعداد کارخانه‌های در حال ساخت نیز سه مورد بود. تعداد چهار کارخانه نیز در مرحلهٔ مطالعه و امکان‌سنجی بودند. در بین کلان‌شهرها (شهرهای بزرگ) شهر اصفهان بیشترین مقدار بازیافت (۴۱ درصد) و شهر تهران کمترین مقدار بازیافت (۴ درصد) را داشت. جدول زیر میزان سرمایه‌گذاری انجام شده در زمینهٔ هر یک از اجزاء 4R را به میلیون دلار تا قبل از سال ۲۰۰۴ نشان می‌دهد.

بخش	فعالیت	شهرهای با جمعیت بیش از یک میلیون (بزرگ)	شهرهای با جمعیت بین یک میلیون تا یک میلیون (متوسط)	شهرهای با جمعیت کمتر از ۵۰۰ هزار (کوچک)
RECYCLE	اولیه	۳۸	۰/۶۵	۴/۱
	ثانویه	۴۹	۰/۳۳۵	۷/۱
REDUCTION	کاهش مکانیکی حجم	۹/۶	۰/۶	۱۱/۵
	کاهش مکانیکی اندازه	۰/۳	-	۲/۵
	کاهش شیمیایی حجم	۱/۱	۰/۱۹۵	۳
REUSE	-	۱۰	۰/۴۵	۸
REPROCESS	-	-	-	-
جمع کل ۱۴۶/۵۳۰		۱۰۸	۲/۵۳	۳۶

جدول ۳. میزان سرمایه‌گذاری انجام شده در زمینهٔ هر یک از اجزاء 4R قبل از سال ۲۰۰۴ (به میلیون دلار)

۳. بعد از سال ۲۰۰۴

بعد از تصویب قانون طرح جامع مدیریت پسماند و الزام شهرداری‌ها به تهیهٔ طرح جامع تا سال ۲۰۱۴ سرمایه‌گذاری زیادی در زمینهٔ هریک از اجزاء 4R در شهرهای مختلف صورت گرفت و چندین کارخانه بازیافت و کمپوست و نیز تاسیسات پسماندسوزی ایجاد شد. به‌طورکلی بعد از سال ۲۰۰۴ ما شاهد برنامه‌ریزی مدون‌تری در زمینهٔ مدیریت پسماند جامد به‌ویژه در کلان شهرها هستیم. اما تاکنون که ۱۰ سال از اجرای این قانون می‌گذرد هنوز بسیاری از شهرهای کشور فاقد طرح جامع هستند و به شیوهٔ قدیمی نسبت به جمع‌آوری و دفع نهایی پسماندها اقدام می‌کنند.

از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ هر سال به‌طور متوسط یک کارخانهٔ کمپوست ساخته شد و دو کارگاه بازیافت پلاستیک و یک کارگاه بازیافت کاغذ به بهره‌برداری رسید.

جداول زیر وضعیت و سرمایه‌گذاری‌های صورت‌گرفته در زمینهٔ هر یک از اجزاء 4R در شهرهای مختلف را از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ نشان می‌دهد.

بخش	فعالیت	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹
RECYCLE	اولیه	۴(شهرهای بزرگ) ۳(شهرهای متوسط) ۱۰ (شهرهای کوچک)	۵(شهرهای بزرگ) ۲(شهرهای متوسط) ۱۰(شهرهای کوچک)	۶(شهرهای بزرگ) ۳(شهرهای متوسط) ۱۰(شهرهای کوچک)	۶(شهرهای بزرگ) ۳(شهرهای متوسط) ۱۱(شهرهای کوچک)	۷(شهرهای بزرگ) ۳(شهرهای متوسط) ۱۲(شهرهای کوچک)	۷(شهرهای بزرگ) ۲(شهرهای متوسط) ۱۲(شهرهای کوچک)
	ثانویه	۳(شهرهای بزرگ) ۴(شهرهای متوسط) ۲۱(شهرهای کوچک)	۳(شهرهای بزرگ) ۴(شهرهای متوسط) ۲۲(شهرهای کوچک)	۴(شهرهای بزرگ) ۴(شهرهای متوسط) ۲۲(شهرهای کوچک)	۴(شهرهای بزرگ) ۶(شهرهای متوسط) ۲۵(شهرهای کوچک)	۶(شهرهای بزرگ) ۷(شهرهای متوسط) ۲۵(شهرهای کوچک)	۶(شهرهای بزرگ) ۹(شهرهای متوسط) ۲۵(شهرهای کوچک)
REDUCTION	کاهش مکانیکی حجم	۴(شهرهای بزرگ) ۲(شهرهای متوسط) ۳۳(شهرهای کوچک)	۵(شهرهای بزرگ) ۲(شهرهای متوسط) ۴۵شهرهای کوچک	۶(شهرهای بزرگ) ۴(شهرهای متوسط) ۵۲(شهرهای کوچک)	۶(شهرهای بزرگ) ۳(شهرهای متوسط) ۵۷(شهرهای کوچک)	۷(شهرهای بزرگ) ۳(شهرهای متوسط) ۵۸(شهرهای کوچک)	۸(شهرهای بزرگ) ۴(شهرهای متوسط) ۸۹(شهرهای کوچک)
	کاهش مکانیکی اندازه						
	کاهش شیمیایی حجم	۱۱(شهرهای بزرگ) ۴(شهرهای متوسط) ۱(شهرهای کوچک)	۱۱(شهرهای بزرگ) ۴(شهرهای متوسط) ۱ (شهرهای کوچک)	۱۱(شهرهای بزرگ) ۵(شهرهای متوسط) ۱(شهرهای کوچک)	۱۰(شهرهای بزرگ) ۴(شهرهای متوسط) ۳(شهرهای کوچک)	۱۰(شهرهای بزرگ) ۴(شهرهای متوسط) ۴(شهرهای کوچک)	۱۰(شهرهای بزرگ) ۶(شهرهای متوسط) ۴(شهرهای کوچک)
RELUSE	-	۴(شهرهای بزرگ) ۲(شهرهای متوسط) ۱۷(شهرهای کوچک)	۵(شهرهای بزرگ) ۳(شهرهای متوسط) ۱۹(شهرهای کوچک)	۵(شهرهای بزرگ) ۲(شهرهای متوسط) ۱۹(شهرهای کوچک)	۶(شهرهای بزرگ) ۲(شهرهای متوسط) ۳۱(شهرهای کوچک)	۶(شهرهای بزرگ) ۴(شهرهای متوسط) ۳۶(شهرهای کوچک)	۶(شهرهای بزرگ) ۶(شهرهای متوسط) ۳۶(شهرهای کوچک)
جمع کل ۱۴۶/۵۳۰	-	۴(شهرهای بزرگ) ۲(شهرهای متوسط) ۱۰ (شهرهای کوچک)	۵(شهرهای بزرگ) ۳(شهرهای متوسط) ۱۰(شهرهای کوچک)	۶(شهرهای بزرگ) ۳(شهرهای متوسط) ۱۰(شهرهای کوچک)	۶(شهرهای بزرگ) ۳(شهرهای متوسط) ۱۱(شهرهای کوچک)	۷(شهرهای بزرگ) ۳(شهرهای متوسط) ۱۲(شهرهای کوچک)	۷(شهرهای بزرگ) ۳(شهرهای متوسط) ۱۲(شهرهای کوچک)

جدول ۴. وضعیت و سرمایه‌گذاری‌های صورت‌گرفته در زمینهٔ هر یک از اجزاء 4R در شهرهای مختلف از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹

سال	دفن	بازیافت	کمپوست
۲۰۰۴	۷۱	۶	۲۴
۲۰۰۵	۷۱	۶	۲۴
۲۰۰۶	۶۸	۷	۲۵
۲۰۰۷	۶۸	۷	۲۵
۲۰۰۸	۶۶	۸	۲۶
۲۰۰۹	۶۵	۸	۲۷

جدول ۵. سهم کمپوست، بازیافت و دفن در گزینه‌های دفع نهایی پسماندهای کشور در فاصلهٔ سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ (به درصد)

نام کارخانه / سال	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹
کارخانه‌های کمپوست در حال کار	۵	۶	۶	۷	۸	۸
کارخانه‌های کمپوست در حال ساخت	۵	۴	۷	۱۶	۳۰	۳۲
کارخانه‌های کمپوست در حال طراحی	۰	۳	۴	۴	۶	۹

جدول ۶. سهم کمپوست، بازیافت و دفن در گزینه‌های دفع نهایی پسماندهای کشور در فاصلهٔ سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ (به درصد)

نام کارگاه / سال	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹
کارگاه بازیافت کاغذ	۱	۱	۱	۳	۴	۵
کارگاه بازیافت لاستیک	۱	۱	۲	۴	۵	۶
کارگاه بازیافت پلاستیک	۱	۱	۳	۶	۸	۱۰

جدول ۷. تعداد کارگاه یا کارخانه‌های بازیافت در حال کار کشور (سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹)

نام کارگاه / سال	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹
کارگاه بازیافت کاغذ	-	-	-	-	۱۰۰	۱۳۵
کارگاه بازیافت لاستیک	-	-	-	۱۸	۲۵	۵۵
کارگاه بازیافت پلاستیک	-	-	-	۱۸	۲۸	۶۰

جدول ۸. ظرفیت واحدها (کارگاه‌ها یا کارخانه‌های) بازیافت در شهرهای ایران (سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹) (تن در روز)

هزینه / سال	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰
هزینه به میلیون دلار	۱۰۷	۲/۳	۶/۳	۳/۹	۵/۳	۷/۸	۸/۳

جدول ۹. مجموع سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته در زمینهٔ احداث کارخانه کمپوست در ایران (سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰) (میلیون دلار)

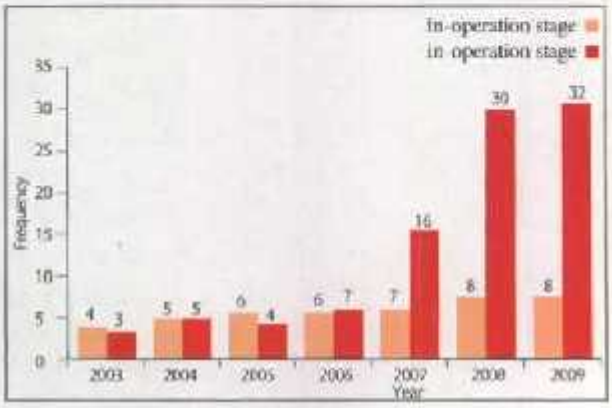
هزینه / سال	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰
هزینه به میلیون دلار	۰/۷۰۵	۰/۷	۰/۸۹	۰/۸۵	۱/۰۵	۱	۲/۳

جدول ۱۰. مجموع سرمایه‌گذاری صورت گرفته در زمینهٔ احداث کارخانجات بازیافت در ایران (سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰) (میلیون دلار)

بخش	فعالیت	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹
RECYCLE	تولید	۷/۳(شهرهای بزرگ) ۴/۸(شهرهای متوسط) ۴/۱ (شهرهای کوچک)	۱۰/۴(شهرهای بزرگ) ۷/۲(شهرهای متوسط) ۸/۹(شهرهای کوچک)	۱۰/۱(شهرهای بزرگ) ۱۳/۹(شهرهای متوسط) ۱۲/۶(شهرهای کوچک)	۱۰/۳(شهرهای بزرگ) ۱۲/۹(شهرهای متوسط) ۱۸/۱(شهرهای کوچک)	۱۳/۴(شهرهای بزرگ) ۱۹/۹(شهرهای متوسط) ۱۸/۳(شهرهای کوچک)	۱۳/۹(شهرهای بزرگ) ۲۹/۹(شهرهای متوسط) ۳۱/۹ شهرهای کوچک)
	تکریه	۴/۴(شهرهای بزرگ) ۱/۳(شهرهای متوسط) ۱/۷(شهرهای کوچک)	۳/۶(شهرهای بزرگ) ۲/۶(شهرهای متوسط) ۲/۹(شهرهای کوچک)	۳/۳(شهرهای بزرگ) ۳/۴(شهرهای متوسط) ۴/۲(شهرهای کوچک)	۳/۶(شهرهای بزرگ) ۷/۱(شهرهای متوسط) ۸/۷(شهرهای کوچک)	۴/۱(شهرهای بزرگ) ۷/۹(شهرهای متوسط) ۸/۸(شهرهای کوچک)	۴(شهرهای بزرگ) ۱۰/۱(شهرهای متوسط) ۹/۲(شهرهای کوچک)
REDUCTION	کاهش مکانیکی حجم	۱۸(شهرهای بزرگ) ۹/۶(شهرهای متوسط) ۱۰/۲(شهرهای کوچک)	۳۲(شهرهای بزرگ) ۲۱/۹(شهرهای متوسط) ۱۲/۴(شهرهای کوچک)	۱۳۸(شهرهای بزرگ) ۲۳۶/۹(شهرهای متوسط) ۲۷/۱(شهرهای کوچک)	۳۱(شهرهای بزرگ) ۳۸(شهرهای متوسط) ۳۹/۲(شهرهای کوچک)	۴۱(شهرهای بزرگ) ۵۱/۲(شهرهای متوسط) ۴۱/۶(شهرهای کوچک)	۶۳(شهرهای بزرگ) ۸۷/۶(شهرهای متوسط) ۴۲/۷(شهرهای کوچک)
	کاهش مکانیکی اندازه						
	کاهش شیمیایی حجم	۲/۶(شهرهای بزرگ) ۳/۹(شهرهای متوسط) ۴/۱(شهرهای کوچک)	۳/۴(شهرهای بزرگ) ۳/۱(شهرهای متوسط) ۴/۳(شهرهای کوچک)	۲/۱(شهرهای بزرگ) ۳/۶(شهرهای متوسط) ۴/۹(شهرهای کوچک)	۲/۲(شهرهای بزرگ) ۳/۱(شهرهای متوسط) ۵/۲(شهرهای کوچک)	۳/۴(شهرهای بزرگ) ۵/۹(شهرهای متوسط) ۵/۵(شهرهای کوچک)	۷/۶(شهرهای بزرگ) ۱۳/۴(شهرهای متوسط) ۵/۵(شهرهای کوچک)
REUSE	-	۱۲/۹(شهرهای بزرگ) ۶/۱(شهرهای متوسط) ۸/۱(شهرهای کوچک)	۱۴/۸(شهرهای بزرگ) ۷/۹(شهرهای متوسط) ۸/۵(شهرهای کوچک)	۱۴/۵(شهرهای بزرگ) ۸/۲(شهرهای متوسط) ۸(شهرهای کوچک)	۱۳/۹(شهرهای بزرگ) ۸(شهرهای متوسط) ۸(شهرهای کوچک)	۱۷/۸(شهرهای بزرگ) ۸(شهرهای متوسط) ۱۰/۱(شهرهای کوچک)	۱۸(شهرهای بزرگ) ۹/۱(شهرهای متوسط) ۱۰/۹(شهرهای کوچک)
بدون بازیافت	-	۳/۵(شهرهای بزرگ) ۳/۸(شهرهای متوسط) ۰(شهرهای کوچک)	۳/۵(شهرهای بزرگ) ۵/۲(شهرهای متوسط) ۳/۶(شهرهای کوچک)	۳/۸(شهرهای بزرگ) ۸/۲(شهرهای متوسط) ۷(شهرهای کوچک)	۴/۲(شهرهای بزرگ) ۱۵/۲(شهرهای متوسط) ۱۰/۲(شهرهای کوچک)	۴/۲(شهرهای بزرگ) ۱۵/۶(شهرهای متوسط) ۱۴/۶ (شهرهای کوچک)

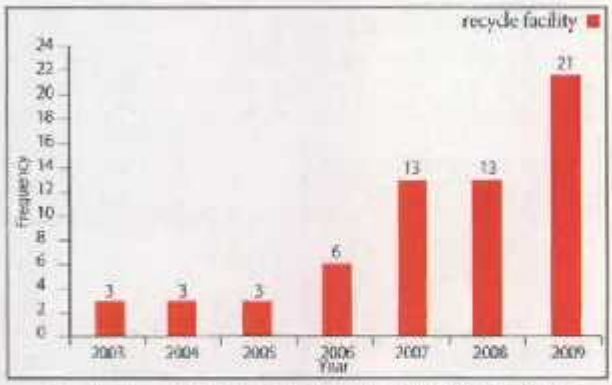
جدول ۱۱. میزان سرمایه‌گذاری انجام‌شده در زمینهٔ هر یک از اجزاء 4R (سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹) (میلیون دلار)

نمـودار زیر تعداد کارخانه‌های کمپوست ساخته‌شده و در حال ساخت ایـران را در سال‌های مختلف با یکدیگـر مقایسه می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود تا انتهـای سال ۲۰۰۹ فقط هشت کارخانهٔ کمپوست در کشور درحال کار بوده اسـت. همچنین تا انتهای سال ۲۰۰۹ تعداد ۳۲ کارخانـهٔ کمپوست درحال‌ساخت بـوده که فقط هشت تای آنها به بهره‌بـرداری رسیده است و مابقی بـا مشکلاتی نظیر عدم تامین اعتبار مالی مواجه‌اند.



