

## بررسی اثرات زیست محیطی استفاده از کودهای کمپوست در ایران

\* دکتر علی نراییان

\*\* مهندس مریم مهجوری

### کلمات کلیدی:

کمپوست ایران، کیفیت بهداشتی - زیست محیطی، فلزات سنگین، مواد خنثی و بی اثر، درجه پختگی.

### چکیده:

این تحقیق که در قالب طرح پژوهشی «بررسی اثرات زیست محیطی استفاده از کودهای کمپوست در ایران» انجام شد، کیفیت کودهای کمپوست تولیدی در ایران را از جهت مخاطرات بهداشتی - زیست محیطی مورد بررسی قرار داد. در ایران زباله های شهری منبع اصلی تأمین مواد اولیه کارخانجات کمپوست سازی می باشند که مهمترین مصرف کنندگان آنها کشاورزان هستند. با توجه به هدف این تحقیق سه عامل مقدار فلزات سنگین، مقدار مواد خنثی و بی اثر و درجه پختگی به عنوان پارامترهای تعیین کننده کیفیت مورد بحث مشخص گشته و در کمپوستهای آماده فروش کارخانجات فعال کمپوست سازی ایران اندازه گیری شدند.

این مطالعه نشان داد که مقدار مواد خارجی و بی اثر و سنگ در کمپوست کلیه کارخانجات کمپوست سازی کمتر از مقدار استاندارد (کمتر از ۲ درصد وزن خشک) بود. از سویی فاکتور درجه پختگی کمپوست که از نظر حذف عوامل بیماریزا بسیار حائز اهمیت است بجز در کارخانه صالح آباد که درجه سه بود و نیاز به تخمیر بیشتر داشت، در سایر کارخانجات از استاندارد تبعیت می کردند. اما مشکل اصلی کمپوست ایران از دیدگاه بهداشتی - زیست محیطی در ارتباط با مقادیر فلزات سنگین است که مس، کادمیم و روی کمپوستها به ترتیب بیشترین تفاوتها را با مقادیر استاندارد دارند. به طوریکه مثلاً برای مس نمونه های کمپوست تفاوتی حدود ۴/۵-۸ برابر با استاندارد آلمان (۱۰۰ mg/kg) را نشان می دادند. برای فلزات سنگین دیگر مورد مطالعه به جز در نمونه های اندکی، در سایر موارد غلظتها باز هم از استانداردها تجاوز می کردند. مثلاً کرم به جز در یک کارخانه در بقیه نمونه ها حداقل تفاوتی حدود ۲/۵-۲ برابر را با استانداردها نشان می داد.

\* استادیار گروه مهندسی عمران محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

\*\* کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

## سرخاغاز

روند مصرف کودهای شیمیایی در ایران در سالهای اخیر متأسفانه بسیار سریع بوده است که موجب شده سالیانه مبلغ هنگفتی ارز جهت خرید این کودها از کشور خارج گردد. در حال حاضر سالیانه متجاوز از ۲/۵ میلیون تن کود در کشور مصرف می شود. این مقدار با توجه به سطح کشت اراضی دیم و آبی به مراتب کمتر از متوسط جهانی است. در حال حاضر با وجود راه اندازی مجتمع پتروشیمی خراسان و فعالیت مجتمع پتروشیمی رازی (بندرامام)، حدود ۴۰ الی ۵۰ درصد نیاز کشور تأمین می شود. علیرغم آنکه به جای فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم گران قیمت، سوپرفسفات تریپل و کلرورپتاسیم ارزان قیمت وارد کشور می گردد، باز هم رقمی معادل ۲۰۰ میلیون دلار ارز از کشور خارج می شود که جای بسی تأسف است. مصرف کودشیمیایی نه تنها سبب خروج ارز از کشور شده بلکه مصرف بی رویه آن سبب آلودگی خاک، آب و به طور کلی محیط زیست می شود. بنابراین استفاده از کلیه ضایعات و بقایای مواد آلی در کشور و از آن جمله زباله های شهری برای تبدیل به کودهای آلی نه تنها یک نیاز، بلکه یک ضرورت است. برای مثال اگر کلیه زباله های شهری در ایران به کود کمپوست تبدیل شود نیاز حدود ۳۰۰۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی را تأمین خواهد نمود. اگر عملکرد این اراضی در اثر استفاده از کودهای آلی فقط ۲۵ درصد افزایش یابد، افزایش درآمد حاصله از ۳۰۰۰۰۰ هکتار حداقل ۹۰ میلیارد ریال در سال تنها برای کشت غلات خواهد بود (کلباسی، ۱۳۷۶، فحیمی و کیلی، ۱۳۷۸ و ملکوتی، ۱۳۷۷). استفاده از کودهای آلی نه تنها باعث افزایش تولید محصولات کشاورزی خواهد شد بلکه از فرسایش و تخریب خاک جلوگیری نموده و نیل به کشاورزی پایدار را ممکن می سازد. با استفاده از کودهای آلی همچنین نیاز به کودهای شیمیایی کاهش یافته و از این طریق صرفه جویی ارزی و ریالی قابل ملاحظه ای خواهد شد. (کلباسی، ۱۳۷۶ و Epstein et al, 1991). اما در تأسیس و بهره برداری از کارخانجات کمپوست عوامل منفی و بازدارنده نیز وجود دارد (Bertaldi, 1993). جهت فروش موفق کمپوست تولیدی به مصرف کنندگان مختلف علاوه

بر تأمین یک کیفیت ثابت، قابل پیش بینی و مناسب، باید به پتانسیل آلودگی آن بر روی گیاهان، دامها، حیات وحش و انسان نیز توجه شود. کیفیت ضعیف کمپوست و مواد بازیافتی، وجود مقادیر زیاد فلزات سنگین، حضور مواد خنثی و بی اثر، عدم تثبیت بیولوژیکی و در نتیجه وجود عوامل بیماریزا، عدم وجود استانداردهای مشخص و یکسان و بالاخره عدم وجود روشهای استاندارد نمونه برداری، آزمایش و اندازه گیری، مهمترین عوامل منفی کمپوست هستند. (سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا، ۱۹۹۳)

