پژوهشی

بررسی اثرات زیست محیطی استفاده از کودهای کمپوست در ایران

* دکتر علی ترابیان

** 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 ۸-۴/۵ 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. مثلا 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.

سرآغاز

روند مصرف کودهای شیمیایی در ایـران در سـالهای اخـیر متأسفانه بسیار سریع بوده است کـه موجـب شـده سـالیانه مبلـغ هنگفتی ارز جهت خرید این کودها از کشور خارج گردد. در حـال حاضر سالیانه متجاوز از ۲/۵ میلیون تن کود در کشـــور مصـرف می شود. این مقدار با توجه به سطح کشت اراضی دیم و آبی بـه مراتب کمتر از متوسط جهانی است. در حال حاضـــر بـا وجـود راه اندازی مجتمع پتروشیمی خراسان و فعالیت مجتمع پتروشیمی رازی (بندرامام)، حدود۴۰ الی۵۰ درصد نیاز کشور تأمین می شود. علیرغم آنکه به جای فسفات آمونیوم وسولفات پتاسیم گران قیمت، سوپرفسفات تریپل و کلرورپتاسیم ارزان قیمـت وارد کشـــور می گردد، باز هم رقمـی معـادل ۲۰۰ میلیـون دلار ارز از کشـور خارج می شود که جای بسی تأسف است. مصرف کودشیمیایی نه تنها سبب خروج ارز از کشور شده بلکه مصرف بی رویه آن سـبب آلودگی خاک، آب و به طور کلی محیط زیست می شود. بنـابراین استفاده از کلیه ضایعات و بقایای مواد آلی در کشور و از آن جمله زباله های شهری برای تبدیل به کودهای آلی نه تنها یـک نیـاز، بلکه یک ضرورت است. برای مثال اگر کلیه زباله های شهری در ایران به کود کمپوست تبدیل شود نیاز حـدود ۳۰۰۰۰۰ هکتـار از اراضی کشاورزی را تأمین خواهد نمود. اگر عملکرد این اراضی در اثر استفاده از کودهای آلی فقط ۲۵ درصد افزایش یـابد، افزایـش درآمدحاصله از ۳۰۰۰۰۰ هکتار حداقل ۹۰ میلیارد ریال درسال تنـها برای کشت غلات خواهد بـود(کلباسـی، ۱۳۷۶، فخیمـی وکیلـی، ۱۳۷۸ و ملکوتی، ۱۳۷۷). استفاده از کودهای آلی نه تنـــها بـاعث 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 همچنیـن نیـاز بـه کودهـای شیمیایی کاهش یافته وازاین طریق صرفه جویی ارزی وریالی قابل ملاحظه ای خواهد شد.(کلباسی، ۱۳۷۶و Epstein et al, 1991).

امـا در تأسـیس و بـهره بـرداری از کارخانجـات کمپوسـت عوامل منفی و بازدارنده نیز وجود دارد(Bertaldi, 1993). جـهت فروش موفق کمپوست تولیدی به مصرف کنندگان مختلف علاوه بر تأمین یک کیفیت ثابت، قابل پیش بینـی و مناسـب، بـاید بـه پتانسیل آلودگی آن بر روی گیاهان، دامها، حیات وحش و انسـان نیز توجه شود. کیفیت ضعیف کمپوسـت و مـواد بازیـافتی، وجـود مقادیر زیاد فلزات سنگین، حضور مواد خنثی و بی اثر، عدم تثبیت بیولـوژیکـی و در نتیجـه وجـود عوامـل بیمـاریزا، عـدم وجـود استانداردهای مشخص و یکسان و بالاخره عدم وجـود روشـهای استانداردنمونه برداری، آزمایش واندازه گیری،مهمترین عوامل منفی کمپوست هستند. (سازمان حفاظت ازمحیط زیست آمریکا، ۱۹۹۳)

کیفیت کمپوست

کیفیت ثابت و قابل پیش بینی عـامل اصلـی تـأثیرگذار بـر قابلیت فروش کمپوست است. هر مصـرف کننـده کمپوسـت بـه کیفیت خاصی نیاز دارد. به عنوان مثال برخی نیـاز بـه کمپوسـتی دارند که یک محصول با کیفیت بالا تولید کند تا رشد گیـاهی یـا زنجیره غذایی را تهدید نکند (مثـلاً تولیـدات کشـاورزی). لیکـن برای مصرف در محل دفن بهداشتی نیاز به کمپوست بـا کیفیـت عالی نیست (سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکـا، ۱۹۹۳). از سویی کمپوست تولیدی از منـابع مختلـف خصوصیـات متفـاوتی داشته و در پاره ای از موارد باید پارامترهای خاصی در آنها بررسی شود. به عنوان مثال شاید کاهش عوامل بیماریزا برای کمپوسـت تولیدی از زباله شهری کاربرد داشـته باشـد، در حالیکـه در مـورد زباله حیاطها اهمیتی ندارد (Alexander, 1994).