نمودار ۱. تعداد کارگاه یا کارخانه‌های بازیافت در حال کار کشور

نمودار زیر تعداد کارگاه‌ها و کارخانه‌های بازیافت درحال کار ایران در سال‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور کـه مشاهده می‌شود تا انتهای سال ۲۰۰۹، تعداد ۲۱ کارخانهٔ بازیافت پسماند در ایران درحال کار بوده است.



نمودار ۲. تعداد کارگاه‌ها و کارخانه‌های بازیافت درحال کار ایران در سال‌های مختلف

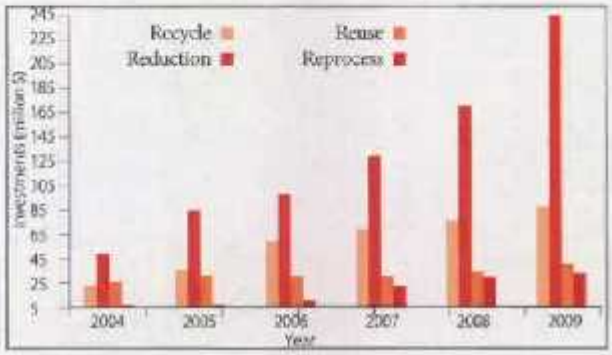
نمودار زیر مجموع سرمایه‌گذاری صورت‌گرفته در زمینهٔ هریک از اجزاء 4R را در ایران در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ نشان می‌دهد. همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد:

الف: هر سال به‌طور متوسط مبلغ ۱۵ میلیون دلار در زمینهٔ RECYCLE سرمایه‌گـذاری شده اسـت. به‌طوری‌که میزان سرمایه‌گـذاری در این زمینه در سال ۲۰۰۹ به ۸۸/۲ میلیون دلار رسیده است.

ب: هر سال به‌طور متوسط مبلغ ۳۰ میلیون دلار در زمینهٔ REDUCTION سرمایه‌گذاری شده است. به‌طوری که میزان سرمایه‌گذاری در این زمینه در سال ۲۰۰۹ به ۲۴۹/۶ میلیون دلار رسیده است.

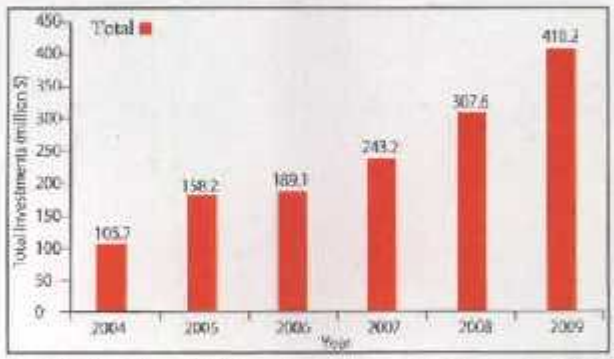
ج: هـر سال به‌طـور متوسط مبلـغ ۳ میلیـون دلار در زمینهٔ REUSE سرمایه‌گـذاری شده است. به‌طوری‌که میزان سرمایه‌گذاری در این زمینه در سال ۲۰۰۹ به ۳۸ میلیون دلار رسیده است.

د: سرمایه‌گذاری در زمینهٔ REPROCESS کمتر از زمینه‌های دیگر 4R بوده است.



نمودار ۳. مجموع سرمایه‌گذاری صورت‌گرفته در زمینهٔ هریک از اجزاء 4R در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹

نمـودار شماره چهـار، مجمـوع سرمایه‌گذاری صورت‌گرفتـه در تمام زمینه‌هـای 4R را در سال‌هـای ۲۰۰۴ تـا ۲۰۰۹ نشـان می‌دهـد. همان‌طور که نمودار نشـان می‌دهد کل سرمایه‌گذاری صورت‌گرفته در زمینهٔ 4R در سال ۲۰۰۴ برابر با ۱۰۵/۷ میلیون دلار و در سال ۲۰۰۹ برابر بـا ۴۱۰/۲ میلیـون دلار بوده است که نشان دهنـدهٔ رشد چهار برابری سرمایه‌گذاری‌ها طی یک دورهٔ پنج ساله است.



نمودار ۴. مجموع سرمایه‌گذاری صورت‌گرفته در تمام زمینه‌های 4R در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹

نتیجه‌گیری

مطالعـهٔ حاضر نشان می‌دهد که تا قبل از سال ۲۰۰۴ مدیریت پسماند جامد در ایران به‌صورت سنتی و بدون برنامه‌ریزی مدون انجام می‌شد و

اساسا توجه چندانی به موضوع بازیافت نمی‌شد. به همین دلیل مجموع سرمایه‌گذاری صورت‌گرفته در زمینهٔ 4R تا سال ۲۰۰۴ تقریبا ۱۴۶ میلیون دلار بوده است. اما بعد از تصویب قانون طرح جامع مدیریت پسماند که پایه و اساس آن جمع‌آوری تفکیک شدهٔ پسماند از مبداء تولید است به اجزاء 4R توجه بیشتری شد. به‌طوری‌که در سال ۲۰۰۹ مجموعا نزدیک به ۳۹۰ میلیون دلار و طی شش سال مجموعا ۸۲۰ میلیون دلار در زمینهٔ هر یک از اجزاء 4R در ایران سرمایه‌گذاری شد. همچنین از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ هر سال مبلغ ۳۰ میلیون دلار بیش از سال گذشته در زمینهٔ اجزاء 4R سرمایه‌گذاری شده است. بیشترین سرمایه‌گذاری صورت‌گرفته به‌ترتیب مربوط به REDUCTION و در رتبهٔ بعدی مربوط به RECYCLE بوده است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که بیش از ۷۰ درصد از شهرهای کشور هنوز طرح جامع مدیریت پسماند خود را تهیه نکرده‌اند و همچنان بر روش دفن به‌عنوان روش دفع نهایی تاکید دارند. به‌طوری‌که در سال ۲۰۰۹ در ۶۵ درصد از شهرهای کشور پسماندها دفن می‌شد و در ۳۵ درصد از شهرهای کشور عملیات بازیافت و کمپوست انجام می‌شد.

منابع

[۱] آرسینی ا و عمادی ا. بازیافت پسماند جامد در سنندج، پتانسیل‌ها و محدودیت‌ها. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان. ۵(۱۳۸۸) صفحات: ۵۶-۶۴

[۲] زینالی ا و بهبودی او. مدیریت پسماند جامد در قزوین. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی قزوین. ۳(۱۳۸۷) صفحات: ۵۶-۵۹

[۳] بازیافت و استفاده مجدد از پسماند جامد در ایران. وزارت کشور. سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌ها شماره ۵۲۳۶۱ (۱۳۸۸)

[۴] یاری اف و حسینی وی. تفکیک پسماند از مبداء تولید در ایلام. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی ایلام ۷ (۱۳۸۸) صفحات: ۵۹-۶۶

[۵] طالبی م و فروغی ج. وضعیت تاسیسات کمپوست در ایران. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی زاهدان. ۳ (۱۳۸۹) صفحات: ۸۵-۸۹

[۶] عبدلی م، ایساوند ای و ماجدی ج. بازیافت کاغذ در استان خراسان. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی مشهد. ۴ (۱۳۸۹) صفحات: ۷۴-۷۸

[۷] صادقی س و ابراهیمی ن. طراحی محل دفن برای نواحی روستایی شهر بابل. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی بابل. ۳ (۱۳۸۹) صفحات: ۶۱-۶۹

[۸] عمرانی ق و حبیبی ع. مدیریت یکپارچه پسماند جامد. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی مازندران. ۶ (۱۳۸۹) صفحات: ۳۳-۳۷

[9] S. Flore, M.C. Zanetti and B. Ruffino, waste characterization and recycle in an aluminium foundry. Resources, Conservation and Recycling, 45 (2005), pp.48-59

[10] Chin-Ming Huang, Wan-Fa Yang, Hwong-Wen Ma and Yii-Ren Song. The potential of recycling and reusing municipal solid waste incinerator ash in Taiwan. Waste Management, 26 (2008), 979-987

[11] M. Alamgir and A. Ahsan, Municipal solid wastes and recovery potential: Bangladesh prespective. Iranian Journal of Environmental Health, Sciences and engineering, 4 (2007) pp. 67-76

[12] A. Ahsan, M. Alamgir, R. Islam AND H.K. Chowdhury. Initiatives of Non-Governmental Organizations in Solid Waste Management at Khulna City. Proc. 3rd Annual Paper Meet and Intl. Conf. on Civil Engineering, March 9 – 11, IEB, Dhaka, Bangladesh, 2005, pp: 185-196.

[13] D.A. Reay. Low Temperature Waste Heat Recovery in the Process Industry. Good Practice Guide No. 141. 1996.

[14] G.H. N. Chanakya ,T. V. Ramachandra & M. Vijayachamundeeswari. Resource recovery potential from secondary components of segregated municipal solid wastes. Environmental Monitoring and Assessment, 4 (2007), pp.374-378

[15] O. Buenrostro, G. Bocco, and C. Silke.. Classification of sources of municipal solid wastes in developing countries. Resources, Conservation and Recycling, 32 (2001) 29–41.

[16] B.Rajabapaiah, P.. Energy from Bangalore garbage – A preliminary study. ASTRA technical report, centre for sustainable technologies. (1988)

[17] What a Waste: Solid Waste Management in Asia. The International Bank for Reconstruction and Development/ The world bank. Urban Development Sector Unit. 1999

[18] Municipal solid wastes in United States: 2007 FACTS AND FIGURES. United States Environmental Protection Agency Office of Solid Waste (5306P). EPA530-R-08-010 November 2008

[19] M. Thurgood. Decision-maker's Guide to Solid Waste Landfills: Summary. Transport, Water and Urban Development Department, The World Bank, Washington, D.C. 1999

جایگاه تأسیسات پردازش بیولوژیکی - مکانیکی در سیستم مدیریت پسماند

در گفتگو با جناب آقای دکتر ادوین صفری عضو هیأت علمی دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

مهیار صفا

رشد سریع جمعیت شهرها موجب افزایش مصرف و در نتیجه تولید پسماند گردیده است. این موضوع موجب پدید آمدن معضلات بهداشتی و زیست محیطی شده است که در صورت عدم مدیریت صحیح می‌تواند بحران‌های عظیمی در جوامع بشری به وجود آورد. یکی ازروش‌های بسیار موثر در مدیریت و خنثی کردن آثار نامطلوب پسماندها، پردازش بیولوژیکی و مکانیکی و تبدیل آن‌ها به کمپوست و بهره گیری بهینه از آن‌ها به عنوان کود آلی در کشاورزی است. تهیه کمپوست از پسماند مخلوط با توجه به ترکیبات فیزیکی و شیمیایی آن، موضوع مهمی است که باید توجه خاصی به آن شود. عدم رعایت استانداردها در تهیه کمپوست و نادیده گرفتن کیفیت آن از نظر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، سموم آلی و معدنی بویژه فلزات سنگین، موجب کندی در روند رو به رشد صنعت کمپوست و بازنگری در فرآیندهای آن شده است. به همین بهانه با جناب آقای دکتر ادوین صفری عضو هیأت علمی دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران به گفتگو نشسته‌ایم که خلاصه‌ای از آن را در ادامه می‌خوانید:

ضرورت برنامه‌ریزی واحدهای پردازش بیولوژیکی در یک سیستم مدیریت پسماند و به ویژه طرح‌های جامع و استراتژیک چیست؟

به طور کلی مشکل اصلی ما در ارتباط با پسماندهای عادی و شهری از نقطه نظر زیست محیطی دو بحث است یکی حداقل سازی آلودگی ها و اثرات سوء محیط زیست و دیگر حداکثرسازی بازیابی منابع که در نهایت هر دو دارای یک معنی می‌باشند. منشأ مشکلات مربوط به این دو مقوله در واقع میزان پسماندهای تر زیاد در جریان پسماند شهری می‌باشد. این امر باعث تولید شیرابه در محل‌های دفن می‌شود که در شهرهای کوچک اصولاً سراغ روش‌های تصفیه شیرابه نمی‌توان رفت. لذا بحث اصلی در اینجا بالا بودن میزان پسماندهای تر (فسادپذیر) می‌باشد. از طرف دیگر در مواردی که کمبود زمین داریم ایجاد یک لندفیل برای مدیریت اجرایی مشکل ساز است و علاوه بر آن شیرابه‌های تولیدی نیاز به مدیریت دارد. اگر فرض کنیم که ۶۰ الی ۷۰ درصد پسماندها را پسماند تر تشکیل می‌دهد که خود ۶۰ تا ۷۰ درصد رطوبت دارد در این صورت ملاحظه می کنید که چقدر مشکل تولید شیرابه در این محل‌ها وجود خواهد داشت. در این صورت تصفیه شیرابه حتی به صورت onsite فرایندی پر هزینه و پردردسر است. در کشور ما همانند تصفیه فاضلاب شهری، به دلیل مشکلات مختلف در بهره‌برداری خیلی نمی‌شود روی تصفیه شیرابه حساب باز کرد.

در واقع مشکلات بودجه‌ای و نیز دولتی بودن امور در این ارتباط از نکات منفی در مدیریت پسماندها در کشور ما محسوب می‌شود. اصولاً باید امور را به طور کامل به بخش خصوصی بسپاریم و سپس قانون داشته باشیم و بخش خصوصی را ملزم به اجرای صحیح نمائیم و در نهایت دولت بر فرایند اجرا نظارت نماید. در آن صورت بخش خصوصی می‌رود و اقدامات لازم را انجام می‌دهد تا مورد سئوال قرار نگیرد. این مکانیسم در بسیاری از کشورهای پیشرفته هم اکنون در حال اجرا است. در نهایت استفاده از فرایندهای پردازش بیولوژیکی با تأکید بر کمپوست سازی و هضم بی هوازی پسماندهای فسادپذیر و به ویژه کاهش حجم و رطوبت پسماند از

طریق نیمه کمپوست سازی یکی از گزینه‌های مطرح در یک سیستم مدیریت پسماند است.