## کیفیت کمپوست

کیفیت ثابت و قابل پیش بینی عامل اصلی تأثیرگذار بر قابلیت فروش کمپوست است. هر مصرف کننده کمپوست به کیفیت خاصی نیاز دارد. به عنوان مثال برخی نیاز به کمپوستی دارند که یک محصول با کیفیت بالا تولید کند تا رشد گیاهی یا زنجیره غذایی را تهدید نکند (مثلاً تولیدات کشاورزی). لیکن برای مصرف در محل دفن بهداشتی نیاز به کمپوست با کیفیت عالی نیست (سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا، ۱۹۹۳). از سویی کمپوست تولیدی از منابع مختلف خصوصیات متفاوتی داشته و در پاره ای از موارد باید پارامترهای خاصی در آنها بررسی شود. به عنوان مثال شاید کاهش عوامل بیماریزا برای کمپوست تولیدی از زباله شهری کاربرد داشته باشد، در حالیکه در مورد زباله حیاطها اهمیتی ندارد (Alexander, 1994).

بدین ترتیب عوامل تعیین کننده کیفیت یک کمپوست شامل نوع منبع و مواد اولیه تولید، نوع و شرایط مصرف کمپوست و بالاخره ویژگی مورد نظر می گردد.

در بررسی کمپوست کارخانجات ایران مشخص گشت که زباله های شهری منبع اصلی تأمین کننده مواد اولیه این مراکز را تشکیل می دهند و کشاورزان مهمترین مصرف کنندگان این کمپوست تولیدی هستند. از این رو به کیفیت کمپوست در هر یک از این موارد اشاره می شود.

الف) کیفیت کمپوست تولیدی از زباله شهری (MSW)<sup>(۱)</sup>

به طور کلی کمپوست MSW برای مصارف کشاورزی و



حتی اگر استانداردهای کمپوست در اغلب کشورها تعیین و اجرا شوند، این استانداردها و برخی عوامل اساسی دیگر یکسان نیستند. برای مثال مقدار مجاز پارامترهای موردنظر مانند فلزات سنگین با هم تفاوت دارند و پختگی و تثبیت کمپوست نیز به طور کافی توضیح داده نشده اند. همچنین روشهای نمونه برداری، آزمایش و اندازه گیری استاندارد نشده اند.

خصوصاً باید برای مواد خارجی نیز در کمپوست اهمیت قائل بود (Antler, 1997). شیشه، سنگ و پلاستیک در کمپوست می تواند باعث محدودیت فروش محصول شود (Haug, 1993). وجود فلزات سنگین در این مواد نیز بسیار مهم می باشد (Epstein et al, 1991; Flyhammer, 1994; Richard et al, 1994).

در کمپوست MSW کنترل عوامل بیماریزا بسیار اهمیت دارد. وجود عوامل بیماریزا در کمپوست از نتایج مهم تثبیت ضعیف می باشد. در طی فاز اول تجزیه میکروبی، مواد سمی تولید می شوند که شاید به گیاه صدمه زنند. در هلند مواردی از وجود سالمونلا و در آلمان مواردی از تانیا ساگیناتا در رابطه با استفاده از چنین کمپوستهای نرسیده ای مشاهده شده است (Bertaldi, 1993). تعیین میزان تثبیت از طریق یک یا چند شاخص بدست می آید: میزان تخریب مواد جامد فرار، خودگرمایی، میزان جذب اکسیژن، مقدار تولید  $CO_2$ ، تولید مواد سمی، نسبت کربن به نیتروژن، آزمایش رشد و نمو بذرها و پتانسیل احیا (Gieo, 1992).

باید به این نکته اشاره داشت که گاهی در مواد اولیه مورد استفاده برای کمپوست، ترکیبات آلی سمی وجود دارد. مثلاً شاید در زباله شهری مواد زائد خطرناک خانگی از جمله بیسی فیل پلی کلرینه (PCB)<sup>(۳)</sup> وجود داشته باشد و یا ترکیبات آلی صنعتی در لجن یافت شوند. اما در تمام این حالات مقدار این مواد سمی خیلی پایین است که با رقیق سازی به حداقل می رسد. در واقع این مواد نسبت به کل مواد خیلی کم می باشند (Epstein et al, 1991; Richard et al, 1994) و سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا، (۱۹۹۳).

### مواد و روشها

با توجه به اینکه روشهای مختلفی برای نمونه برداری، آزمایش و اندازه گیری پارامترهای مختلف در کمپوست وجود دارد ولی هنوز روش استاندارد ا ارائه نشده است. در این تحقیق از روشهای نمونه برداری و آزمایش خاص کمپوست که توسط

### پارامترهای مطرح در کیفیت بهداشتی زیست محیطی کمپوست ایران

با توجه به اینکه منبع اصلی تأمین مواد اولیه کارخانجات کمپوست سازی در ایران زباله های شهری هستند و مهمترین و اساسی ترین نوع مصرف کمپوست تولیدی جهت کشاورزی به شمار می روند، لذا بر اساس هدف این تحقیق که بررسی مخاطرات زیست محیطی استفاده از کمپوست بوده، پارامترهای زیر مشخص گشته و مورد مطالعه قرار گرفتند:

- مقدار فلزات سنگین شامل کادمیم، کرم، مس، سرب، نیکل و روی
- مقدار مواد خنثی و بی اثر شامل مواد آلی و غیر آلی
- درجه پختگی که خود تعیین کننده مسائل بهداشتی و وجود یا عدم وجود عوامل بیماریزا در کمپوست می باشد.