بدین ترتیب عوامل تعییـن کننـده کیفیـت یـک کمپوسـت 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 گشـت کـه زباله های شهری منبع اصلی تأمین کننده مواد اولیه این مراکز را تشکیل می دهند و کشاورزان مـهمترین مصـرف کننـدگان ایـن کمپوست تولیدی هستند. از این رو به کیفیـت کمپوسـت در هـر یک از این موارد اشاره می شود.

الف) کیفیت کمپوست تولیدی از زباله شهری(MSW)[1]

به طورکلی کمپوست MSW برای مصارف کشـاورزی و

باغبانی بیشترین و بهترین فروش را نشان داده است. این نوع کمپوست با بیش از ۵۰ درصد مواد آلی باعث افزایش مواد مغذی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب، کاهش دانسیته توده ای خاک(وزن مخصوص ظاهری)[۲]، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، افزایش pH خاکهای اسیدی و در نتیجه کاهش یا حذف سمیت منگنز و یا آلومینیوم می گردد.

گزارشات اندکی به اثرات سمی گیاهی متعاقب کاربرد این نوع کمپوست اشاره می کند. سمیت گیاهی که با اسیدهای چرب زنجیره کوتاه یا ترکیبات فنولیک ایجاد می گردد به کمپوستهایی نسبت داده می شود که از منابعی غیر از زباله شهری بدست آمده اند. هنگامی که این کمپوست در خاک مزرعه به کار می رود مخاطرات مربوط به نمکهای محلول آن حداقل می‌باشد، زیرا مقدار نمکها در این نوع کمپوست با اختلاط در لایه های شخم رقیق می شود(Mc Connell et al, 1993).

ب)کیفیت کمپوست مصرفی در کشاورزی

هنگامی که کمپوست جهت کشاورزی استفاده می شود هدف نهایی تولید محیطی مناسب برای رشد گیاه است. در اینجا دو دسته پارامتر کمی و کیفی مطرح می شوند. عواملی مانند تخلخل، دانسیته توده، رطوبت، ظرفیت نگهداری آب، اندازه ذرات، pH، مواد مغذی و آلی و هدایت الکتریکی (نمکهای محلول) پارامترهایی هستند که برای ارزیابی کمی کمپوست جهت دستیابی به هدف استفاده موفق به کار می روند. اما وجود عوامل نامطلوبی مانند سنگ، شیشه، پلاستیک، عوامل بیماریزا، بذر علفها، باقیمانده آفت کشها و فلزات سنگین بر کیفیت کمپوست اثر می گذارند که از اهمیت زیادی برخوردارند. (Hegberg, 1991and Alexander, 1994)

مشکلات عمده بررسی کیفیت کمپوست

وضع استانداردها و دستورالعملهای کاربردی کمپوست به دلیل وابستگی آن به نوع مواد اولیه و نوع مصرف و شرایط محل مصرف مشکل می باشد. به طوریکه مثلاً برای محصولات یا موارد خاص مصرف شاید نیاز به فاکتورهای اضافی باشد. به طورکلی می توان گفت که کمپوست از نظر تجاری ویژگیهای مهمی دارد اما آنها تأثیری بر سلامتی انسان و محیط زیست ندارند. وضع استانداردهای محصول برای حفاظت از سلامتی عموم و محیط زیست و برخورداری از یک کیفیت قابل قبول جهت فروش ضروری است.

اساساً کمپوست تولیدی از زباله های شهری و لجنها به دلیل پتانسیل بیشتر و ایجاد اثرات مضر از اهمیت بیشتری برخوردارند. جدول شماره یک استانداردهای چند کشور را در باره فلزات سنگین نشان می دهد.

جدول شماره (۱): استانداردهای فلزات سنگین کمپوست در چند کشور اروپایی (برحسب mg/kg وزن خشک)(Gieo, 1997)

فلزسنگین	بلژیک	دانمارک	فرانسه	آلمان	ایتالیا	هلند	اسپانیا	سوئیس
آرسنیک	–	–	–	–	۱۰	۱۵	–	–
کادمیم	۵	۱/۲	۸	۱/۵	۱۰	۱	۴۰	۳
کرم	۱۵۰			۱۰۰	۵۰۰(CrIII) ۱۰۰(CrVI)	۵۰	۷۵۰	۱۵۰
کبالت	۱۰	–	–	–	–	–	–	۲۵
مس	۱۰۰	–	–	۱۰۰	۶۰۰	۶۰	۱۷۵۰	۱۵۰
سرب	۶۰۰	۱۲۰	۸۰۰	۱۵۰	۵۰۰	۱۰۰	۱۲۰۰	۱۵۰
جیوه	۵	۱/۲	۸	۱	۱۰	۰/۳	۲۵	۳
مولیبدنیم	–	–	–	–	–	–	–	۵
نیکل	۵۰	۴۵	۲۰۰	۵۰	۲۰۰	۲۰	۴۰۰	۵۰
روی	۱۰۰۰	–	–	۴۰۰	۲۵۰۰	۲۰۰	۴۰۰۰	۵۰۰
قلع	–	–	–	–	–	–	–	۲۵

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 طورکافی توضیح داده نشده اند. همچنین روشهای نمونه برداری، آزمایش و اندازه گیری استاندارد نشده اند.