ضرورت استفاده از تکنولوژی‌های جدید در فرایند پردازش و تصفیه بیولوژیکی با محوریت شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور را در ایران چگونه ارزیابی می‌کنید؟ کاربرد کدامیک از فناوری‌های پردازش و تصفیه بیولوژیکی را متناسب با شرایط کشور ایران پیشنهاد می‌فرمائید؟

پردازش بیولوژیکی عمدتاً شامل دو فرایند تولید کمپوست و هضم بی‌هوازی می‌شود. باید توجه داشت که ضروری نیست که فرایند تولید کمپوست را به طور کامل در مدیریت پسماندهای عادی به ویژه در استان‌های ساحلی شمال کشور داشته باشیم. به عنوان یک راه حل موقتی (تا زمانی که برنامه میان مدت یا بلند مدت منطقه اجرایی شود) برای رفع معضل پسماندهای‌تر می‌توان از مفهوم کمپوست و تصفیه بیولوژیکی استفاده نمود و فرایند خشک‌سازی بیولوژیکی (Bio drying) را انجام داد تا پسماندهای‌تر به پسماندهای نسبتاً خشک تبدیل شود. می‌دانیم که مشکل اصلی پسماندتر رطوبت بالای آن است. پسماند شهری در حدود ۷۰ درصد پسماندتر دارد. وقتی پسماند، پردازش و اجزای قابل بازیافت آن جداسازی می‌گردد در مواردی حتی ترکیب پسماند قبل از ورود به سرند حدود ۹۰ درصد پسماندتر خواهد داشت. اگر این بخش به کمپوست تبدیل نشود و به مراکز دفن برود، هم شیرابه تولید می‌کند و هم باعث افزایش حجم جایگاه دفن خواهد شد. از طرف دیگر فرایند تولید کمپوست خود به مکان و فضای زیاد و نیز زمان زیادی برای فرآوری نیاز دارد. علاوه بر آن بازار فروش بسیار محدودی دارد و معمولاً خود زیرمجموعه‌های شهرداری آن را می‌خرد. در اینجاست که ایده را از تولید کمپوست باید به سمت Partial biological process یا Bio drying سوق داده شود. کمپوست حاصل از پسماند مخلوط شهری معمولاً حاوی آلودگی‌های مختلف و خرده شیشه است و مشکل فروش دارد. البته با صرف هزینه بیشتر و مدیریت اصولی این موارد را در کمپوست می‌توان به حداقل رساند.

در واقع برنامه‌ریزی اصولی در میان مدت و بلندمدت با مطالعه صحیح باید انجام شود. بدین معنی که برای مثال برای مقابله با مشکل موجود می‌توان به جای صرف حداقل ۶۰ روز برای تولید کمپوست، با صرف حدود ۲۰ تا ۳۰ روز با روش ویندرو، رطوبت عمده پسماند حذف شود و در صورت رسیدن رطوبت توده به زیر ۳۰ درصد، آن را دفن نمود که در این صورت شیرابه زیادی تولید نخواهد شد. به این ترتیب میزان تولید شیرابه در جایگاه‌های دفن به حداقل رسیده و علاوه بر آن فضا و حجم محل دفن نیز کاهش می‌یابد. لذا صرفه جویی در فضای محل دفن خواهد شد. از آنجا که فرایند پردازش هوازی نسبت به فرایند بی‌هوازی سریع‌تر بوده و تجهیزات و امکانات کمتری به لحاظ فناوری نیز نیاز دارد، لذا برای شهرهای کوچک و حتی شهرهای بزرگ که مشکل تولید زیاد شیرابه و نیز کمبود فضا در محل دفن را دارند، مناسب خواهد بود.

در هاضم‌های بی‌هوازی زمان ماند طولانی‌تر بوده و علاوه بر آن تکنولوژی آن پیچیده‌تر است. هزینه ساخت و راهبری بیشتری دارد ولی از طرف دیگر گاز متان تولید می‌نماید. ولی در ارتباط با تولید برق باز هم طرف حساب دولت (وزارت نیرو) است. مقیاس کار هاضم‌ها معمولاً محدود است و غالباً برای شهرهای کوچک می‌تواند صرفه اقتصادی داشته باشد که البته این شهرها معمولاً خود با مشکلات مالی و بودجه‌ای مواجه هستند. فرم سنتی هاضم‌های بی‌هوازی برای استفاده در روستاها که مخلوطی از پسماند فسادپذیر و فضولات دامی در دسترس است، مناسب‌تر می‌باشد. در مناطق روستایی پتانسیل بیشتری در مقایسه با محیط‌های شهری و پسماندهای شهری وجود دارد.

برای پسماندهای شهری تا میان مدت به شرطی که در طول این مدت برنامه ریزی بلندمدت انجام شده و برنامه اقدام واقعی تهیه شود، فرایند Bio drying می‌تواند راه حل کوتاه مدت و مناسبی باشد. به نظر اینجانب تا زمانی که مدیریت پسماند به صورت دولتی انجام شود اتفاق خاصی در کشور نخواهد افتاد. دولت باید نقش برنامه‌ریزی و نظارتی داشته باشد و کلیه فرایندهای اجرایی توسط بخش خصوصی انجام شود البته در این راستا دولت می‌تواند کمک‌های مالی و یا غیر مالی داشته باشد ولی در حد کمک (از قبیل وام دادن به شرکت‌های خصوصی) و قانون سختگیرانه وضع کند و در صورت تخلف بخش خصوصی با آن به شدت برخورد نماید. مشکل دیگر آن است که دانش فنی در این زمینه بسیار ضعیف است.

دانش فنی در زمینه مدیریت پسماندها باید گسترش یابد. باید تکنولوژی سیستم‌های مختلف پسماند وارد کشور شود نه تجهیزات و دستگاه‌های مورد نظرا در این ارتباط ضروری است کارشناسان ذیربط دوره‌های واقعی آموزشی را در کشورهای صاحب تکنولوژی بگذرانند نه آنکه فقط مدیران به این دوره‌ها بروند. لازم است که کارشناسان بروند و به خوبی یاد بگیرند و تکنولوژی مورد نظر را وارد کشور نمایند یا اگر تجهیزاتی وارد کشور می‌شود علم و دانش کافی در ارتباط با تجهیزات مورد نظر داشته باشند. در حال حاضر ضروری است نکاتی را در ارتباط با سیستم‌های پسماند سوزی عرض نمایم. باید به این نکته کاملاً توجه داشت که هر فعالیتی که در حوزه مدیریت پسماند انجام می‌شود حتماً نیاز به فرایند دفن نیز خواهد بود. حال باید دید که در کشور استاندارد انتشار گازهای خروجی سیستم پسماند سوزی وجود دارد؟ چند تا آزمایشگاه در کشور داریم که بتوانند دی اکسین‌ها و فوران‌ها را اندازه گیری نماید؟ هنوز در کشور یک لندفیل بهداشتی که تکنولوژی خیلی پیچیده‌ای ندارد، توسط مدیریت‌های اجرایی پسماند ایجاد نشده است و فقط یک لندفیل در تهران داریم که اسماً سیستم تصفیه شیرابه دارد. حال می‌خواهیم سیستم پسماند سوز ساخت چین را تحویل این مدیریت اجرایی بدهیم. همچنین باید عرض نمایم که برای تعیین مناسب بودن یک سیستم پردازش بیولوژیکی در حالت کلی باید اطلاعات منطقه جمع‌آوری شده و در فرایند ارزیابی چرخه حیات بررسی و سپس نتیجه‌گیری شود.

نقش استفاده از واحدهای پردازش و تصفیه بیولوژیکی را در کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش مدیریت پسماندها، چگونه ارزیابی می‌نمائید؟

در موضوع انتشار گازهای گلخانه‌ای باید توجه داشت که گازهای منتشره‌ای که منشأ بیوژنیک دارند جزء گازهای گلخانه‌ای محسوب نمی‌شوند. ولی اگر در سیستم‌های پسماند سوزی پت و پلاستیک را بسوزانیم دی اکسید کربن تولیدی گاز گلخانه‌ای محسوب می‌شود. در فرایند پردازش بیولوژیکی، گاز متان تولیدی نیز بعنوان گاز گلخانه‌ای بدرفته می‌شود. در هر صورت این گاز متان تولیدی باید حتماً سوزانده شده و به دی اکسید کربن تبدیل شود و در طی این فرایند می‌تواند برق هم تولید شود. حال باید توجه داشت که همه این‌ها را باید به صورت ارزیابی چرخه حیات (Life cycle assessment) در نظر بگیریم تا مشخص شود که فرایند مذکور نقشی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته است یا خیر. از نقطه نظر زیست محیطی از طریق LCA می‌توان بررسی کرد آیا همیشه بازیافت یا هر فرایند دیگری نظیر پردازش بیولوژیکی خوب است یا نه. به روش ارزیابی چرخه حیات باید هزینه حمل مواد بازیافتی، میزان مصرف سوخت، گازهای آلاینده تولیدی و کلیه موارد مربوط به آن مورد ملاحظه قرار گرفته و سود زیست محیطی این فرایند تعیین شود تا معلوم شود که آیا بازیافت آن محصول مشخص ارزش زیست محیطی دارد یا خیر؟ خلاصه آنکه دیدگاه باید ارزیابی چرخه حیات باشد.

مثال دیگر فرایند تولید کمپوست است. در این فرایند گاز دی اکسید کربن تولید می‌شود که بیوژنیک بوده و گاز گلخانه‌ای محسوب نمی‌شود. لذا علاوه بر تولید محصول آلی گامی در جهت کاهش گازهای گلخانه‌ای است. حال باید دید در طی این فرایند چقدر آب و برق مصرف شده است؟ چقدر گازوئیل و سوخت توسط دستگاه همزن کمپوست مصرف شده است؟ چه مواد و چیزهای دیگری مصرف شده است؟ مواد باقیمانده تولید شده به کجا برده می‌شوند و این مواد چه آلودگی‌هایی به محیط زیست وارد می‌کنند؟ این یعنی بررسی موضوع از طریق ارزیابی چرخه حیات. در این صورت است که می‌توان بیلان انرژی صحیح سیستم را مورد بررسی قرار داد. این کار برای انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرایند پردازش بیولوژیکی هنوز در کشور انجام نشده است و نیاز به اجرای پایلوت است تا میزان انتشار گازها و مواد سمی که وارد محیط می‌شود، میزان اثر تخریبی آن بر روی لایه ازن و... از طریق LCA مشخص شوند.

به نظر شما امکان استفاده از واحدهای کوچک و مناسب پردازش و تصفیه بیولوژیکی در مناطق روستایی کشور وجود دارد؟ چه عواملی در این ارتباط دارای اهمیت می‌باشند؟

همانطور که ذکر شد در مناطق شهری کوچک و روستاها پتانسیل بیشتری برای استفاده وجود دارد. فضولات دامی و نیروی کار انسانی موجود بوده و علاوه بر آن چون مقیاس کار کوچک‌تر است بهتر می‌توان فعالیت نمود. پایه و اساس زندگی روستائیان نسل قدیم بازیافت و استفاده بهینه از مواد بوده است. مثلاً فضولات دامی را خشک نموده و به عنوان سوخت استفاده می‌کردند. پسماندهای فسادپذیر را در یک گودال جمع آوری نموده و به طریقی کمپوست تولید می‌کردند. این موضوع در بین روستائیان بیشتر از شهرنشینان وجود دارد. لذا از فرایند هضم بی‌هوازی و کمپوست در روستاها بهتر می‌توان استفاده کرد. اینکه کدام فرایند و اقدام برای روستاها مناسب است نیاز به بررسی و مطالعه موردی دارد. باید توجه داشت که هر اقدامی در زمینه مدیریت پسماند در جوامع مسکونی باید شامل ترکیبی از تکنولوژی‌ها و برنامه‌های مختلف پردازش، بازیافت، دفع و... باشد (مدیریت یکپارچه پسماند) و اینکه فقط دفن، یا فقط کمپوست و یا... یک موضوع غیر علمی و نادرست است.

به نظر جنابعالی برای افزایش همکاری مردم و مسئولین محلی در زمینه برنامه‌ریزی، مکان‌یابی و اجرای صحیح واحدهای پردازش مکانیکی - بیولوژیکی؛ چه ابزارها و اقداماتی و توسط چه گروه‌ها، نهادها و یا دستگاه‌هایی می‌تواند انجام پذیرد؟

دو بحث در موضوع مشارکت مردمی مطرح است. یکی آگاهی و دیگری تمایل به مشارکت است یعنی فرد می‌داند که یک عمل یا فعالیتی مضر است ولی اقدامی در این ارتباط انجام ندهد (همانند عبور آگاهانه از چراغ قرمز). تمایل به مشارکت یک بحث جدی است که خیلی باید روی آن کار شود. سطح آگاهی افراد نیز متأسفانه بالا نیست. کلید موفقیت هر کاری که بر روی بازیابی منابع در پایین دست بخواهیم انجام دهیم؛ روی بهتر کردن فرایند تفکیک از مبدأ می‌باشد. روی این موضوع باید بسیار کار شود. این موضوع هم روی بازیافت مواد خشک تأثیر می‌گذارد و هم روی پردازش بیولوژیکی و هم روی سیستم دفن و یا پسماند سوزی تأثیرگذار خواهد بود و علاوه بر این‌ها باید تمایل به مشارکت را نیز بالا برد. ما از ۱۰ سال گذشته بر روی فلسفه مشارکت کار کرده‌ایم ولی بر روی تمایل به مشارکت کار خیلی زیادی صورت نگرفته است. یکی از دلایل عدم موفقیت در این مقوله آن است که هنوز زیرساخت آن را فراهم نکرده‌ایم. تعداد محدودی غرفه بازیافت یا سطل‌های جداگانه برای تفکیک در سطح تهران یا برخی از شهرهای دیگر دیده می‌شود ولی این امر کافی نیست. مکانیسم صحیحی برای آن باید تعریف شود. هم تشویق و هم تنبیه برای جامعه وجود داشته باشد. به نظر من هنوز خیلی جای کار در این زمینه وجود دارد.

به نظر شما چه اقداماتی برای بازاریابی کمپوست حاصل از واحدهای تولیدکننده و نیز لجن تخمیر شده واحدهای بیوگاز در کشور می‌تواند توسط گروه‌ها و دستگاه‌های مختلف دولتی یا غیر دولتی صورت گیرد؟

به طور کلی بحث دولتی بودن امور بر روی بازار تأثیر می‌گذارد. اگر بازار رقابتی باشد در این صورت بازار محصولات کمپوست و... توسعه می‌یابد. در این زمینه هنوز در سطح کشور چالش و تنگنا وجود ندارد. اگر یک بازار مصرف جدی در کشور داشته باشیم بدین معنی که واقعاً بخش خصوصی درگیر موضوع باشد و نیاز به مصرف کمپوست با کیفیت خیلی خوب داشته باشد؛ در این صورت حاضر است آن کمپوست را بخرد و تولیدکننده کمپوست نیز نیاز خواهد داشت که کیفیت کمپوست را بهتر نماید. این امر هم در مورد کمپوست حاصل از پسماندهای شهری و هم در مورد کمپوست حاصل از لجن تخمیری واحدهای بیوگاز صادق است.

ولی در حال حاضر هیچ کدام از این اجزا در کشور وجود ندارد، تولیدکننده خود دولت است و خریدار هم به نوعی دولت است. بخش خصوصی هم یک گلخانه دارد و معمولاً سراغ ورمی‌کمپوست با کیفیت بهتر می‌رود و آن را می‌خرد. البته مقیاس کار او نیز فرق می‌کند. بر این اساس ضروری است در طرح‌های بزرگ و توسعه کشاورزی

کشـور که هزاران هکتار زمیـن را دربر می‌گیرد دولت بیاید و مشخص کنـد که فرضاً میزان مشخصی ظرفیت تولید کمپوست وجود دارد و بر اساس آن میزان سرمایه گذاری صورت می‌گیرد یا بخش خصوصی وارد موضوع می‌گردد. در سیستم دولتی بخش‌های مختلف دولتی به صورت جزیـره‌ای عمل می‌کنند و هر بخش سیاست‌گـذاری جداگانه و خاص خـود را دارد. در حالی که تصمیم‌گیری بایـد بصورت سیستمی دیده شود. این بخش‌هـا همگی به یکدیگر ارتباط دارنـد و نمی‌توانیم فقط بخش خاصـی را ببینیم. تقریباً در تمام کشـور وضع نامناسبی از نظر زیست محیطی داریم. دلیل مشخص این موضوع این است که به محیط زیست به صورت سیستمی نگاه نشده است. در بسیاری از موارد مشکل را از یـک نقطه به نقطه دیگر منتقل کرده‌ایم ولی آن را حل نکرده‌ایم در داخـل ساختار مدیریت پسماند هم باید بـه صورت سیستمی نگاه کرد و بـه عنوان مثال کاملاً اشتباه است اگر بگوییم روش صحیح دفع پسماندهـا برای منطقه‌ای فقط یک روش خاص نظیر پسماند سوزی یا دفـن است! در صورتی که صحیح آن است کـه بخشی از پسماندها را دفـن نماییم، بخشی را به RDF تبدیل کنیم، بخشی را بازیافت نماییم و... این‌هـا را دقیقاً می‌توان محاسبه نمـود ولی تاکنون این موضوع را نخواسته‌ایم! نیاز به این امر و تدوین استراتژی و راهبرد علمی و اجرایی مناسب برای کشور در این زمینه باید در سطوح مختلف دولت احساس شـود تا کار اصولی در این ارتباط انجام شود. این دیدگاه باید از سطوح بالا شکل بگیرد که یک سیاست و برنامه اصولی تدوین شود و بر اساس آن حرکت شود.