فلزات سنگین در بسیاری از مواد خانگی مثل صابون، دترجتها، وسایل آرایشی، بسته بندی، چرم و باتریها به کار می روند. اغلب این فلزات سنگین در زباله ها و لجن فاضلاب شهری دفع می شوند. مهمترین فلزات سنگین در کمپوست عبارتند از: کادمیم، کرم، مس، سرب، نیکل و روی (Richard et al, 1994). فلزات سنگین که در کمپوست هستند می توانند از آن طریق وارد زنجیره غذایی شوند و سمیتی برای انسان، حیوان و گیاه به بار آورند (Haug, 1993).

از سویی توجه به مسائل بهداشتی و زیبایی نکات اصلی در محدودیت مواد خارجی و بی اثر، در کمپوست هستند که به

\* پاک کننده ها، سردبیر

سازمان فدرال تضمین کننده کمپوست آلمان (FCQAO)<sup>(۳)</sup> تهیه شده است استفاده گردید.

باید دقت داشت که نمی توان هیچگونه وسائل و یا موادی که بتواند یکی از مواد مورد آنالیز را به نمونه انتقال دهد را برای نمونه برداری، انجام فرایندها و بسته بندی بکار برد. نمونه برداری می تواند از کمپوست دپو شده یا کمپوست مخلوط و بهم خورده صورت گیرد.

### الف) نمونه برداری

به منظور بدست آوردن نمونه جهت آنالیزی صحیح، نمونه برداری باید به صورت اتفاقی انجام گیرد تا به این ترتیب از اشتباهات غیرقابل اجتناب جلوگیری شود. جهت بررسی کیفیت کمپوست نهایی اساساً نمونه برداری فقط از محصولات آماده فروش صورت می گیرد.

برای انجام یک نمونه برداری مرکب از چند نمونه انفرادی که کاملاً همگون شده اند استفاده می شود. حداقل تعداد نمونه های انفرادی لازم، به اندازه میانگین دانه کمپوست زباله و به مقدار موردنیاز برای ارزیابی بستگی دارد. جدول شماره دو مبنای تعیین حداقل تعداد نمونه های انفرادی می باشد.

**جدول شماره (۲): حداقل تعداد نمونه های انفرادی بر اساس دانه و شرایط هر مجموعه تولید کمپوست (سازمان فدرال تضمین کننده کمپوست آلمان، ۱۹۹۴)**

حداقل تعداد نمونه های انفرادی				اندازه دانه کمپوست یا زباله	
از کمپوستها یا زباله های دپو شده		از مواد مخلوط شده بر اساس حجم			
از محل دپو		از وسایل نقلیه	بیش از ۵۰ تن	تا ۵۰ تن	
بیش از ۱۵۰ تن	۱۵۰-۵۰ تن				
۱۵ نمونه	۱ نمونه در هر ۵ تن	۱۰ نمونه از هر وسیله نقلیه	۱ نمونه در هر ۵ تن	۱۰ نمونه	بیشتر از ۲۰ میلیمتر
۱۰ نمونه	۱ نمونه در هر ۱۰ تن		۱ نمونه در هر ۱۰ تن	۵ نمونه	کمتر از ۲۰ میلیمتر

چهارم تا یک سوم مواد انجام شد. مخلوط کردن و همزدن آنقدر ادامه پیدا کرد که حجم نهایی موردنیاز باقی ماند. برای اینکه از تبخیر رطوبت نمونه جلوگیری شود نمونه به یک پلاستیک سربسته انتقال یافت. (سازمان فدرال تضمین کننده کمپوست آلمان، ۱۹۹۴).

از آنجایی که هدف این تحقیق بررسی مخاطرات ناشی از مصرف کود کمپوست بود، لذا از کمپوست آماده فروش سه کارخانه فعال ایران (اصفهان، تهران و مشهد) به روش نمونه برداری مرکب از کمپوست دپو شده نمونه برداری شد. نمونه برداریها از کارخانجات کمپوست اصفهان، تهران و مشهد در دو فصل پائیز و زمستان صورت گرفتند. با توجه به تفاوت های نحوه فعالیت این کارخانجات، نمونه های متفاوتی تهیه

حداقل حجم یک نمونه انفرادی بایستی ۵ لیتر برای دانه به قطر بیشتر از ۲۰ میلیمتر و ۳ لیتر برای دانه به قطر کمتر از ۲۰ میلیمتر باشد.

برای انجام نمونه برداری هر یک از نمونه ها روی یک سفره پلاستیکی تمیز (۸۰×۱۵۰ cm) ریخته شد. با بلند کردن دو انتهای پلاستیک به صورت یکی پس از دیگری، کمپوست در جهت دو انتهای دیگری لوله شده و همزمان مخلوط گردید. دقت شد که کمپوست لوله گشته و به صورت حرکت دورانی حرکت کند نه اینکه روی پلاستیک سربخورد، چرا که در غیر اینصورت خوب مخلوط نمی شود. بعد از تقریباً سه تا چهار بار عملیات اختلاط، حدود یک چهارم تا یک سوم مواد بهم فشرده شده و جمع گشتند. کاهش نمونه مرکب از طریق دور ریختن یک

جهت اندازه گیری مقدار کل فلزات سنگین شامل سرب، کادمیم، کرم، مس، نیکل و روی کمپوست، مواد خام و سرد نشده در  $150^{\circ}\text{C}$  خشک شده و حداقل  $30 \text{ gr}$  از ماده خشک با یک خرد کن مناسب تا کمتر از  $25 \text{ mm}$  / خرد شدند و با تیزاب سلطانی (۳ بخش اسید هیدروکلریک + ۱ بخش اسید نیتریک) تحت واکنش قرار گرفتند. در انتها تعیین هر یک از فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی و مجموعه ای از محلولهای استاندارد انجام شد.