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 بود، 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 غیرآلی
- 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، دترجنتها*، وسایل آرایشی، بسته بندی، چرم و باتریها به کار می روند. اغلب این فلزات سنگین در زباله ها و لجن فاضلاب شهری دفع می‌شوند. مهمترین فلزات سنگین درکمپوست عبارتند از:کادمیم، کرم، مس، سرب، نیکل وروی(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 خصوص باید برای مواد خارجی نیز در کمپوست اهمیت قائل بود (Antler, 1997). شیشه، سنگ و پلاستیک درکمپوست 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 فنیل پلی کلرینه(PCB)[۳] 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 بارقیق سازی به حداقل می رسد. درواقع این مواد نسبت به کل مواد خیلی کم می باشند (Epstein et al, 1991; Richard et al, 1994و 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 استانداردی ارائه نشده است. در این تحقیق از روشهای نمونه برداری و آزمایش خاص کمپوست که توسط

* پاک کننده ها. سردبیر

سازمان فدرال تضمین کننده کمپوست آلمان (FCQAO)[۴] تهیه شده است استفاده گردید.

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.

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 بسته‌بندی بکار برد. نمونه برداری می تواند از کمپوست دپو شده یا کمپوست مخلوط و بهم خورده صورت 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 هرمجموعه تولید کمپوست (سازمان فدرال تضمین کننده کمپوست آلمان، ۱۹۹۴)

اندازه دانه کمپوست یا زباله	حداقل تعداد نمونه های انفرادی			
	از مواد مخلوط شده بر اساس حجم		از کمپوستها یا زباله های دپو شده	
	تا ۵۰ تن	بیش از ۵۰ تن	از وسایل نقلیه	از محل دپو
				۱۵۰-۵۰ تن / بیش از ۱۵۰ تن
بیشتر از ۲۰ میلیمتر	۱۰ نمونه	۱نمونه درهر ۵ تن	۱۰ نمونه از هر وسیله نقلیه	۱ نمونه در هر ۵ تن / ۱۵ نمونه
کمتر از ۲۰ میلیمتر	۵ نمونه	۱نمونه درهر۱۰ تن		۱ نمونه در هر ۱۰تن / ۱۰ نمونه

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 (۱۵۰×۸۰ 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 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 تفاوتهای نحوه فعالیت این کارخانجات، نمونه های متفاوتی تهیه

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 ۳ ماه طی شده بود. این کارخانه در زمستان به علت فروش کم عملا غیرفعال بود و تولید کود در مرحله کمپوست درشت متوقف شده و در همان سالنهای تخمیر نگهداری می شدند. در زمستان معمولا عملیات تولید کمپوست در کارخانه کوچک صورت می گیرد. این کارخانه که سیار می باشد از روشی کاملا مشابه کارخانه صالح آباد استفاده می کند و دو نوع کود تولید می کند: کمپوست با اندازه ذرات ۲۰-۴ میلیمتر و کمپوست با اندازه ذرات کمتر از ۴ میلیمتر. ۸۰ درصد کود تولیدی از نوع اول و ۲۰ درصد از نوع دوم می باشد. مراحل تولید این کودها کاملا 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 مستقیما 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 انتهای 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.

جهت اندازه گیری مقدار کل فلزات سنگین شامل سرب، کادمیم، کرم، مس، نیکل و روی کمپوست، مواد خام و سرند نشده در ۱۵۰°C خشک شده و حداقل ۳۰ gr از ماده خشک با یک خرد کن مناسب تا کمتر از ۲۵ mm / ۰ 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 (۱۰ mm-۰) به یک لیتر، برای کمپوست دانه متوسط (۲mm-۵) 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 ۵ میلیمتری طبقه بندی شد. بخش زیر سرند از یک سرند ۲ میلیمتری نیز عبور داده شد. اجزاء سرند شده کوچکتر از ۲ میلیمتر دور ریخته شد (چون تنها مواد خارجی با اندازه بزرگتر از ۲ میلیمتر به درجه مؤثر ناخالصی عینی کمپوست مربوط می شود). اجزاء بزرگتر از ۵ mm و سنگها توزین گشتند. این مخلوط بر روی یک سطح صاف پراکنده شد و قسمتهای ۵-۲ 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.