نقش شـهرداری‌ها بـه عنوان مدیریت‌هـای اجرایی پسـماند در بهینه‌سـازی عملکـرد واحدهای پردازش و تصفیـه بیولوژیکی را چگونه ارزیابی می‌نمائید؟

به نظر اینجانب شهرداری‌ها به عنوان مدیریت اجرایی پسماندها در این زمینـه باید نقش برنامه‌ریزی و نظارتـی داشته باشند. واگذاری امور به بخـش خصوصی از مهم‌ترین موضوعات است که در بحث‌های قبلی به آن اشاره رفت.

از دیدگاه جنابعالی کنترل آلودگی‌ها در فرایند تولید کمپوست و واحدهای هضم بی‌هوازی چگونه می‌تواند صورت پذیرد؟

همانطـور کـه در بحث‌هـای قبلی نیز ذکـر گردیـد در اینجا موضوع LCA مطـرح می‌باشـد و نباید فقـط به خود فرایند بـه صورت مجزا و منفـرد نگاه شـود، بلکه باید دیـد در کل چه کارهـا و فعالیت‌هایی دارد انجـام می‌پذیـرد و چـه مـواد و ترکیباتـی مورد اسـتفـاده قرار می‌گیرنـد و یا مصـرف می‌شوند و در نهایت آلودگـی همه بخش‌های فراینـدی در آن بایـد مـورد ملاحظه قـرار گیرند و پـس از همه این بررسی‌هـا، می‌تـوان نتیجه‌گیـری و تحلیـل نهایـی را صـورت داد.

لطفـاً توصیه‌های نهایی خـود را در مورد اجرای بهتـر برنامه‌های پردازش و تصفیه بیولوژیکی در سیستم مدیریت پسماندهای جامد در ایران بطور خلاصه بیان فرمائید.

در نهایت ضروری است اشـاره نمایم که در تمامی موضوعات مدیریت پسماند باید ساختار ۳ بعلاوه ۱ را در نظر بگیریم. عدد سه معرف بحث مالـی و اقتصادی؛ فناوری و تکنیکـی؛ و حقوقی (وضع قوانین) است و عـدد یک معرف مردم و مشارکـت آنها است که این موضوع به تنهایی

و به اندازه خودش دارای اهمیت بسیار زیادی است. در سه موضوع نخست عمدتاً بخش دولتی درگیر است.

یکی از مشکلات فعلی این است که از بین فارغ التحصیلان رشته‌های محیط زیست و پسماند جامد در کشور کمتر کسی یافت می‌شود که تجربه عملی و اجرایی در زمینه‌های مختلف مدیریت پسماندها را داشته باشد. واقعیت این است که دانش فنی ما در بحث پسماندها بسیار ضعیف است. تجربه عملی و خیلی موثر در بسیاری از زمینه‌ها نداریم. تکنولوژی‌های موجود را متناسب با شرایط کشور و خاص شهرها و روستاهای کشور انتخاب نکرده‌ایم. از طرف دیگر، دولت بودجه کافی برای تأمین هزینه‌ها را ندارد. واقعاً مدیریت پسماند در کشور اولویت نیست به خصوص در مورد بازیابی منابع! هم قوانین ما ناقص و ناکافی است و هم Enforcement وجود ندارد یعنی قوانین ما اجرا نمی‌شوند. چرا این قوانین اجرا نمی‌شوند یک دلیل آن است که چون هر دو طرف قضیه دولت است. خصوصی بودن در این میان شاید بخش عمده مشکلات را حل کند.

در این ارتباط ضروری است که دانش فنی در سطح کشور به طور واقعی ارتقاء یابد. کارشناسان ذیصلاح و دلسوز را به کشورهای صاحب فناوری اعزام نماییم، بروند آنجا تحصیل کنند، با تکنولوژی‌های مختلف آشنا شوند، سپس به کشور بازگردند و آن دانش را پیاده نمایند. در دانشگاه‌ها باید تحقیقات گسترش یابد. مراکز پژوهشی و تحقیقاتی مناسب و درست و حسابی باید ایجاد شود، پایان نامه‌ها و طرح‌های تحقیقاتی و استراتژیک در آنها انجام شود، حتی فناوری تولید کنند. کشورهایی که پیشرفت کرده‌اند همگی این مسیر را رفته و اینگونه فعالیت‌ها را انجام داده‌اند.

سیستم نقش مردم، آگاهی مردم نسبت به ۱۰ سال قبل خیلی افزایش یافته ولی از طرف دیگر تمایل به مشارکت آنها باید بیشتر مد نظر قرار گیرد و زیرساخت متناسب با آن باید ایجاد شود.

این امر به خصوص در شهرهای کوچکتر و روستاها ضروری‌تر است. برای ایجاد ساختار در حال حاضر دولت می‌تواند بودجه و منابع مالی لازم را فراهم آورد که البته در این راه همواره با مشکل مواجه است. ولی اگر بخش خصوصی درگیر باشد می‌رود سطل پسماند را تهیه می‌کند، دولت به او وام می‌دهد و از طرفی پولش را از افرادی که پسماند خود را در آن قرار می‌دهند، خواهد گرفت و البته سود نیز می‌کند. در نهایت رقابت بین بخش‌های مختلف خصوصی و غیر دولتی ایجاد خواهد شد.

در پایان از جنابعالی بابت فرصتی که در اختیار فصلنامه قراردادید سپاسگزاریم.

تبدیل زائدات پلاستیک به هیدروکربن‌های مایع/انرژی

«EPF[1] تجربه‌ای موفق و دوستدار محیط زیست از کشور هند»

مهیار صفا

کارشناس دفتر خدمتگی عمرانی و خدمات روستایی

مسئلهٔ زائدات پلاستیکی همواره یک تهدیـد فزاینده برای محیط زیست جهانی بوده است. به دلیل خاصیت انعطاف‌پذیری، دوام، ارزان بودن و مقاومت پلاستیک در برابر رطوبت، فساد و مواد شیمیایی؛ افزایش محسوس و قابل توجهی در میزان مصرف پلاستیک در دنیا مشاهده می‌شود. پلیمرهای پلاستیکی در صنایع بسته‌بندی موادغذایی، بطری‌های شیر و نوشابه، ظروف غذا، کیسه‌های خرید، اسباب‌بازی کودکان، اسباب منزل، قطعات کامپیوتر، اتومبیل و حتی در صنایع پوشاک و نظایر آن‌هـا کاربرد دارند. اما به علت غیرقابل تجزیه بودن در محیط زیست، پلاستیک یک آلایندهٔ سمی و مهم تهدیدکنندهٔ زمین، هوا و آب تلقی می‌شود که به هیچ عنوان نباید در جریان سیستم‌های دفن پسماند وارد شود.

ایـن مقالـه با توجه به افزایش بی‌رویهٔ تولید زائدات پلاستیکـی و مشکلات کمبود سوخت و انرژی به ویژه در کشورهای در حال توسعه، به بررسی تجربهٔ موفق کشور آسیایی هند در زمینهٔ بازیافت پلاستیک و تبدیل این گروه از زائدات به هیدروکربن‌های سوختی سازگار با محیط زیست می پردازد. طبق آمار، حجم سالیانهٔ زائدات پلاستیـک مصرفـی در سال‌های ۲۰۰۶-۲۰۰۵ میلادی در کشور هند به ۳/۶ میلیون تن رسیده است که این رقـم در سال‌های اخیر با توجه به گسترش جمعیت و صنعتـی شدن جوامع، رو به افزایش بوده است. فرایند ارائه‌شـده شامل تجزیهٔ زائـدات پلاستیکی با استفاده از مواد افزودنی کاتالیتیک طی فرایند دی‌پلیمریزاسیون تصادفـی داخـل راکتورهای ویژه است. محصـولات به‌دست‌آمده از فراینـد، شامـل هیدروکربن‌های مایع (۷۵-۶۵ درصد)، LPG به شکل گازی (۲۰-۱۵ درصد) و کک مازاد (۱۲-۸ درصد) است.

مقدمه

بیش از ۱۵۰ میلیون تن زائدات پلاستیکی هر ساله در سراسر دنیا تولید می‌شود [۱]. اگرچه مواد پلاستیکی راه افزایـش تعداد اختراعات و دستگاه‌های جدید را باز کرده‌اند، اما ضمن مسدود کردن راه‌های دیگر، به یک تهدیـد و معضـل خطرناک برای سلامت بشـر و محیط زیست جهانی تبدیل شده‌اند. طبـق آمار، سالانه ۶۰ میلیـون تـن پلاستیک در اروپا تولید می‌شـود که حدود ۱/۴ برابر تولید کل دنیـا در سال ۲۰۱۱ است [۲]. بالطبع روزی تمام این مواد پلاستیکی به زائدات و پسماند تبدیل می‌شود و سوال این است که چگونه می‌توان این پسماندهای مضر محیط زیست را بازیافت یا بازیابی کرد؟ از آنجایی که پلاستیک‌ها غیرقابل‌تجزیه هستند و در محیـط زیسـت تجمع می‌یابند، اگر این مسئله به درستی حل نشـود، در آینده به کوهی از پسماندهای پلاستیکی منتهی خواهد شد.

در سراسـر دنیا تحقیقات بـر روی مدیریت زائدات پلاستیکی به گستردگی انجام شده است. در کشورهای در حال توسعه، چندین روش تبدیل/دفع زائدات پلاستیکی اجرا شده است؛ اما در بیشتر موارد، کافی و کارآمد نبوده و از نظر اقتصادی عملی تشخیص داده نشده است.

در کشـور هنـد، طبق نتایج حاصل از تحقیقات ملی سال ۲۰۰۳ میلادی، بیش از ۱۰۰۰۰ میلیون تن زائدات پلاستیکی به‌طور روزانه تولید شده که تنها ۴۰ درصد آن بازیافت شده است. در این کشور زائدات پلاستیکی

1. EPF = Eco-friendly plastic fuel

حدود ۱۵-۸ درصد وزنی زائدات جامد و دو برابر این مقدار از نظر حجمی را دربرمی‌گیرد. حجم سالیانهٔ زائدات پلاستیکی مصرفی در سال‌های ۲۰۰۶-۲۰۰۵ به ۳/۶ میلیون تن رسیده است[۴].

در چنین وضعیت هشداردهنده‌ای که تولید پسماند دارد، هند به برنامه‌ریزی جامعی برای بازیافت نیازمند است. تاکنون فرایندهای مختلفی مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است که البته هر فرایند پاره‌ای محدودیت‌های اقتصادی و مالی را از نظر اجرا داشته است و متناسفانه سیاست معین و تعریف شده‌ای در قبال پسماندهای پلاستیکی تولید شده، وجود ندارد. هرساله میلیون‌ها روپیه از سرمایهٔ اقتصاد کشاورزی هند، تنها به علت مرگ حیواناتی که پسماندهای پلاستیکی مصرف کرده اند، از دست می‌رود.

از طرف دیگر، کشور هند با مشکل بحرانی کمبود سوخت و انرژی مواجه است. تخلیهٔ سریع ذخایر نفتی دنیا و افزایش مداوم قیمت نفت خام، بر روی اقتصاد هند تاثیر منفی داشته است. هند در زمینهٔ نفت و نفت خام، خودکفا نیست. ظرفیت تولید ملی[۲] حتی کفاف ۳۰ درصد از مجموع تقاضای سوخت در این کشور را نمی‌دهد. باقیماندهٔ نیاز ۷۰ درصدی کشور، با واردات نفت خام تامین می‌شود. بیشتر مبادلات خارجی بالارزش در این کشور صرف واردات نفت می‌شود[۱].

در این مقاله، تجربهٔ موفقی که در شهر ناگپور[۳]، ایالت ماهاراشترا[۴] کشور هند آزمایش شده است، بررسی می‌شود. ایالت ماهاراشترا در غرب هند، دومین ایالت پرجمعیت این کشور بعد از اوتارپرادش[۵] و از نظر بزرگی مساحت، سومین ایالت این کشور است. مرکز آن شهر مومبای از بخش‌های مرفه کشور هند به لحاظ اقتصادی و میزان تولید ناخالص ملی است. شهر ناگپور سومین شهر پرجمعیت و روبه‌رشد، بعد از شهرهای مومبای و پونه[۶] در این ایالت است که با توجه به توسعهٔ روزافزون فعالیت‌های اقتصادی، تجاری، گردشگری و عمرانی در آن، از نظر میزان تولید انواع زائدات از جملهٔ زائدات پلاستیکی، نیز دارای اهمیت است. خانم پروفسور آلکا زادگاونکار[۷]، رئیس دپارتمان شیمی کاربردی در کالج مهندسی جی اچ رایزونی[۸] ناگپور برای اولین بار یک فرایند افزایش کاتالیتیکی[۹] سازگار با محیط زیست را برای دفع زائدات پلاستیکی، اختراع کرد. فرایند اختراع شده، تجزیهٔ پسماندهای پلاستیکی را با استفاده از مواد افزودنی کاتالیتیک دربرمی‌گیرد و با فرایندهای معمول پیرولیتیک[۱۰] موجود، تفاوت دارد. محصولات به‌دست‌آمده در این فرایند، هیدروکربن‌های مایع، گاز و کک مازاد (کک باقیمانده)[۱۱] است.

جمعیت رو به رشد هند و تولید روزافزون زائدات پلاستیکی- شهر ناگپور، ایالت ماهاراشترا

بازیافت پلاستیک با روش‌های متداول

به‌طور کلی، بازیافت راه‌حل کاملی برای دفع زائدات پلاستیکی نیست. بعد از سه یا چهار بار تکرار عمل بازیافت، پلاستیک مجموعا برای استفادهٔ مجدد نامناسب می‌شود و در نهایت به اماکن دفن پسماند، انتقال می‌یابد. برخی از انواع پلاستیک نیز برای بازیافت مناسب نیستند. از طرفی، بازیافت پلاستیک برای فرایندهایی که در آن مواد پلاستیکی، جداسازی شده اندف مناسب است و برای پلاستیک‌های زائدات مخلوط شهری، مناسب نیست.

مسائل و مشکلات فرایند بازیافت به شرح زیر است:

- انواع زیادی از پلاستیک استفاده می‌شود، از این رو جداسازی آن‌ها برای هدفی خاص مشکل است.
- پلاستیک‌ها محدودهٔ وسیعی از مواد پرکننده و افزودنی را دربرمی‌گیرند
- پلاستیک‌های زیادی با فلز، شیشه و غیره همراه هستند.
- جورکردن و دسته‌بندی[۱۲] پلاستیک علاوه بر گرانی، از نظر تکنیکی نیز مشکل است.
- بازیافت پلاستیک، کیفیت محصول نهایی را از بین می‌برد.
- پلاستیک‌های لامینیت شده[۱۳]، غیرقابل بازیافت هستند.

2. National production capacity
3. Nagpour
4. Maharashtra
5. Uttar pradesh
6. Pune
7. AlkaZadgaonkar
8. G.H. Raisoni
9. Catalytic additive Process
10. Pyrolytic Process
11. Residual Coke
12. Sorting
13. Laminated Plastics

جنبه های مهم تکنولوژی EPF یا سوخت پلاستیک سازگار با محیط زیست

- عموما زائدات پلاستیکی شامل درصد وزنی حدودی ذیل می‌باشد: ABS: 7-10(wt%), HDPE: 10-15 (wt%), LDPE: 20-25 (wt%), PP: 15-20 (wt%), PET: 5-8 (wt%), PVC: 2-4 (wt%) محصول خروجی بدون توجه به هرگونه تغییرات در مواد ورودی یا نسبت‌های آن، از نظر کمّی یا کیفی به‌طور محسوسی تغییر نمی‌کند.
- فرایند منقطع بچ[14] به‌طور موفقیت‌آمیزی به فرایند پیوسته کانتینیوس[15] تبدیل شده است.
- اثرات تغییر خوراک ورودی جمع‌آوری شده از زائدات شهری، مورد مطالعه قرار گرفته و راه‌حل کاملی را برای دفع زائدات پلاستیکی ارائه می‌کند.
- کیفیت محصول به‌دست‌آمده، بهبود یافته است. محصولی که نتیجهٔ نتوعی از خوراک ورودی تولید شده از زائدات پلاستیکی شهری، بوده است.