در تعیین میزان مواد خارجی و بی اثر و سنگ موجود در کمپوست به طریق زیر عمل شد.

برای کمپوست دانه ریز و نرم ( $10-0 \text{ mm}$ ) به یک لیتر، برای کمپوست دانه متوسط ( $5-2 \text{ mm}$ ) به دو لیتر و برای کمپوست دانه درشت به سه لیتر نمونه خشک شده نیاز بود. نمونه خشک وزن شده و سپس با یک سرند  $5$  میلیمتری طبقه بندی شد. بخش زیر سرند از یک سرند  $2$  میلیمتری نیز عبور داده شد. اجزاء سرند شده کوچکتر از  $2$  میلیمتر دور ریخته شد (چون تنها مواد خارجی با اندازه بزرگتر از  $2$  میلیمتر به درجه مؤثر ناخالصی عینی کمپوست مربوط می شود). اجزاء بزرگتر از  $5 \text{ mm}$  و سنگها توزین گشتند. این مخلوط بر روی یک سطح صاف پراکنده شد و قسمتهای  $5-2$  میلیمتری سرند نیز به آن اضافه گشته و دوباره توزین شدند. سپس با استفاده از دو فرمول زیر میزان مواد خارجی و میزان سنگ محاسبه گردید.

$$FS = \left[ \frac{M_{fs} > 2mm}{P_{tot}} \right] \times 100$$

$$ST = \left[ \frac{M_{st} > 2mm}{P_{tot}} \right] \times 100$$

$FS$  = میزان ماده خارجی (% نمونه خشک)

$M_{fs} > 2mm$  = ماده خارجی بزرگتر از  $2 \text{ mm}$  (gr)

$P_{tot}$  = جرم کلی نمونه آزمایش شده قبل از سرد کردن (gr)

$ST$  = میزان سنگ (% نمونه خشک)

$M_{st} > 5mm$  = سنگهای بزرگتر از  $5 \text{ mm}$  (gr)

شد که در اینجا به تفکیک به آنها اشاره می شود.

الف) کمپوست تهران: این نمونه ها از کارخانه صالح آباد و کارخانه کوچک برداشت شدند. این دو کارخانه از روش ویندرو جهت عملیات تخمیر استفاده می کنند. در کمپوست کارخانه صالح آباد زمان ماند  $3$  ماه طی شده بود. این کارخانه در زمستان به علت فروش کم عملاً غیرفعال بود و تولید کود در مرحله کمپوست درشت متوقف شده و در همان سالهای تخمیر نگهداری می شدند. در زمستان معمولاً عملیات تولید کمپوست در کارخانه کوچک صورت می گیرد. این کارخانه که سیار می باشد از روشی کاملاً مشابه کارخانه صالح آباد استفاده می کند و دو نوع کود تولید می کند: کمپوست با اندازه ذرات  $20-4$  میلیمتر و کمپوست با اندازه ذرات کمتر از  $4$  میلیمتر.  $80$  درصد کود تولیدی از نوع اول و  $20$  درصد از نوع دوم می باشد. مراحل تولید این کودها کاملاً مشابه است و کمپوست ریز تنها یک مرحله سرند اضافی را طی می کند، که فقط از نظر میزان مواد خارجی و اندازه ذرات با هم تفاوت دارند.

ب) کمپوست اصفهان: در کارخانه اصفهان کمپوست به دلیل تقاضای زیاد مستقیماً بعد از مرحله تخمیر اولیه به صورت کمپوست درشت به کشاورزان فروخته می شود. در این کارخانه کمپوست نرم نیز تولید می شود که به سازمانها و شهرداریها فروخته می شود. نمونه های اصفهان مربوط به دو وضعیت کمپوست انتهایی مرحله آماده سازی (قبل از ورود به مرحله تخمیر) و کمپوست درشت آماده فروش بود.

ج) کمپوست مشهد: نمونه های کمپوست مشهد از کمپوست آماده فروش برداشت شدند. این نمونه ها کلیه مراحل آماده سازی، تخمیر اولیه و ثانویه را طی کرده بودند.

#### ب) آزمایشات

مقادیر فلزات سنگین، مواد خنثی و بی اثر و درجه پختگی

بر اساس روشهای خاص کمپوست سازمان فدرال تضمین کننده کمپوست آلمان (۱۹۹۴) اندازه گیری شد.

کمپوست کارخانه کوچک درجه پختگی IV داشته و در مرحله «رسیده» بوده و از استاندارد ۵۰۳ EPA تبعیت می کند. در نمونه های کمپوست اصفهان نمونه قبل از مرحله تخمیر اولیه درجه پختگی III و نمونه بعد از مرحله تخمیر اولیه (آماده فروش) درجه پختگی IV دارد. بدین معنا که بدون طی مرحله تخمیر ثانویه یا زمان ماند به درجه پختگی استاندارد رسیده است.

۳. کمپوست کارخانه صالح آباد با ۰/۶۵ درصد مواد خارجی بیشترین مواد خارجی را در بین تمام نمونه ها دارد. نمونه کارخانه کمپوست مشهد نیز با میانگین ۰/۲۹ درصد عملاً فاقد مواد خارجی بوده و کمترین مواد خارجی را دارا می باشد. با توجه به استاندارد کمپوست اونتاریو کانادا که کمتر از ۲ درصد وزن خشک است، در واقع مواد خارجی کلیه کمپوستها از استاندارد تبعیت می کند.

۴. میزان سنگ نمونه کارخانه کوچک تهران با کمتر از ۰/۱ درصد سنگ کمترین و نمونه کارخانه صالح آباد تهران با ۰/۰۶ درصد بیشترین می باشد. بدین ترتیب سنگ کلیه نمونه ها از استاندارد (۵ درصد) به مراتب کمتر بوده و اصولاً نمونه ها همگی فاقد سنگ هستند.