پروفسور زادگاونکار مخترع فرایند تبدیل زائدات پلاستیکی به هیدروکربن‌های مایع/گازی

فرایند تبدیل زائدات به سوخت

تمام پلاستیک‌ها پلیمرهای هیدروکربنی شامل کربن و هیدروژن و تعدادی عناصر دیگر همانند کلر، نیتروژن و غیره هستند. وقتی که یک زنجیرهٔ طولانی از مونومرهای هیدروکربنی در نقاط خاصی شکسته شود، این فرایند تحت عنوان تجزیهٔ پلیمر شناخته می‌شود که در واقع پلیمریزاسیون معکوس است و زمانی‌که چنین فرایندی به‌طور تصادفی روی دهد، «دی پلیمریزاسیون تصادفی[16]» نامیده می‌شود.

فرایند اختراع‌شدهٔ پروفسور زادگاونکار شامل تجزیهٔ زائدات پلاستیکی با استفاده از مواد افزودنی کاتالیتیک است و از فرایندهای پیرولیتیک موجود متفاوت است. مقیاس آزمایشگاهی در وضعیت Batchmode قرار گرفت، به‌گونه‌ای که پلاستیک‌های ترکیبی به‌طرز موفقیت‌آمیزی به سوخت تبدیل شدند. در حال حاضر، واحد تجاری به ظرفیت ۵ میلیون تن زائدات پلاستیکی در روز، در وضعیت پیوسته Continuous mode کار می‌کند. محصولات به‌دست‌آمده از فرایند، هیدروکربن‌های مایع (۷۵-۶۵ درصد)، LPG به شکل گازی (۲۰-۱۵ درصد) و کک مازاد (۱۳-۸ درصد) است [۱].

در فرایند تبدیل زائدات پلاستیکی به سوخت، دی‌پلیمریزاسیون تصادفی داخل یک راکتور ویژه در غیاب اکسیژن و در حضور زغال سنگ و مادهٔ افزودنی کاتالیتیک، آزمایش شد. بیشترین درجهٔ حرارت آزمایش ۴۵۰ درجهٔ سانتیگراد بود. بنا به ادعای محققان، این فرایند یک واکنش منحصر به فرد در دنیاست که صددرصد زائدات را به صددرصد محصول باارزش، تبدیل می‌کند.

آزمایشگاه تحقیقاتی پروفسور زادگاونکار

گزارش‌های آزمایش

الف) اطلاعات مقایسه‌ای از خصوصیات شیمیایی مختلف بنزین معمولی و سوخت استخراج شده از پلاستیک

پارامتر	بنزین معمولی	سوخت استخراج شده از زائدات پلاستیکی
رنگ، شفافیت	بی‌رنگی	زردکاهی
وزن مخصوص در دمای ۲۸ درجهٔ سانتیگراد	۰/۷۴۲۲	۰/۷۳۵۴
وزن مخصوص در دمای ۱۵ درجهٔ سانتیگراد	۰/۷۵۲۸	۰/۷۳۶۵
ارزش حرارتی ناخالص[17]	۱۱۲۱۰	۱۱۲۶۲
ارزش حرارتی خالص[18]	۱۰۴۶۰	۱۰۲۹۸
وزن API[19]	۵۶/۴۶	۶۰/۶۵
مقدار گوگرد (ماکزیمم جرمی)	۰/۱	< ۰/۰۰۲
نقطهٔ اشتعال (Abel'C)	۲۳	۲۲
نقطهٔ Pour'C	< -۲۰°C	< -۲۰°C
نقطهٔ Cloud	< -۲۰°C	< -۲۰°C
(Existent gum gm/m3 max)	۴۰	۲۶
واکنش با SSMS،CLAI،Cu	Nil	Nil

14. Batch Process
15. Continuous Process
16. Random De- Polymerization
17. Gross calorific value
18. Net calorific value
19. API= The American Petroleum Institutegravity, or API gravity, is a measure of how heavy or light a petroleum liquid is compared to water

مصرف سوخت موتور Bajaj Pulsar [20] ۱۵۰ سی سی		
رنگ، شفافیت	بنزین معمولی	سوخت استخراج شده از زائدات پلاستیکی
مایل شمار (کنترل مسافت)	۵۲/۴	۶۳
زمان ۰-۶۰ کیلومتر بر ساعت	۳۲/۵ ثانیه	۱۸/۱ ثانیه
تمرکز مونوکسیدکربن در RMP/HC ۴۰۰	۲/۸	۲/۳
(محدودهٔ مجاز تا ۴/۵)		

نکته: این آزمایش‌ها توسط تیم فنی بانک ایالتی هند[21] انجام شده است. البته علی‌رغم یافته‌های ارائه شده در جداول فوق، سوخت استخراج شده از زائدات پلاستیکی، اکیدا به‌عنوان سوخت غیرموتوری[22] برای شروع، استفاده خواهد شد.

خواص محصول نهایی

محصول سوخت حاصل، تقریباً بدون گوگرد و معادل نفت خام صنعتی است. این محصول می‌تواند به آسانی در کوره استفاده شود یا تحت فرایند تراکم[23] به درجهٔ مرغوب‌تری همانند بنزین تبدیل شود. گاز حاصل معادل LPG است که می‌تواند برای تولید الکتریسیته اصلاح شود. واحد زادگاونکار در حال حاضر از نظر تامین برق، خودکفا است. آنچه که در پایان باقی می‌ماند سوخت جامدی به نام کک نفتی است.

کاربردهای میدانی

پروفسور آلکازادگا اونکار در یک تجربهٔ میدانی و با مشارکت مالی بانک ایالتی هند[24] به‌طور موفقیت‌آمیزی یک واحد تجاری با ظرفیت ۵ میلیون تن زائدات در روز را در منطقهٔ صنعتی بوتیبوری ام‌ای‌دی‌سی[25]، جادهٔ واردها[26] در شهر ناگپور ایجاد و راه‌اندازی کرد. این نوع واحد همچنین می‌تواند در مناطق روستایی نصب شود. البته ممکن است امکان ایجاد یک واحد در هر روستا نباشد، اما برای گروهی از روستاها و برای یک بخش کامل می‌تواند اجرایی باشد. زائدات پلاستیکی تولید شده در مجموع روستاهای تحت پوشش جمع‌آوری و به واحد مرکزی انتقال داده می‌شود. شبکه‌ای از این واحدها می‌تواند در سراسر کشور راه اندازی و سوخت تولید شده برای ایجاد برق به کار رود. از یک لیتر سوخت هیدروکربن مایع، ۷-۶ واحد الکتریسیته تولید می‌شود. این تجربه در حالی که مشکل زائدات پلاستیکی تهدیدکنندهٔ محیط زیست را حل کرده است، پیش‌بینی شده است که شبکه‌ای از واحدهای راه اندازی شدهٔ منتج از این تکنولوژی، اشتغال‌زایی مستقیم یا غیرمستقیم برای بیش از ۱۰۰۰۰۰ پسماند جمع کن[27] و ۱۰۰۰۰ فرد دیگر در کشور هند ایجاد کند. با تجربه‌ای که طی دو سال از راه اندازی واحدهای تجاری تولیدکنندهٔ سوخت به‌دست‌آمد، مشخص شد که این واحدها، نه تنها بدون درنظرگرفتن جریمه برای فرایندهای تولیدکنندهٔ زائدات پلاستیکی، خود نگهدار و پایدارخواهند بود؛ بلکه از این راه، مراکز سودمندی برای دفع زائدات پلاستیکی به طریق دوستدار محیط زیست فراهم شده است. واحدهای ساخته شده براساس این تکنولوژی، در ایالت‌های راجستان، ماهاراشترای کشور هند و بر اساس توافقنامه‌های صورت‌گرفته در کشورهای موریس و بحرین نیز، توسعه یافته است.

Plant واحد مقیاس صنعتی تولید سوخت از زائدات پلاستیکی

منابع

[1] www.indiasanitationportal.org/sites/default/files/SLWM "Solid and Liquid Waste Management in Rural Areas- A Technical Note",2009.
[2] http://global-waste.de/plastic.htm Author: Nina von Euen,"plastic waste",2013.
[3] http://www.bioji.com/index.cfm Author:ShyamPandharipande, "From the heart of India: A Wand that Converts plastic Waste into Fuel", 2011.
[4] http://www.caleidoscope.in/eco-ideaz/petrol-from-plastic-waste Author: Priyadharshini,Petrol from plastic waste,2013.

20. The Bajaj Pulsar is a motorcycle brand owned by Bajaj Auto in India
21. State Bank of India's Technical team
22. Non-Motorized fuel
23. Condensation
24. State Bank of India
25. Butibori MIDC Industrial area
26. Wardha road
27. Rag pickers

تعاونی‌های پسماندگردی در کشورهای در حال توسعه

سامان سامی

کارشناس دفتر هماهنگی عمرانی و خدمات شهری

فعالان غیررسمی و پسماندگردها نقش مهمی در سیستم مدیریت پسماند جامد به‌خصوص در فعالیت‌های بازیافت دارند. بازیافت غیررسمی مواد و پسماندگردی اگرچه از دیدگاه حفظ منابع و حمایت از گروه بزرگ کارگران فقیر سودمند است، ولی باعث بروز مسائل اجتماعی و بهداشتی جدی در جوامع شهری می‌شود.

شرایط فعلی پسماندگردی در آسیا و آمریکای لاتین

بازیافت پسماند شهری در کشورهای در حال توسعه به‌طور گسترده به شکل بازیابی غیررسمی مواد از جریان پسماندها توسط افراد پسماندگرد انجام می‌شود. برطبق برآوردهای صورت گرفته در شهرهای کشورهای آسیایی و آمریکای لاتین تقریبا حدود دو درصد از جمعیت با پسماندگردی امرار معاش می‌کنند. پسماندگردها مواد را به منظور بازیافت (recycling)، استفادهٔ مجدد (reuse) و یا مصرف خودشان بازیابی می‌کنند. در گویش‌های محلی کشورهای مختلف اسامی مختلفی به افراد پسماندگرد اطلاق می‌شود؛ برای مثال در کشور مکزیک به پسماندگردهایی که در محل تلنبار پسماندها کار می‌کنند "Pepenadores"، به افرادی که مقوا و کارتن جمع‌آوری می‌کنند "Cartoneros"، به افرادی که قوطی‌های آلومینیومی جمع می‌کنند "Buscabote" و به جمع‌کنندگان وسایل کهنه "Traperos" اطلاق می‌شود. در کشور کلمبیا به افرادی که فلزات دورریز را جمع می‌کنند "Chatarreros"، به افراد جمع کنندهٔ بطری‌های شیشه‌ای "Frasqueros" و در مجموع به افرادی که شغل پسماندگردی دارند اصطلاح "Basuriegos" می‌گویند.

درآمد پسماندگردها به دلیل قیمت پائین خرید اقلام بازیافتی توسط دلالان، بسیار ناچیز است. در برخی موارد (برای مثال در معاملات تک مجوری)، دلالان از پسماندگردها بهره‌کشی زیادی می‌کنند. این شرایط وقتی به‌وجود می‌آید که فقط یک خریدار و فروشندهٔ انحصاری وجود دارد. برای مثال، پسماندگردها در برخی شهرهای کلمبیایی، هندی و مکزیکی حداکثر می‌توانند ۲۰ درصد از قیمت واقعی مواد بازیافتی را دریافت کنند. این در حالی است که سود کلانی نصیب واسطه‌ها می‌شود. جدول شماره یک بهای پرداختی به پسماندگردها برای مقوای بازیابی شده در برخی کشورهای هند، کلمبیا و مکزیک را ارائه می‌کند.

ردیف	کشور	واحد پول	بهای پرداخت شده به ازای هر تن		
			دلالان کوچک به پسماندگردها	دلالان بزرگ به تاجران کوچک	صنایع به دلالان بزرگ
۱	هند	روپیه	۱۰۰-۲۰۰	۹۰۰	۱۸۰۰
۲	کلمبیا	پزوی کلمبیا	۱۰۰۰	۳۰۰۰	۵۵۰۰
۳	مکزیک	پزوی مکزیک	۹۰۰	۱۱۰۰	۴۰۰۰

جدول۱. بهای پرداختی برای مقوای بازیابی شده در برخی کشورهای هند، کلمبیا و مکزیک

تشکیل تعاونی‌های پسماندگردی

در کشورهای در حال توسعه، صنایعی که از مواد قابل بازیافت استفاده می‌کنند، حامیان دلالان، توزیع‌کنندگان و پسماندگردها هستند اما در این کشورها با توجه به رواج سیستم واسطه‌گری، بیشترین سود حاصل از بازیافت عاید دلالان و درآمد اندکی نصیب پسماندگردها و افراد بازیافت‌کننده می‌شود. برای مثال در مکزیکوسیتی سودی که عاید دلالان می‌شود ۳۰۰ درصد درآمد پسماند گردهاست. تشکیل تعاونی‌های پسماندگردی باعث حذف دلالان و پرداخت قیمت‌های بالا به اعضاء تعاونی خواهد شد. درآمدهای بالاتر برای اعضاء تعاونی باعث بهتر شدن استاندارد زندگی پسماندگردها و تشویق و ترغیب آنها به انجام بهتر امر بازیافت پسماند خواهد شد.

تعاونی‌های موفق پسماندگردی در آمریکای لاتین

۱. کلمبیا

سال ۱۹۸۶ در کشور کلمبیا یک سازمان غیردولتی به نام «بنیاد امور اجتماعی» اقدام به تشکیل تعاونی پسماندگردها کرد. همان سال، در شهر مانیزالز[1] یک محل دفن بهداشتی جایگزین یک محل تلنبار پسماند روباز شد و این امر منجر به جابه‌جایی ۱۵۰ خانواده (خانواده‌هایی که تا آن زمان اقدام به بازیافت مواد در محل تلنبار پسماند ها می‌کردند) از آنجا گردید. این سازمان در جهت تشکیل تعاونی و تغییر مکان پسماندگردها کمک‌های شایانی کرد. پس از ارزیابی مثبت این اقدام، سازمان نسبت به تشکیل تعاونی پسماندگردی در سایر شهرها نیز اقدام کرد. از سال ۱۹۹۱ تاکنون این سازمان بیش از ۱۰۰ تعاونی پسماندگردی در سراسر کشور را تحت پوشش خود دارد. همچنین در طی این سال‌ها، سازمان اقدام به پرداخت مساعدت‌های مالی، پرداخت وام به تعاونی‌ها و فراهم کردن خدمات مشاوره ای رایگان کرده است. نحوهٔ عملکرد تعاونی‌های وابسته به بنیاد امور اجتماعی بسیار متفاوت است؛ برخی اعضا از گاری‌های دستی برای انتقال مواد استفاده می‌کنند و برخی دیگر از کامیون‌ها و دیگر وسایل نقلیه. برخی از تعاونی‌ها، در اماکن تلنبار محلی مستقرند و برخی دیگر در مسیرهای خیابانی شهرها و از مخازن واقع در کنار پیاده‌روها با پسماندهای موجود در مکان‌های عمومی استفاده می‌کنند. به‌علاوه، برخی دیگر از تعاونی‌ها برنامهٔ جداسازی از مبدا، جمع‌آوری مواد قابل بازیافت از منازل، ادارات، مناطق تجاری و صنایع کوچک را اجرا می‌کنند که گاه این فعالیت‌ها زیر نظر پیمانکاران رسمی است. در این راستا تعاونی‌های پسماندگردی، انجمن‌های خریدوفروش محلی را تشکیل دادند. این امر به آنها اجازه می‌دهد مواد قابل بازیافت را در مقادیر قابل توجهی به فروش برسانند و درآمد بالاتری را نسبت به هر تعاونی که به تنهایی عمل می‌کند داشته باشند. در مجموع، پسماندگردهای کلمبیایی سالیانه بیش از ۳۰۰ هزار تن مواد قابل بازیافت که اغلب شامل کاغذ، شیشه، فلزات و پلاستیک‌ها می‌شود، را بازیافت و به فروش می‌رسانند.

۲. برزیل

اقدامات مهمی برای حمایت از تشکیل تعاونی‌های پسماندگردی در برزیل انجام شده است. پسماندگردهای برزیلی[2] تعاونی‌هایی را در ریودوژانیرو[3]، بلوهوریزنته[4]، رسیف[5]، نیتروی[6] و سالوادور[7] تشکیل داده‌اند. فقط در شهر ریودوژانیرو ۱۴ تعاونی با ۲۵۰۰ عضو وجود دارد. در شهر پورتو آلگره[8] پسماندگردها از طریق برنامه بازیافت کنار پیاده‌رو به حدود ۱/۱ میلیون نفر خدمات ارائه می‌دهند. تعاونی گوپامار[9] یکی از موفق‌ترین تعاونی‌های پسماندگردی در برزیل است که ماهیانه ۱۰۰ تن مواد قابل بازیافت را در ریودو ژانیرو و با هزینهٔ پایین‌تر جمع‌آوری می‌کند.

۳. مکزیک

تعاونی سوکوسما[10] در شهر خوارز[11] واقع در مرز مکزیک و ایالت تگزاس ایالت متحده یکی از موفق‌ترین تعاونی‌های پسماندگردی در مکزیک است. امروزه اعضاء این تعاونی حدود ۵ درصد از زائداتی که به محل‌های تلنبار پسماند می‌رسند را بازیافت می‌کنند که روزانه معادل ۱۵۰ تن کاغذ، مقوا، شیشه، لاستیک، انواع پلاستیک، استخوان‌های حیوانات، مواد آلی و فلزات می‌شود. تا سال ۱۹۷۵ و پیش از تشکیل تعاونی پسماندگردی در این کشور، حق بازیابی مواد قابل بازیافت در

1. Manizales
2. Catadores de lixo
3. Rio de Janeiro
4. Belo Horizonte
5. Recife
6. Niteroi
7. Salvador
8. Porto Alegre
9. Coopamare
10. Socosema
11. Juarez

محل‌های تلنبار در اختیار دلالان قرار داشت. در این سال با پشتیبانی یک تاجر محلی و حمایت شهرداری، تعاونی سوکوسما شکل گرفت. در سال ۱۹۷۵، مقامات محلی حق بهره‌برداری بازیابی مواد قابل بازیافت ورودی به محل‌های تلنبار پسماند را به این تعاونی اعطا کردند. تاثیر تشکیل تعاونی سوکوسما قابل ملاحظه و چشمگیر بود زیرا در عرض چند ماه پس از تشکیل تعاونی و حذف دلالان، درآمد اعضاء تعاونی پسماندگردی ۱۰ برابر شد. از آن سال به بعد تعاونی‌های زیادی در کشورهای آمریکای لاتین از قبیل ونزوئلا، برو، اکوادور، گواتمالا و کاستاریکا تشکیل شده است.

تعاونی‌های موفق پسماندگردی در آسیا

۱. فیلیپین

تشکیل تعاونی‌های پسماندگردی در آسیا طی سال‌های گذشته افزایش قابل‌توجهی یافته است. امروزه در کلیهٔ مناطق شهر مانیل (پایتخت کشور فیلیپین) تعاونی پسماندگردی وجود دارد. در این برنامه، هر فرد پسماندگرد که Eco aide نامیده می‌شود، مسیر ثابت و مشخصی برای دست‌یابی به مواد تفکیک‌شده در مبدا (در منازل و مدارس) دارد. پسماندگردها یونیفرم‌های سبز می‌پوشند و از گاری یا دوچرخه‌های سبز نیز استفاده می‌کنند. این پسماندگردها در هر ماه ۴۰۰۰ تن مواد قابل بازیافت را بازیابی می‌کنند. دستمزد روزانه متوسط پسماندگردها براساس سطح درآمد اجتماعی که در آن کار می‌کنند بین ۵ تا ۲۰ دلار آمریکاست.

۲. هند

سازمان غیردولتی ایکسنورا[12] در شهر مادراس[13] برنامهٔ جمع‌آوری پسماندها در نواحی کم‌درآمد را برعهده دارد و پسماندگردی در این شهر را به‌صورت رسمی اجرا می‌کند. پسماندگردها به‌عنوان جمع‌آوری‌کنندگان رانندهٔ همکاری می‌کنند. برای خرید گاری‌های سه‌چرخ، به تعاونی پسماندگردی وام تعلق می‌گیرد. قبل از دفن پسماندها، پسماندگردها مواد قابل بازیابی را از پسماندهای جمع‌آوری شده جداسازی می‌کنند. ساکنان شهر ماهانه مبلغ ۰/۳ دلار آمریکا برای جمع‌آوری پسماندهایشان می‌پردازند. حق‌الزحمهٔ جمع‌آوری پسماندها بابت بازپرداخت وام‌های اخذ شده و دستمزد پسماندگردهای جمع‌آوری کننده استفاده می‌شود. امروزه در این شهر حدود ۹۰۰ تعاونی پسماندگردی وجود دارد. اجرای این برنامه باعث افزایش درآمد پسماندگردها و افزایش جمع‌آوری پسماندها می‌شود و تمیز شدن محیط شهر را به‌دنبال دارد. همچنین در شهر پون[14] حدود ۶۰۰۰ پسماندگرد، یک تعاونی تشکیل داده‌اند و ۲۵ درصد از پسماندهای تولیدی جمعیت یک میلیون نفری شهر را بازیافت می‌کنند.

۳. اندونزی

در کشور اندونزی قوانین حمایت و پشتیبانی از پسماندگردها مصوب شده است. در سال ۱۹۹۲ دولت مرکزی این کشور اعلام کرد که پسماندگردها برای اقتصاد و محیط زیست کشور مفید و موثر هستند. در حال حاضر، دولت مرکزی به پشتیبانی و حمایت از تعاونی‌های

12. Exnora
13. Madras
14. Pune
15. Patron-Client

پسماندگـردی (بازیابـی از کنار خیابان و بازیابـی از محل‌های دفن) اقدام می‌کند.

آموخته‌هایی از برنامه‌های تشکیل تعاونی‌های پسماندگردی

۱. لزوم پشتیبانی از سازمان‌های غیردولتی

سازمان‌های غیردولتی نقش کلیدی در کمک به تشکیل و بهره برداری از تعاونی‌هـای پسماندگردی ایفا می‌کننـد. انرژی، خلاقیت و شناخت آنهـا با شرایط محلی اجازه می‌دهـد ابتکاراتی که شانس بهتری برای موفقیـت دارند را توسعه دهند. آنها می‌تواننـد به تعاونی‌ها در دریافت وام و تسهیـلات کمک کنند یا برای اخذ وام‌های بانکی خودشان اقدام کنند. همچنین سازمان‌های غیردولتی می‌توانند مشارکت‌های قانونی، تجـاری و فنـی لازم برای تعاونی‌هـا را فراهم کننـد. تعاونی‌های تازه تاسیـس که مورد پذیرش دلالان نیستند بسیار آسیب پذیرند. از سوی دیگـر، صنایع تبدیلی مواد بازیافتی ممکـن است با از بین رفتن کانال تامیـن مواد مورد نیازشان مخالفت کننـد. همچنین درصورتی‌که یک رابطهٔ حامی- مشتری[۱۵] بین شهرداری‌ها و پسماندگردها وجود داشته باشـد، مسئولان ممکـن است به‌صورت پنهانی بـا تشکیل تعاونی‌های پسماندگردی جدید ممانعت کنند.

۲. برنامه‌ریزی و زمان‌بندی در تشکیل یک تعاونی

برنامه‌ریـزی در تشکیل یک تعاونی می‌تواند به موفقیت آن کمک کند. طـی تغییرات در حکومت‌هـای اجرایی به‌خصـوص در سطوح محلی، دریچه‌ای از فرصت‌ها بوجود خواهد آمد. یک شهردار جدید، مخصوصا اگر عضوی از حزب سیاسی متفاوت با مسئول قبلی باشد، ممکن است بـه پشتیبانـی از تعاونی‌های تشکیل شده جدید بـرای اثبات تعهدش تمایل بیشتری داشته باشد.

منابع

[1] Medina ,Martin. Waste Picker Cooperatives in Developing Countries. El Colegio de la Frontera Norte, Mexico
[2] Cointreau, Sandra. Occupational and Environmental Health Issues of Solid Waste Management Special Emphasis on Middle- and Lower-Income Countries. World Bank. 2006.

گزارش برگزاری سمینار آموزشی مدیریت پسماندهای روستایی

مهیار صفا

کارشناس دفتر هماهنگی عمرانی و خدمات روستایی

براساس هماهنگی‌های انجام شده فی‌مابین دفتر هماهنگی عمرانی و خدمات شهری سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور و آژانس همکاری‌های بین المللی ژاپن(Japan International Cooperation Agency-JICA)، سمینار آموزشی «مدیریت پسماندهای روستایی» برای ۵۵ نفر از دهیاران منتخب و کارشناسان پسماند دفاتر امور روستایی استانداری‌های سراسر کشور با همکاری سازمان مدیریت پسماند شهرداری مشهد، از تاریخ ۱۵ تا ۱۹ آبان ماه سال ۱۳۹۲ در شهر مقدس مشهد برگزار شد. در این سمینار پنج روزه مشاور ارشد محیط زیست و مدیریت پسماند جایکا جناب آقای دکتر میتسو یوشیدا (Mitsuo Yoshida) مطالب آموزشی خود را در ارتباط با جنبه‌های مختلف سیستم مدیریت پسماندهای جامد در جوامع کوچک و محلی ارائه کردند.

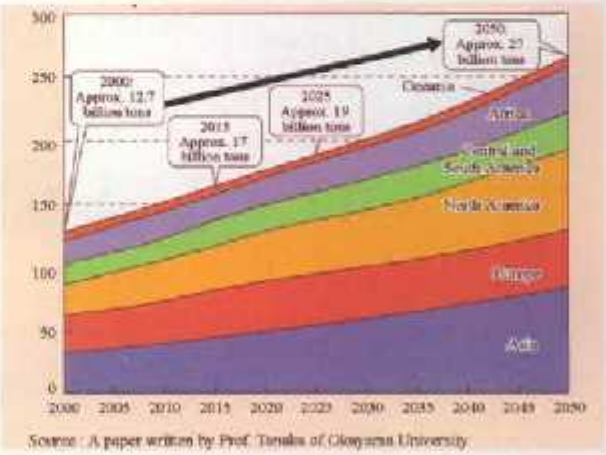
در نخستین روز سمینار، ابتدا مدیر کل دفتر هماهنگی عمران و خدمات روستایی سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور، مدیر عامل سازمان مدیریت پسماند شهرداری مشهد و آقای تاکنوچی (Takeuchi) نمایندهٔ رئیس جایکا در دفتر ایران به حاضران خوشامد گفتند.

سپس نمایندگان هر یک از استان‌های حاضر در سمینار وضعیت موجود و اقدامات انجام شده در زمینهٔ توسعهٔ سیستم مدیریت پسماند در روستاهای استان خود را با کمک اسلایید تشریح کردند (عکس۱). این برنامه با توصیه‌ها و پیشنهادات مشاور ارشد جایکا در ارتباط با مطالب ارائه شده توسط دفاتر امور روستایی و دهیاران، به اتمام رسید.

عکس ۱. ارائه وضعیت موجود و اقدامات انجام شده توسط دفاتر امور روستایی استانداری‌ها

روز دوم سمینار، فرایند توسعه و اجرای سیستم مدیریت پسماندها توسط مشاور ارشد جایکا مورد بحث و بررسی قرار گرفت. بحران فعلی پسماندها، رابطهٔ بین تولید پسماند و تولید ناخالص داخلی و ارتباط بین میزان پسماند جمع‌آوری نشده و میزان محل انباشت پسماند با رشد اقتصادی از جمله موضوعات مورد بحث در این جلسه بود.

نمودار ارائه شده در شکل ۲ روند افزایشی تولید پسماند را در دنیا نشان می‌دهد. همان‌طور که ازشکل ۲ مشخص است کشورهای آسیایی و آمریکای شمالی، بالاترین میزان تولید پسماند در جهان را دارند.



شکل ۱. روند افزایش تولید پسماند از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۵۰

توسعه فازی مدیریت پسماند، توسعه مرحله‌ای و ورودی‌های تکنیکی سیستم مدیریت پسماند و سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای مورد نیاز (جدول ۱)، آنالیز و بررسی اجزای پسماند، جریان پسماند، امور مالی سیستم مدیریت پسماند، امکانات و تجهیزات موردنیاز برای سرویس جمع‌آوری، کاهش میزان دفع پسماند در محل‌های دفن و حفاظت از محیط زیست، معرفی بازیافت و استراتژی 3R (کاهش، استفاده مجدد و بازیافت پسماندها)، فرایند تفکیک از مبدا، واحدهای جداسازی پسماندها از دیگر مباحث طرح شده در روز دوم سمینار بود.

Stage 2 مرحله دوم برنامه‌ریزی	Stage 1 مرحله اول برنامه‌ریزی
گسترش مناطق سرویس دهی بهبود یا کنترل اماکن دفع و تخلیه پسماند جلوگیری از آلودگی اماکن دفع و تخلیه پسماند	راه‌اندازی سازمانی برنامه‌ریزی و ایجاد ساختار موسسانی ارتقاء سیستم جمع‌آوری و انتقال
Stage 4 مرحله چهارم برنامه‌ریزی	**Stage 3 مرحله سوم برنامه‌ریزی**
معرفی کامل استراتژی 3R جامعه بازیافت گرا جامعه پایدار	محل دفن بهداشتی معرفی بخشی از استراتژی 3R ملاحظات اجتماعی و مشارکت

جدول ۱. توسعهٔ مرحله‌ای سیستم مدیریت پسماند

در سومین روز سمینار، مشکلات و خطرات محل‌های دفع و تخلیه روباز پسماندها و چگونگی تبدیل آنها به سایت‌های دفن بهداشتی مورد بحث قرار گرفت. در این ارتباط شرایط یک لندفیل بهداشتی، فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی انجام شده در یک محل دفن پسماند و نیز برنامه‌ریزی و مراحل توسعه گام‌به‌گام برای تبدیل یک محل تخلیهٔ غیربهداشتی به یک محل دفن بهداشتی بررسی شد. اصول و مبانی مکان‌یابی محل‌های دفن از دیگر موضوعات مطرح شده در این بخش است. جدول شماره (۱) شاخص‌ها و معیارهای تبدیل محل‌های دپو و تخلیهٔ روباز را به اماکن دفن بهداشتی و درجات آن نشان می‌دهد.

سطح چهارم	سطح سه	سطح دو	سطح یک	دفع مرحله‌ای باز	پارامترهای کلیدی
X	X	X	X		تجهیزات مدیریت در سایت
X	X	X	X		اندازه‌گیری میزان پسماند ورودی
X	X	X			نصب حصار و موانع ثابت
X	X	X			ایجاد منطقه بافری
X	X	X	X		تجهیزات مناسب برای دفن پسماندها
X	X	X	X		جاده‌های دسترسی داخل سایت
X	X	X			پوشش روزانه یا متناوب خاک
X	X	X			تهویهٔ گاز
X	X				امحاء یا بازچرخش شیرابه
X					تصفیه و خالص‌سازی شیرابه
X	X				مانیتورینگ و پایش عوامل و منظم
X					عملیات کنترل آلودگی
X	X				حصار متحرک و پیشگیری از پخش پسماند

جدول ۲. مراحل و سطوح توسعهٔ محل‌های دپوی پسماند به اماکن دفن بهداشتی (JICA، ۲۰۰۵)

یکی از مباحث مهم تدریس شده در جلسات سمینار موضوع «ارزیابی ظرفیت» در چهار سطح فردی، سازمانی، نهادی (قوانین و آئین نامه‌ها) و سطح اجتماعی بود. این موضوع به‌عنوان نمونه برای بحران پسماندها در شهر ناپل ایتالیا مورد بررسی بیشتر قرار گرفت. عکس شماره (۲) وضعیت بحرانی شهر ناپل را در پی جمع‌آوری نشدن پسماندها نمایش می‌دهد.