۵. در کلیه نمونه ها مقادیر کادمیم بیش از تمامی استانداردها (۱-۳ mg/kg) می باشد و از مقادیر ۴/۵۴ mg/kg در کارخانه کوچک تهران تا ۵/۸ mg/kg در کمپوست اصفهان (قبل از مرحله تخمیر) نوسان دارد.

۶. مقادیر استاندارد کرم از ۵۰ mg/kg الی ۱۵۰ mg/kg می باشد. کمترین مقدار کرم در نمونه کارخانه کوچک تهران (۱۴۷ mg/kg) و بیشترین آن در کارخانه کمپوست صالح آباد (۲۷۰ mg/kg) است. لذا بجز کارخانه کوچک که از استاندارد سوئیس تا حدی کمتر است مقادیر کرم در بقیه نمونه های کمپوست همگی بیش از استاندارد است (۳-۴) برابر استاندارد هلند و کانادا و یا ۲-۲/۵ برابر استاندارد آلمان و فرانسه).

۷. در بین نمونه های کمپوست کارخانجات ایران کارخانه

همانطور که قبلاً اشاره شد در تعیین درجه پختگی روشهای متعددی وجود دارد، اما روش استاندارد شده خودگرمایی ظرف دوار<sup>(۵)</sup> متداولترین و معتبرترین روش شناخته شده می باشد. این روش استاندارد رسمی برای «رسیدگی» توسط دپارتمان محیط زیست آلمان در سال ۱۹۸۴ تعیین شد. آزمایش خودگرمایی یک آزمایش نسبی است که به چگونگی اندازه گیری آن بستگی دارد و عواملی مانند اندازه ظرف، میزان تخلخل و رطوبت از اهمیت برخوردارند. اساس این روش مبتنی بر ثبت دقیق بالاترین درجه حرارت بدست آمده پس از چند روز قرار دادن کمپوست در ظرف است. تفسیر نتایج بر اساس تقسیم بندی در ۵ گروه با اختلافهای درجه حرارتی  $10^{\circ}\text{C}$  صورت می گیرد. به طوریکه گروههای I، II، III، IV و V به ترتیب مربوط به افزایشهای  $50^{\circ}\text{C}$ ،  $40-30^{\circ}\text{C}$ ،  $20-30^{\circ}\text{C}$  و  $10-20^{\circ}\text{C}$  هستند (سازمان فدرال تضمین کننده کمپوست آلمان، ۱۹۹۴). حذف عوامل بیماریزا بر اساس استانداردهای EPA ۵۰۳ هنگامی مؤثر می باشد که کمپوست به گروه IV رسیده باشد (Brinton et al, 1995).

## نتایج

مشخصات و نتایج آزمایشات به صورت جداول (۳ و ۴) و نمودارهایی (۱ و ۲) ارائه شده اند که با بررسی آنها می توان به موارد زیر اشاره داشت (لازم به ذکر است که استانداردها از بین استانداردهای گوناگون با توجه به نوع کمپوست ایران و اهداف این طرح انتخاب شده اند).

۱. رنگ و بوی کمپوست رابطه مستقیم با درجه پختگی کمپوست دارد به طوریکه رنگ روشن و بوی بد کمپوست مربوط به نمونه هایی است که درجه پختگی III دارند.
۲. نمونه کارخانه کمپوست مشهد از درجه پختگی V برخوردار بوده و کاملاً مراحل تخمیر را طی کرده و در مرحله کامل می باشد. کمپوست صالح آباد از درجه پختگی III برخوردار بوده یعنی هنوز «فعال» می باشد و به استاندارد مربوطه که دلالت بر حذف عوامل بیماریزا دارد نرسیده است. ولیکن

۹. مقادیر سرب نمونه های کمپوست کارخانه کوچک (۱۴۰ mg/kg) و کمپوست مرحله قبل از تخمیر اصفهان (۳۷۳ mg/kg) کمترین و بیشترین مقادیر را دارا می باشند. به طور کلی به جز کمپوست کارخانه کوچک و صالح آباد در کلیه موارد مقدار سرب نمونه ها بیش از استانداردهای موردنظر (۱۰۰-۲۵۰ mg/kg) هستند.

۱۰. نمونه های کمپوست نسبت به استانداردهای روی (۲۰۰-۵۰۰ mg/kg) از مقادیر خیلی بیشتری برخوردار هستند. کمترین مقدار روی در نمونه ها ۷۱۴ mg/kg (کارخانه کوچک) است که در کمپوست آماده فروش اصفهان به ۱۱۰۰ mg/kg می رسد.

کوچک تهران (۵۱/۷۸ mg/kg) و کارخانه کمپوست مشهد (میانگین ۸۰/۵ mg/kg) حداقل و حداکثر مقادیر نیکل را دارا می باشند. مقدار نیکل کمپوست کارخانجات صالح آباد و مشهد هر دو از کلیه استانداردها (۲۰-۶۰ mg/kg) تجاوز می کنند.

۸. مقادیر مس نمونه های کمپوست و استانداردها تفاوت زیادی دارند. مقادیر استاندارد مس از ۶۰ mg/kg الی ۱۵۰ mg/kg می باشند. لیکن مقادیر مس نمونه های کمپوست از ۴۵۵ mg/kg (کمپوست کارخانه کوچک) الی ۸۱۷/۵ mg/kg (کمپوست مشهد) متغیر هستند. با مقایسه نمونه های کمپوست با استاندارد آلمان که ۱۰۰ mg/kg می باشد تفاوتی حدود ۴/۵-۸ برابر مشاهده می شود.

جدول شماره (۳): مشخصات نمونه های برداشت شده از کارخانه های کمپوست ایران

نام کارخانه	نوع نمونه	درجه پختگی	مواد خارجی و بی اثر (درصد)	مقدار سنگ (۵ mm) (درصد)	مدت تخمیر ثانویه (زمان ماند)	رنگ بو	میزان تولید (تن در روز)	قیمت (ریال) هر کیلو	اندازه ذرات (میلیمتر)
کمپوست تهران*	کمپوست صالح آباد	۳	۰/۶۵	۰/۰۶	۳ ماه	قهوه ای روشن	بسیار بدبو	۵۵	> ۲۰
	کمپوست کارخانه کوچک	۴	۰/۴۰	۰/۰۹	۲ ماه	قهوه ای خیلی تیره	بدون بو	۵۵	< ۱۰
کمپوست اصفهان	کمپوست قبل از فرآیند تخمیر	۳	۰/۶۱	۰/۰۳	بدون زمان ماند	قهوه ای	دارای بوی بد	۶۰	> ۲۰
	کمپوست آماده فروش	۴	۰/۵۶	۰/۰۱	بدون زمان ماند	قهوه ای تیره	دارای بو	۶۰	> ۲۰
کمپوست مشهد	کمپوست آماده فروش	۵	۰/۲۹	۰/۰۲	۳ ماه	قهوه ای خیلی تیره	بدون بو	۶۵	> ۱۰

\* کارخانه کمپوست تهران شامل دو بخش فعال می باشد: کارخانه کمپوست صالح آباد و کارخانه کوچک.

جدول شماره (۴): مقدار فلزات سنگین در نمونه های برداشت شده از کارخانه های کمپوست ایران (میلیگرم بر کیلوگرم ماده خشک)

کارخانه	نوع نمونه	Cd	Cr	Ni	Cu	Pb	Zn
کمپوست تهران	کمپوست آماده فروش صالح آباد	۴/۹۴	۲۷۰/۰	۷۱/۲	۲۸۹/۰	۱۶۶/۰	۸۵۲/۰
	کمپوست آماده فروش کارخانه کوچک	۴/۵۴	۱۴۵/۰	۵۱/۷۸	۴۵۵/۰	۱۴۰/۰	۷۱۴/۰
کمپوست اصفهان	کمپوست قبل از مرحله تخمیر	۵/۸	۲۳۶/۰	۵۳/۰۲	۵۶۰/۰	۳۷۳/۰	۱۰۷۸/۰
	کمپوست آماده فروش	۵/۶۲	۲۱۳/۰	۵۸/۰	۶۰۹/۰	۳۳۷/۰	۱۱۰۱/۰
کمپوست مشهد	کمپوست آماده فروش	۵/۱۴	۲۸۲/۰	۸۹/۰	۸۶۵/۰	۴۰۳/۰	۱۰۱۵/۰
	کمپوست آماده فروش	۴/۹۸	۲۲۳/۰	۷۲/۰	۷۷۰/۰	۲۱۱/۰	۸۲۸/۰



## بحث و نتیجه گیری

مواد خارجی و بی اثر و مقادیر سنگ کلیه نمونه های کمپوست کمتر از مقادیر استاندارد بوده و این نمونه ها عملاً فاقد سنگ و مواد خارجی و بی اثر هستند و یا مقدار این مواد کم می باشد.

همانطور که اشاره شد یکی از مهمترین پارامترها در بررسی اثرات زیست محیطی استفاده از کودهای کمپوست، میزان درجه پختگی آنها می باشد.

کمپوست مشهد با درجه پختگی V بهترین کمپوست از لحاظ حذف عوامل بیماریزا است. کمپوست کارخانه کوچک تهران و کمپوست آماده فروش اصفهان نیز با درجه پختگی IV از استاندارد تبعیت می کنند. لیکن کمپوست صالح آباد با درجه پختگی III نیاز به تخمیر بیشتر دارد. مقایسه کمپوست قبل از مرحله تخمیر اصفهان با نمونه آماده فروش آن نشان می دهد که طی مرحله تخمیر اولیه توانستند کمپوست را به پختگی موردنظر برسانند و در صورتی که تخمیر ثانویه نیز صورت گیرد کاملاً رسیده می شود و احتمالاً به درجه پختگی V هم می رسد.

با مقایسه مقادیر فلزات سنگین در نمونه های کمپوست مشاهده می شود که کمپوست کارخانه کوچک تهران کمترین مقادیر فلزات سنگین را دارا می باشد و فلزات کرم، نیکل و سرب آن در حدود استاندارد و یا کمتر است ولیکن فلزات سنگین کمپوست کارخانجات دیگر از مقادیر استاندارد بیشتر بوده و گاهی تفاوت تا چند برابر با بعضی استانداردها دارند.

به این ترتیب به جز کمپوست کارخانه صالح آباد که نیاز به تخمیر بیشتر جهت حذف عوامل بیماریزا دارد، مشکل عمده مربوط به مقادیر فلزات سنگین در محصول تولیدی است که سبب کیفیت نامطلوب آن جهت مصرف در کشاورزی می شود.

به طور کلی در مدیریت مواد زائد جامد و عملیات کمپوست باید به تأثیر عوامل مختلف در کاهش مقادیر آلاینده ها توجه شود. کیفیت مواد ورودی به عنوان عامل اصلی تعیین کننده کیفیت کمپوست تولیدی می باشد و چگونگی جداسازی اهمیت زیادی دارد. جداسازی در منبع کلید کاهش فلزات سنگین و دیگر

آلاینده های قابل رؤیت در کمپوست نهایی است. کمترین مقدار فلزات سنگین همیشه از جداسازی مواد قابل کمپوست در منبع حاصل می شود. اما هنگامی که آلاینده ها با مواد قابل کمپوست مخلوط می شوند بازیابی آنها به شدت مشکل می گردد. با توجه به اینکه مراحل جداسازی در منبع در هیچیک از زباله های مورد استفاده صورت نمی گیرد، لذا اهمیت این روش به عنوان یکی از مؤثرترین راه حل های کاهش فلزات سنگین در کمپوست نهایی روشن می شود و حذف مواد اصلی حاوی فلزات سنگین از زباله های اولیه مورد مصرف در تولید کمپوست می تواند مقادیر آنها را به طور قابل توجهی کاهش دهد.