عکس ۲. دکتر یوشیدا مشاور ارشد جایکا در حال ارائه مباحث کارگاه

عکس ۳. مشکلات ناشی از جمع‌آوری نشدن پسماندها در شهر ناپل ایتالیا

شیوهٔ تهیهٔ برنامه‌های اجرایی (Action plan) برای توسعهٔ مدیریت پسماندها از دیگر موضوعات طرح‌شده توسط مدرس جایکا در این سمینار آموزشی بود. در این بخش چگونگی تعیین هدف و انواع هدف‌ها با توجه به گسترهٔ زمانی (کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت) و همچنین موضوع مهم آنالیز مسئله (Problem analysis) تشریح شد (جدول ۳). در انتهای این بخش از سمینار جدولی در بین شرکت‌کنندگان توزیع شد تا در آن برنامه‌ای برای یک روستا یا مجموعه‌ای از روستاهای استان خود تعریف و هدف‌گذاری کنند. سپس آنالیز مشکلات، ارزیابی ظرفیت در چهار سطح ذکر شده و در نهایت طرح اجرایی (برنامه اقدام) پیشنهادی خود را در جدول و ماتریس نهایی تدوین کنند.

Action Plan طرح اجرایی	پیش‌بینی می‌شود که طرح کوتاه مدت (طرح اجرایی) تقریبا در عرض یک سال به هدف، دست یابد.
Project پروژه	پیش‌بینی می‌شود که طرح میان مدت (پروژه) که شامل مجموعه‌ای از طرح‌های اجرایی است، در عرض ۳ تا ۵ سال به هدف کلی دست یابد.
Program برنامه	پیش‌بینی می‌شود طرح بلند مدت (برنامه) که مجموعه‌ای از پروژه‌ها را شامل می‌شود در طول ۱۰ تا ۲۰ سال به هدف نهایی و عالیه دست یابد.

جدول ۳. اهداف مورد انتظار در سیستم مدیریت پسماند و بازهٔ زمانی آنها

ساماندهی بخش غیررسمی در سیستم مدیریت پسماندها موضوع مهم دیگری است که توسط مدرس جایکا در این دوره بررسی شد. در این قسمت سازماندهی و ادغام فعالیت‌های بخش غیررسمی در سازمان و مدیریت اجرایی پسماند و نیز نحوهٔ عملکرد آن در هر یک از عناصر موظف سیستم مدیریت پسماند تشریح شد. فرایند کارکرد بخش غیررسمی در شکل شماره (۴) ارائه شده است.

شکل ۴. فعالیت‌های بخش رسمی و غیررسمی در طول جریان پسماند (Yoshida and Suzuki, ۲۰۰۹)

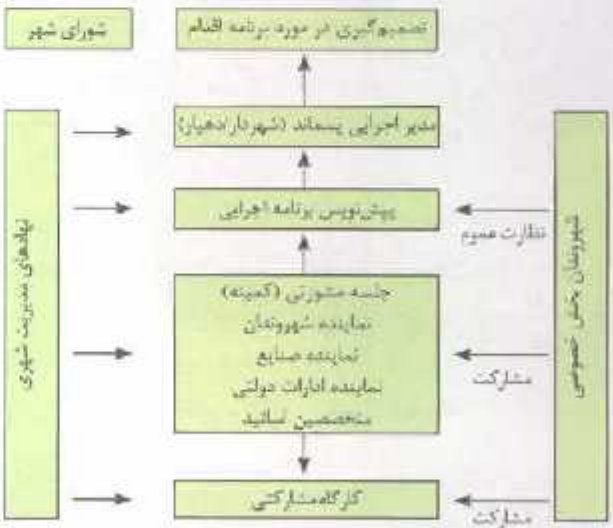
روز چهارم به دو موضوع مهم اختصاص داشت:

- اطلاع‌رسانی و افزایش آگاهی عمومی
- تولید بیوکمپوست در مناطق روستایی و جوامع کوچک.

در بخش آموزش اطلاع‌رسانی و افزایش سطح آگاهی ابتدا مانیولیسم جامعهٔ انسانی با محیط زیست، کنترل آلودگی‌ها و تخریب منابع از

طریق استراتژی 3R (کاهش، استفادهٔ مجدد و بازیافت) بررسی شدند. در ادامهٔ سمینار مباحث مهم آگاهی عمومی و آموزش عمومی و نیز تجربیات کشور ژاپن در این ارتباط ارائه و دربارهٔ آنها بحث و تبادل نظر شد. در این ارتباط پیرامون برخی از نمونه اقدامات انجام شده توسط مدیریت‌های اجرایی پسماند و سازمان‌های مردم‌نهاد بحث شد (عکس ۴). نمونه‌ای از فرایند برنامه‌ریزی مشترک برای افزایش آگاهی مردمی در شکل شماره (۳) آمده است.

عکس ۴. ارائهٔ مطالبی دربارهٔ فعالیت‌های مدیریت پسماند برای دانش آموزان مدرسه‌ای در توکیو توسط کارشناسان بخش اجرایی مدیریت پسماند



شکل ۳. نمونه‌ای از فرایند برنامه‌ریزی مشترک برای افزایش مشارکت مردمی در تصمیم‌سازی و تهیهٔ برنامه‌های اقدام در سیستم مدیریت پسماند

آخرین بخش سمینار آموزشی به ارائهٔ برخی از تجربیات تولید کمپوست در مناطق روستایی کشور توسط دهیاران و کارشناسان مدیریت پسماند دفاتر امور روستایی استانداری‌ها و نیز ارائهٔ مطالبی دربارهٔ برنامه‌ریزی واحدهای کوچک بیوکمپوست و ورمی کمپوست در روستاها توسط کارشناس دفتر هماهنگی عمرانی و خدمات روستایی سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور اختصاص داشت. در بخش نخست سه استان تجربیات خود را ارائه کردند. در بخش دوم مطالبی از قبیل اهمیت و فواید تولید بیوکمپوست‌ها در روستاها، فرایند کلی تولید بیوکمپوست، اجزای تشکیل دهندهٔ پسماندهای شهری و روستایی، روش تعیین چگالی و تناژ پسماند روستایی، پارامترهای موثر در فرایند تولید کمپوست، انتخاب محل مناسب برای واحد تولید کمپوست، واحدهای خانگی و متمرکز تولید کمپوست، کنترل فرایند تهیهٔ کمپوست، خصوصیات کمپوست رسیده و در نهایت اصول و مبانی تولید ورمی کمپوست در جوامع کوچک و روستایی مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

سمینار مورد نظر روز یکشنبه مورخ ۱۹ آبان ماه با ارائهٔ برنامه‌های اقدام از سوی شرکت‌کنندگان و ارائهٔ نقطه نظرات توسط مدرسین دوره و نیز پس از برگزاری آزمون پایان دوره، به اتمام رسید.

شیوه‌نامهٔ اجرایی «دفن بهداشتی پسماندهای عادی در سطح روستاهای کشور»

در مدیریت پسماندهای جامد روستایی، دفن بهداشتی باید آخرین مرحله و اولویت نهایی در نظر گرفته شود. در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران، حجم زیادی از پسماند بدون بازیابی یا اعمال تغییرات فیزیکی و شیمیایی مستقیما دفن می‌شوند. لذا توجه به دفن اصولی پسماند، اهمیت بسیار زیادی در حفاظت بهداشت عمومی و محیط زیست دارد. اصول و روش‌های مدیریت اماکن دفن در کشورهای مختلف، تابع کمیت و کیفیت پسماندهای تولیدی شامل حجم، دانسیته، درجهٔ خطرناکی، درصد مواد فسادپذیر و مواد سمی و شیمیایی است. در کشور ایران، در بیشتر اماکن دفن، طبقه‌بندی مشخصی به چشم نمی‌خورد و پسماندهای خطرناک و صنعتی بدون رویه‌ای مشخص و برنامه‌ریزی شده، دفع می‌شوند. مهندسی دفن بهداشتی، یکی از شیوه‌های رایج و کنترل شده دفع پسماندهای خانگی، صنعتی و حتی خطرناک محسوب می‌شود. در دنیای مهندسی امروز، دفن بهداشتی به‌عنوان یک سازهٔ مهندسی، نقش نگهداری از پسماندها و کنترل آلاینده‌های آن بر محیط اطراف را به عهده دارد که مدیریت عملیات یک محل دفن بهداشتی شامل مکان‌یابی مناسب محل دفن، آماده‌سازی محل و عملیات اجرایی و مهندسی در محل دفن می‌شود. با توجه به ضرورت تدوین شیوه‌نامه‌های اجرایی مطابق مفاد قانون و آیین‌نامهٔ اجرایی مدیریت پسماند کشور به ویژه مواد ۵ و ۶ آیین‌نامه و نیز به‌منظور حفظ محیط زیست کشور از آثار زیان‌بار دفع غیراصولی و غیربهداشتی پسماندهای جامد روستایی، تدوین شیوه‌نامه دفن پسماند روستایی در دستور کار سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور قرار گرفت. در این پروژه ابتدا کلیات و روش‌های مختلف دفن پسماند در مناطق روستایی با تاکید بر روش‌های مناسب برای مناطق روستایی مانند روش دستی ارائه شده و سپس مکان‌یابی محل‌های دفن روستایی با توجه به شیوه‌نامه‌های موجود در این زمینه بررسی شده است. پس از انتخاب محل دفن مناسب، لازم است که مطالعات طراحی فنی و مهندسی آن برای اجرا، تهیه شود. بدین منظور مهم‌ترین معیارهای طراحی محل دفن از جمله طراحی پوشش‌ها و سیستم جمع‌آوری شیرابه در این بخش ارائه شده است. در قسمت بعد، الزامات راهبری دفن پسماندهای روستایی در کشور به‌عنوان یکی از ضروریات فعلی دفن پسماند، به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. در پایان، نحوهٔ انتخاب اماکن دفن مشترک، نحوهٔ همکاری شهرداری‌ها و دهیاری‌ها و شوراها، مردم و سایر سازمان‌ها در دفن پسماند روستایی و برنامهٔ آموزش و مشارکت مردم و چگونگی دریافت هزینه‌های دفن پسماند روستایی ارائه شده است. محدودهٔ اجرایی شدن این شیوه‌نامه، تمامی روستاهای کشور با تاکید بر نقش دهیاری‌هاست.

از اهداف این شیوه‌نامه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- حفظ سلامت انسان‌ها و محیط زیست در برابر خطرات ناشی از شیوه‌های نادرست دفع پسماند در روستاهای کشور
- اجرای روش‌های صحیح دفن بهداشتی پسماندها در روستاهای کشور
- حفظ منابع طبیعی و وضعیت زیباشناختی و بکر روستاهای کشور
- جلوگیری از انتشار آلودگی‌های ناشی از دفع غیراصولی و غیربهداشتی پسماندها و انتشار بیماری‌ها در روستاهای کشور

دستورالعمل مدیریت ایمنی بهداشت و محیط زیست ایستگاه‌های انتقال پسماند

مدیریت جامع پسماندها کنترل منظم و هدفدار عناصر موظف تولید، جایجایی، تفکیک و پردازش در مبدا، جمع آوری، تفکیک و پردازش و تغییر و تبدیل پسماند، انتقال و حمل و نقل و دفع از نقطه تولید تا دفع نهایی می‌باشد در این راستا ایستگاه‌های انتقال پسماند با توجه به نقش مهم و تأثیر گذار بر سیستم مدیریت پسماند به عنوان حلقه ارتباطی بین مرحله جمع‌آوری و تأسیسات دفع نهایی پسماند عمل می‌کند با اینکه اندازه و خدمات ارائه شده در انواع ایستگاه‌های انتقال پسماند، متفاوت می‌باشد، با این حال این تأسیسات جهت دستیابی به یک هدف اصلی یعنی انتقال پسماند از خودروهای جمع‌آوری نسبتاً کوچک به خودروهای با ظرفیت و حجم بالاتر به منظور حمل اقتصادی پسماند به محل‌های دفع (در مسافت‌های طولانی)، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

از طرفی اجرای کلیه فعالیت های مختلف مرتبط با فرایند مدیریت پسماندها علی الخصوص انتقال پسماند در ایستگاه‌های انتقال، در صورت عدم رعایت اصول بهداشتی، فنی و زیست محیطی می‌تواند با بروز مخاطرات متعدد و مختلف همراه گردد. لذا پیشگیری از بروز حوادث، بیماریهای ناشی از کار و معضلات زیست محیطی با در نظر گرفتن سلامت و ایمنی کارگران، مستلزم بکارگیری ملاحظات بهداشتی، ایمنی و زیست محیطی و نهادینه کردن آن در مدیریت اجرایی پسماندها می‌باشد. مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE) ابزاری مدیریتی برای پیشگیری، کنترل و بهبود عملکرد بهداشتی، ایمنی و زیست محیطی در برنامه‌های توسعه و پروژه‌های صنعتی یا تشکیلات سازمانی است که از طریق اعمال راهکارهای مدیریتی، مهندسی و اجرایی در کلیهٔ سطوح سازمان باعث ارتقاء سطح سلامت افراد، به حداقل رساندن حوادث و آسیب‌های ناشی از کار و همچنین صیانت از محیط زیست می‌گردد.

در راستای اجرای قانون مدیریت پسماندها و آئین نامه اجرایی آن، دستورالعمل مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE) ایستگاه‌های انتقال پسماند توسط وزارت کشور (سازمان شهرداریها و دهیاریهای کشور) در هفت بخش تهیه و تدوین و به استانداری‌های سراسر کشور ابلاغ شده است. دامنه کاربرد این دستورالعمل کلیه ایستگاه‌های انتقال پسماندهای عادی تحت پوشش شهرداری‌های کشور را در بر گرفته و برای آن‌ها لازم الاجرا می‌باشد.

این دستورالعمل مشتمل بر هفت بخش پیمانکاران، رانندگی در ایستگاه، خودروی بارگیری (لودر، بیل مکانیکی و...)، خودروی حمل کننده (سمی تریلرها، کامیون‌های جفت چرخ و ...)، نیروی انسانی (راننده، کارگر، مسئول سکوا میدان- دار، تعمیرکار، کارگر سمپاش و ضد عفونی کننده و بازدید کننده)، محوطه ایستگاه انتقال (نظم و نظافت، علایم ترافیکی و هشدار دهنده، برق، انبار، تعمیرگاه، پنچرگیری، اتاق باسکول و سایر) و شرایط عمومی (سرویس بهداشتی و حمام، محل اسکان کارگران، رختکن و آبدارخانه) می‌باشد.

از مهمترین اهداف تدوین این دستورالعمل می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

۱- پیشگیری از حوادث ناشی از کار در ایستگاه‌های انتقال پسماندهای عادی.
۲- ایمن سازی محیط کار و صیانت از نیروی انسانی و منابع مادی.