## یادداشتها

1. Municipal Solid Wastes
2. Bulk Density
3. Polychlorinated Biphenyl
4. Fedral Compost Quality Assurance Organization
5. Dewar

## منابع مورد استفاده

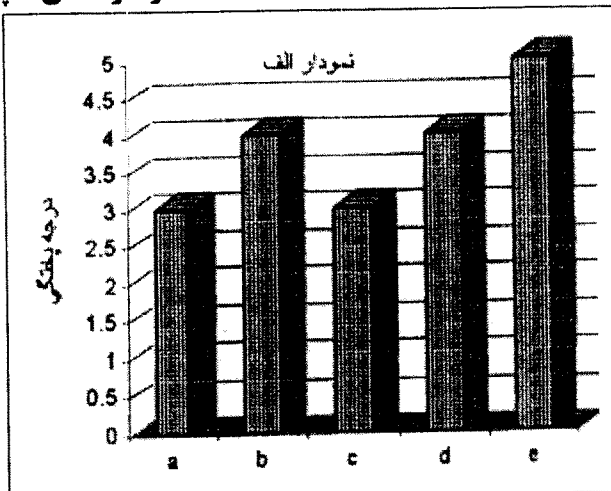
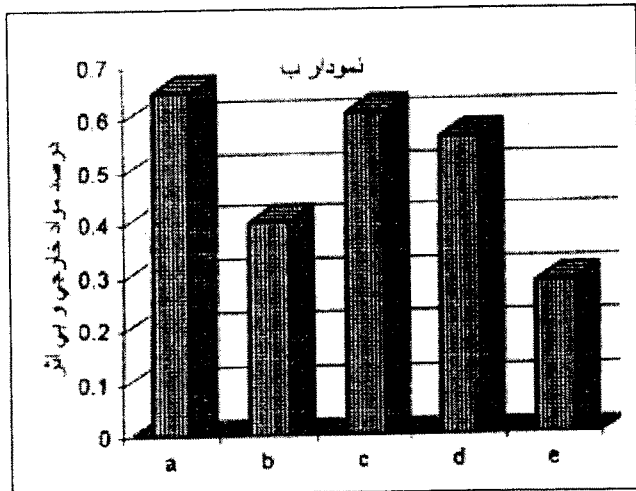
- کلباسی، محمود. ۱۳۷۶. وضعیت بحرانی مواد آلی در خاکهای ایران و نقش کود کمپوست و بازیافت در آن. سمینار سراسری بازیافت و تبدیل مواد زائد جامد، اصفهان.
- فخریمی و کیلی، علی. ۱۳۷۸. ارزیابی و مقایسه کیفیت کمپوست تولیدی به روش هوازی و نیمه هوازی به منظور انتخاب تکنولوژی مناسب. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.
- ملکوتی، محمدجعفر. ۱۳۷۷. دست آوردهای مؤسسه تحقیقات خاک و آب در مورد ساخت کود در داخل کشور. مؤسسه تحقیقات خاک و آب.
- Alexander, R.A. 1994. Standards and guidelines for compost use". Biocycle: 37-40, Dec.

- Gieo, G. 1992. Regulating compost quality in Ontario. Biocycle: 60-61, Feb.
- Gieo, G. 1997. Developing compost standards in Europe. Biocycle: 82-83, Oct.
- Haug, R.T. 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering, Lewis.
- Hegberg, B. A. et al. 1991. Setting standards for yard waste compost. Biocycle: 58-61, Feb.
- Mc Connell, D.B. et al. 1993. Compost application improves soil properties. Biocycle: 61-63, April.
- Richard, T.I. 1994. et al. What materials should be composted?. Biocycle: 63-68, Sep.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1993. Composting Yard and Municipal Solid Waste, Technomic Publishing Co.: 98-102.
- Antler, S. 1997. Canadian compost standards. Biocycle: 94, April.
- Bertaldi, M. 1993. MSW Composting challenges in Europe. Biocycle: 75-76, Oct.
- Brinton, W.F. 1995. et al. Standardized test for evaluation of compost selfheating. Biocycle: 64-69, Nov.
- Epstein, E. et al. 1991. Compost products and their uses. Solid Waste and Power: 44-52, August.
- Federal Compost Quality Assurance Organization (FCQAO). 1994. Methods Book for the Analysis of Compost, Nov.
- Flyhammer, P. 1994. Heavy metals in municipal solid waste deposits, Lund University: 1-19.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
 پرتال جامع علوم انسانی

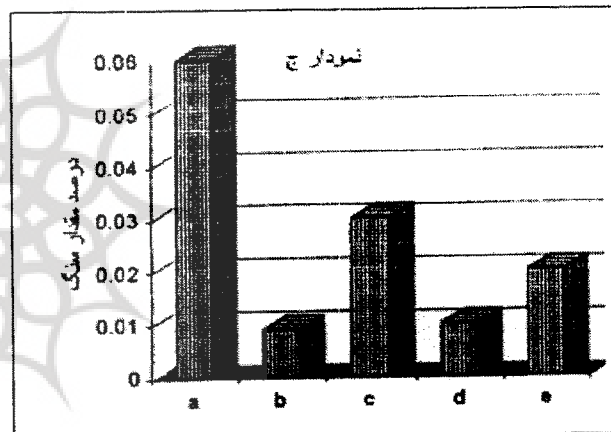
نمودار شماره (۱): الف) درجه پختگی، ب) مقدار مواد خارجی و بی اثر، ج) مقدار سنگ (> ۵ mm)

در نمونه های کمپوست کارخانجات ایران



نکته:

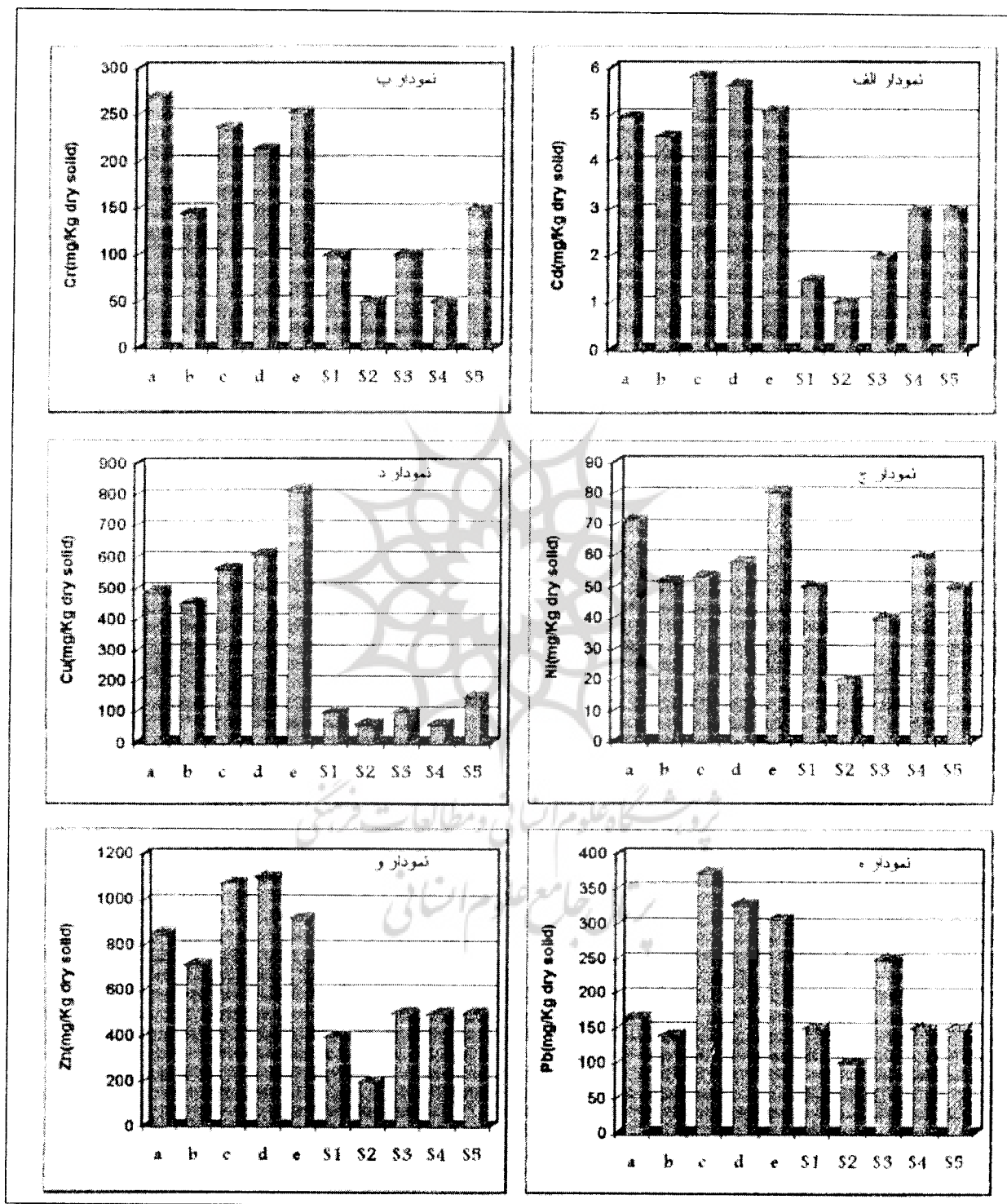
۱. کمپوست با درجه پختگی ۲ و ۳ به عنوان کمپوست تازه یا فعال محسوب می گردد. کمپوست با درجه پختگی ۴ و ۵ به عنوان کمپوست رسیده یا کامل محسوب می گردد.
۲. کمپوست دارای مواد خارجی کمتر از ۱٪ نمونه خشک: فاقد ماده خارجی کمپوست دارای مواد خارجی کمتر از ۵٪ نمونه خشک: عملاً فاقد ماده خارجی کمپوست دارای مواد خارجی بیشتر از ۵٪ نمونه خشک: دارای مقادیری ماده خارجی کمپوست دارای مواد خارجی بیشتر از ۲٪ نمونه خشک: دارای مقدار قابل ملاحظه ماده خارجی
۳. کمپوست دارای سنگ کمتر از ۵٪ نمونه خشک: دارای سنگ کم کمپوست دارای سنگ بیشتر از ۵٪ نمونه خشک: دارای سنگ قابل ملاحظه.



- a) کمپوست صالح آباد      b) کمپوست کارخانه کوچک تهران  
 c) کمپوست اصفهان قبل از تخمیر      d) کمپوست نهایی اصفهان  
 e) کمپوست مشهد

پرتال جامع علوم انسانی

نمودار شماره (۲): مقادیر فلزات سنگین در نمونه های کمپوست کارخانجات ایران  
 الف) کادمیم، ب) کرم، ج) نیکل، د) مس، ه) سرب، و) روی



(a) کمپوست صالح آباد، (b) کمپوست کارخانه کوچک تهران، (c) کمپوست اصفهان قبل از تخمیر، (d) کمپوست نهایی اصفهان و (e) کمپوست مشهد (S1) استاندارد آلمان، (S2) استاندارد هلند، (S3) استاندارد فرانسه (با توجه به جداسازی دو منبع)، (S4) استاندارد اونتاریو کانادا و (S5) استاندارد سوئیس