برنامهٔ زیست محیطی سازمان ملل متحد

زهره ترحمی
کارشناس محیط زیست مرکز مطالعات برنامه‌ریزی شهری و روستایی

وب سایت UNEP.ORG متعلق به سازمان ملل متحد است. در صفحهٔ اصلی این وب‌سایت علاوه بر امکان دسترسی به اخبار در حوزهٔ محیط زیست، کاربران می‌توانند از فهرست انتشارات این سازمان که شامل کتاب‌های مرتبط با موضوعات زیست محیطی است بهره‌مند گردند. این سایت اهداف زیر را دنبال می‌کند:

- ارزیابی شرایط و روند محیط زیست در مقیاس ملی، منطقه‌ای و جهانی
- توسعهٔ ابزار زیست‌محیطی ملی و بین‌المللی
- تقویت مؤسسات برای مدیریت معقول و خردمندانهٔ محیط زیست

مسائل و موضوعات زیست‌محیطی به‌صورت دسته‌بندی شده در شش بخش مجزا در این وب‌سایت قابل دسترسی هستند. این بخش‌ها عبارتند از:

- تغییرات آب و هوا
- فجایع و تضادها
- مدیریت اکوسیستم‌ها
- حکومت زیست‌محیطی
- مواد مضر و خطرناک
- بهره‌وری از منابع

با مطالعهٔ لینک مربوط به تغییرات آب‌وهوا از روش‌های کاهش انتشار کربن و آثار سوء جنگل‌زدایی و پروژه‌های انجام شده در این زمینه آگاه خواهید شد. لینک مدیریت اکوسیستم‌ها شامل سیاست‌ها، روش‌ها و پروژه‌ها و فعالیت‌های انجام شده توسط این سازمان است. مدیریت اکوسیستم‌ها روشی است برای مدیریت منابع طبیعی که بر روی اکوسیستم‌های پایدار با درنظرگرفتن احتیاجات انسانی و اکولوژیکی در آینده، متمرکز می‌شود. حکومت زیست‌محیطی نیز برای دستیابی به محیط زیست پایدار در سطوح مختلف جهانی، منطقه‌ای و ملی ضروری است. سیاست‌ها، روش‌ها، موضوعات علمی و سایر مسائل مرتبط با این بحث را می‌توانید در این لینک مشاهده کنید.

تحلیل و ارزیابی فجایع زیست‌محیطی اعم از سیل، طوفان، آتش‌سوزی و... در لینک فجایع زیست‌محیطی و تضادها قابل دسترسی است. این بخش خود به چهار قسمت مختلف ارزیابی زیست‌محیطی پس از بحران، احیای زیست‌محیطی پس از بحران، همکاری زیست‌محیطی برای بازسازی و کاهش آثار ناشی از ریسک تقسیم شده است. در لینک مربوط به بهره‌وری از منابع، موضوعات آموزشی، استانداردها و پروژه‌های مرتبط با پسماندها و بازیافت و همچنین تولید و مصرف پایدار قابل دسترسی برای کاربران علاقه‌مند وجود دارد.

یکی از مزیت‌های این وب‌سایت، امکان مشاورهٔ رایگان با کارشناسان و متخصصان در حوزهٔ محیط زیست است. کاربران می‌توانند از طریق لینک مربوطه سوالات خود را با کارشناسان سایت درمیان بگذارند و از نظرات آنان بهره‌مند گردند. امید است که این وب‌سایت مورد توجه علاقه‌مندان به موضوعات زیست محیطی قرار گیرد.

آموزش برای عدم تولید پسماند

ZERO WASTE EDUCATION

وب سایت zerowaste education.co.nz متعلق به شرکتی در کشور نیوزلند است. این شرکت از سال ۱۹۹۳ تا کنون در حال فعالیت در زمینه آموزش کودکان برای کاهش تولید پسماند است. این برنامه در راستای آموزش کودکان درخصوص پایداری در کاهش، استفاده مجدد، بازیافت و کمپوست پسماند و ذخیره آب طراحی شده است. این شرکت در سال ۱۹۹۳ با ارائه برنامه خود به مدارس نیوزلند شروع به کار کرد و هم‌اکنون بیش از پانصد مدرسه در این برنامه آموزشی مشارکت دارند.

این برنامه در بسته‌های مختلف آموزشی طی ۸ سال ارائه می‌گردد که در بخش‌های مختلف سایت به تفکیک ارائه شده اند. مدارس یا واحدهایی که خواهان اطلاعات بیشتر درمورد روش‌های مختلف آموزش بازیافت مانند ورمی کمپوست، کمپوست در مدرسه، بازیابی مواد و... باشند می‌توانن به صفحه‌ی مربوط به همین بخش که در لینکی مجزا قرار دارد منابعه نمایند.

جدول زمانبندی ارائه دروس آموزشی بخش دیگری از وب سایت را تشکیل داده است که در آن مطالب آموزشی هر سال تحصیلی به تفکیک معرفی و واحدهای درسی ارائه شده‌اند. بازخورد مطالب آموزشی این برنامه، در لینک" بازخورد" قابل دسترسی است. نواحی تحت پوشش این برنامه آموزشی در لینک دیگری بر روی نقشه کشور نیوزلند نمایش داده شده‌اند.

این وب سایت می‌تواند برای شرکت‌ها یا شهرداری‌هایی که علاقه‌مند به فعالیت در زمینه‌ی آموزش کودکان برای تفکیک از مبدأ پسماند و کاهش پسماند هستند راهنمای مفیدی باشد. الگوبرداری و استفاده از تجارب این وب سایت توسط مدیران اجرایی پسماند در کشور می‌تواند در دراز مدت به تغییر الگوهای مصرف و زیست محیطی کشور کمک نماید. امید است مطالب است وب سایت فوق مورد توجه دوستداران محیط زیست قرار گیرد.

شعار این درگاه اینترنتی «آموزش برای فردایی پایدار» است.

خاکچال مهندسی پسماند
اصول مهندسی، فناوری، راهبری، ارزیابی و کدهای اجرایی

محمد طولابی

خاکچال مهندسی پسماند، اصول مهندسی فناوری، راهبری، ارزیابی و کدهای اجرایی
تالیف: دکتر محمدعلی عبدلی، سیاوش صدیقیان
لیلا امیری
ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران
نوبت چاپ: اول
شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
بها: ۱۸۰۰۰۰ ریال

افزایش جمعیت و رشد صنعت پیامدهای بسیاری برای محیط زیست دارد که یکی از آنها افزایش پسماندهاست. در گذشته، دفن پسماندها بسیار آسان‌تر بود. چرا که زمین در اطراف شهرها بیشتر و میزان پسماندها کمتر بود. در جامعهٔ شهری امروز و به‌خصوص در کلان‌شهرها حجم پسماند روزانه افزایش یافته است. برای مثال در شهر تهران روزانه بین ۶ تا ۸ هزار تن پسماند تولید می‌شود! این حجم انبوه با توجه به روش‌های مختلفی که وجود دارد باید از طریق بازیافت و سوزاندن و یا دفن از بین بروند.

از دهـهٔ ۱۹۷۰ که توجـه به محیط زیست و مشکـلات زیست‌محیطی به‌صورت جـدی در دنیا مطرح شد و حجـم پسماندهـای شهری به‌سرعت رو به افزایش نهاد، توجه به مقولـهٔ تفکیک از مبدا و بازیافت و همچنین روش‌هـای صحیح دفـن که به‌صورت سـاده و غیرعلمـی از سال‌های گذشتـه رواج داشـت، افزایش یافت. دفن پسماند از روش‌هایی است که در بیشتر نقاط کشور با توجه به کمبود امکانات بازیافت و دستگاه‌های پسماندسوز مورد استفاده قرار می‌گیرد و درصورتی‌که این روش به درستی انجام نگیرد منشاء بروز مشکلات بسیـاری از جمله نفوذ شیرابه بـه آب‌های زیرزمینی و خروج گازهای بدبـو و آلودگی‌های زیست‌محیطی خواهد بود.

کتـاب حاضـر مجموعـه‌ای است ارزشمند کـه نتایج تجربـی و تحقیقاتی مولفـان را در ۱۹ فصل ارائه می‌کنـد. در فصـل اول به بررسی سیستم‌های پسمانـد شهری در کشورهای صنعتـی و ایران پرداخته می‌شود و در بخش پایانی آن ویژگی‌های مدیریت پسماند شهری در ایران را توضیح می‌دهد و می‌گوید: «پردازش در سیستم مدیریت زبالهٔ شهری ایران جایگاهی ندارد.»

در فصـل دوم بـه دفع و انتخاب روش‌های دفـع می‌پردازد و در ادامهٔ آن، در فصل سـوم به دفن بهداشتی و ضوابط و معیارهای انتخاب، محل انتخاب، و محل خاکچال می‌پردازد و مناطق پست و گود مثل دره‌های تنگ، بانلاق‌هـا و گودال‌ها و معادن متروکه را از نظـر توپوگرافی و اقتصادی مناسب می‌داند. البته مشروط به اینکه زهکشی مناسب برای روان‌آب‌ها ایجاد شود. در فصل چهارم توضیحاتی درخصوص آماده‌سازی محل خاکچال و تاسیسات و تجهیزات و مواد پوششی ارائه شده است.

عنوان فصل پنجم «عملیات در محل خاکچال» است و ۲۲ بخش دارد. بخش‌هایی همچون دفن بهداشتی در مناطق خشک و مرطوب و متراکم کردن مواد در خاکچال و... که بهتر بود بخش‌های کنترل گردوخاک و آتش و بو و حرکت گاز در فصل ۱۵ کتاب و در مبحث راهبری خاکچال به آن پرداخته شود.

«خاکچـال خودبـالا» عنوان فصل ششم است که منظور از خودبالا آزاد گذاشتـن شیرابه برای نفوذ لایه‌های زیریـن اسـت. با این فرض که شیرابه به‌وسیلهٔ لایه‌های خاک غیراشبـاع موجود در زیر خاکچال و جریان آب زیرزمینی پالایش می‌شود.

در فصل هفتم، خاکچال محصور کننده معرفی شده که عکس خاکچال خودپالا است و برای جلوگیری از نفوذ شیرابه این نوع خاکچال ساخته می‌شود.

در فصل هشتم، خاکچال بیورآکتور به سه دستهٔ خاکچال بیورآکتور بی‌هوازی، هوازی و ترکیبی تقسیم و توضیح داده شده است. عناصر خاکچال، مواد استرها و طراحی خاکچال، تولید شیرابه و گاز و ساخت اجزای خاکچال عناوین فصل‌های بعدی هستند.

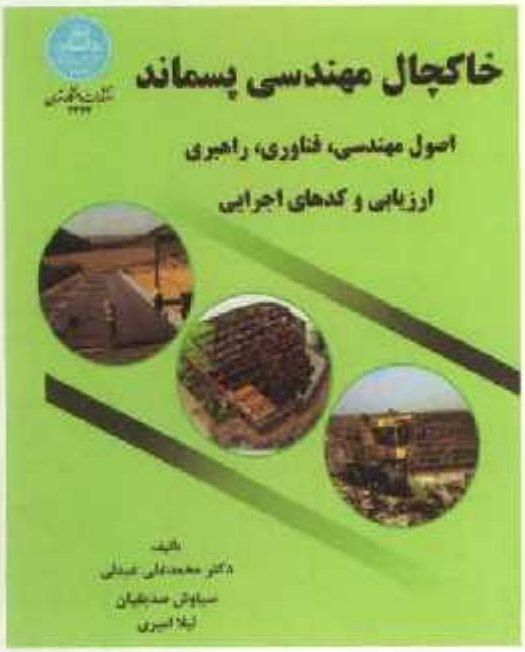
فرایند راهبری خاکچال قبل از عملیات دفن و بحث ایمنی در خاکچال موضوع فصل چهاردهم این کتاب است که بهتر بود بحث ایمنی آن در فصل هجدهم که با همین عنوان است آورده شود. در ادامه و در فصل‌های پانزدهم و شانزدهم به موضوعات راهبری خاکچال و مدیریت آن و مراقبت‌های بعد از دفن پرداخته شده و حفر چاه‌های نظارت آب زیرزمینی در مناطقی که گرادیان بالای هیدرولیکی دارند را در پایین دست تاسیسات به منظور پایش میزان کیفیت و نفوذ شیرابه‌ها الزامی می‌داند.

اصلاح خاکچال‌های متروکه و قدیمی که هیچ نوع آستر و سیستم جمع‌آوری شیرابه ندارند و ممکن است در اثر بارندگی و یا آتش‌سوزی خسارت‌های جبران‌ناپذیری به محیط زیست وارد کند مقولهٔ فصل هفدهم است.

در فصل هجدهم به موضوع مهم سلامت و ایمنی کارکنان شاغل در خاکچال و وسایل حفاظت از کارگران پرداخته شده و درنهایت تحلیل اقتصادی و برآورد هزینه‌های خاکچال آخرین فصل این کتاب است. ضمنا در پایان هر فصل پرسش‌هایی آورده شده که خواننده و خصوصا دانشجویان می‌توانند با پاسخ دادن به این پرسش‌ها خود را بسنجند. در بخش نهایی کتاب منابع و نمایهٔ کتاب آورده شده که بسیاری از کلمات استفاده شده در نمایه مانند: آزمایشگاه، اساس، استخراج، اکسیژن، پسماند، دفن و.... ضرورتی به نمایه‌سازی ندارد. به‌طورکلی جایه‌جایی در فصل‌های کتاب به وضوح دیده می‌شود. به این معنی که بهتر بود فصل‌های ۶ و ۷ و ۸ و ۹ قبل از فصل ۴ قرار بگیرد. دوم اینکه بعضی مباحث مانند مباحث ایمنی در دو فصل آورده شده و تکراری هستند.

سوم اینکه در عنوان کتاب «ارزیابی و کدهای اجرایی» آورده شده که جای خالی این بخش به عنوان فصلی جداگانه در کتاب حس می‌شود.

در نهایت مطالعهٔ این کتاب را به تمامی افرادی که در زمینهٔ محیط زیست و پسماند اعم از علمی و عملی مشغول به فعالیت هستند به‌ویژه فعالان این حوزهٔ کاری در شهرداری‌ها توصیه می‌شود.



جمهوری اسلامی ایران
وزارت کشور
سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور

فراخوان مقاله فصلنامه مدیریت پسماند

فصلنامه مدیریت پسماند با هدف ارتقای سطح دانش دست اندرکاران بخش مدیریت پسماند کشور و اطلاع‌رسانی در زمینه‌ی فعالیت‌های انجام شده و گسترش پژوهش‌های بنیادی، کاربردی و توسعه، پیشبرد مرزهای دانش و به روز کردن آگاهی جامعه علمی و اجرایی از آخرین دستاوردهای علمی و فنی جهان در موضوع مدیریت پسماند، از مدیران و کارشناسان مدیریت پسماند و همه متخصصانی که به نحوی فعالیت حرفه‌ای شان با موضوع مدیریت پسماند مرتبط است دعوت می‌نماید تجربیات و دیدگاه‌های خود را در قالب مقالات علمی، گزارش و ... با در نظر گرفتن محورهای ذیل برای بررسی و استفاده در فصلنامه ارسال دارند:

- مدیریت شیرابه پسماندهای عادی
- کاهش تولید و تفکیک از مبدا پسماند
- مدیریت جزء ویژه پسماندهای عادی
- پردازش بیولوژیکی پسماندها
- مباحث اقتصادی در مدیریت پسماندها
- قوانین و مقررات در مدیریت پسماندها
- پردازش مکانیکی پسماندها

نحوه تنظیم و ارسال مقالات:

- مقاله‌ی ارسالی باید محتوای پژوهشی داشته و حاوی یافته‌های نوین در یکی از زمینه‌های مدیریت پسماند باشد.
- مقاله‌ی ارسالی نباید قبلاً ارایه یا چاپ شده باشد.
- مقاله‌ی با استفاده از نرم افزار word (با فونت lotus ۱۲) تایپ شود.
- عنوان مقاله به صورت Bold (با فونت lotus ۱۲) در بالای صفحه و اسامی نویسندگان همراه در زیر آن با اندازه ۱۲ تایپ و زیر نام ارائه دهنده مقاله خط کشیده شده و نام مسئول مکاتبات مقاله با ستاره مشخص شود.
- تصاویر مربوط با کیفیت مطلوب اسکن شده و یا به صورت خام ارسال گردد.
- مقالات حداکثر در ۱۰ صفحه تایپ شده ارائه گردد.
- مقالات باید به همراه تصاویر مربوطه با کیفیت مناسب به آدرس الکترونیکی wm.journal@yahoo.com و یا در قالب لوح فشرده به سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور به آدرس تهران، خیابان کارگر شمالی، بالاتر از بلوار کشاورز، پلاک ۱۱۸۴، کدپستی ۱۴۱۸۷۳۳۵۱۶ ارسال گردد.

15

مدیریت پسماند

وزارت کشور
سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور

Waste Management

A Quarterly Journal of Waste Management | No. 15 | Fall 2014