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

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

FS = میزان ماده خارجی (٪ نمونه خشک)

$M_{fs} > 2mm$ = ماده خارجی بزرگتر از ۲ mm (gr)

P_{tot} = جرم کلی نمونه آزمایش شده قبل از سرندکردن (gr)

ST = میزان سنگ (٪ نمونه خشک)

$M_{st} > 5mm$ = سنگهای بزرگتر از ۵mm (gr)

همانطور کـه قبـلا اشـاره شـد در تعییـن درجـه پختـگی روشهای متعددی وجود دارد، اما روش استاندارد شده خودگرمایی ظرف دوار[۵] متداولترین و معتـبرترین روش شناختـــــه شـده می باشد. این روش استاندارد رسمی بـرای «رسـیدگی» توسـط دپارتمان محیط زیست آلمان در سال ۱۹۸۴ تعیین شد. آزمـایش خودگرمایی یک آزمایش نسـبی اسـت کـه بـه چگونگـــــی اندازه گیری آن بستگی دارد و عواملی مانند اندازه ظرف، مـیزان تخلخل و رطوبت از اهمیت برخوردارند. اساس این روش مبتنـی بر ثبت دقیق بالاترین درجه حرارت بدست آمده پس از چنـد روز قرار دادن کمپوست در ظرف است. تفسیـــــر نتـایج بـر اسـاس تقسـیم بنـدی در۵ گروه بـا اختلافـهای درجـه حرارتـی $10^{o}C$ صورت می گیرد. به طوریکه گروهـهای I، II، III، IV و V بـه ترتیب مربـــوط بـــه افزایشهـــای ^{o}C ۵۰، ^{o}C ۴۰-۳۰، ^{o}C ۳۰-۲۰، ^{o}C ۲۰-۱۰ و ^{o}C ۱۰-۰ هستند (سازمان فدرال تضمین کننده کمپوست آلمان، ۱۹۹۴) . حذف عوامل بیماریزا بـر اسـاس استانداردهای EPA ۵۰۳ هنگامی مؤثر می باشد کـه کمپوسـت به گروه IV رسیده باشد (Brinton et al, 1995).

نتایج

مشخصات و نتایج آزمایشات به صورت جـداول (۳ و ۴) و نمودارهایی (۱ و ۲) ارائه شده اند که با بررسی آنها می تـوان بـه موارد زیر اشاره داشت (لازم به ذکر است که اسـتانداردها از بیـن استانداردهای گوناگون با توجه به نوع کمپوست ایـران و اهـداف این طرح انتخاب شده اند).

۱. رنگ و بـوی کمپوسـت رابطـه مسـتقیم بـا درجـه پختـگی کمپوست دارد به طوریکه رنگ روشن و بوی بـد کمپوسـت مربوط به نمونه هایی است که درجه پختگی III دارند.

۲. نمونه کارخانه کمپوست مشهد از درجه پختـگیV برخـوردار بوده و کاملا مراحل تخمیر را طی کرده و در مرحلـه کـامل می باشد. کمپوست صالح آباد از درجه پختگی III برخـوردار بوده یعنی هنوز «فعال» می باشد و به استاندارد مربوطه کـه دلالت بر حذف عوامل بیماریزا دارد نرسـیده اسـت. ولیکـن کمپوست کارخانه کوچـک درجـه پختـگی IV داشـته و در مرحله «رسیده» بوده و از استانـــــدارد EPA ۵۰۳ تبعیـت می کند. در نمونه هـای کمپوسـت اصفـهان نمونـه قبـل از مرحله تخمیر اولیه درجه پختگی III و نمونه بعـد از مرحلـه تخمیر اولیه (آماده فروش) درجه پختگی IV دارد. بدین معنا که بدون طی مرحله تخمیر ثانویه یا زمـان مـاند بـه درجـه پختگی استاندارد رسیده است.

۳. کمپوست کارخانه صالح آبـاد بـا ۰/۶۵ درصـد مـواد خـارجی بیشترین مواد خارجی را در بین تمام نمونـه هـا دارد. نمونـه کارخانه کمپوست مشهد نیز با میانگین ۰/۲۹ درصـد عمـلا فاقد مواد خارجی بوده و کمتریـن مواد خارجـــــی را دارا می باشد. با توجه به استاندارد کمپوست اونتـاریو کانـادا کـه کمتر از ۲ درصد وزن خشک اسـت، در واقـع مـواد خـارجی کلیه کمپوستها از استاندارد تبعیت می کند.

۴. میزان سنگ نمونه کارخانه کوچک تهران بـا کمـتر از ۰/۰۱ درصد سنگ کمترین و نمونه کارخانه صالح آبـاد تـهران بـا ۰/۰۶ درصد بیشترین می باشد. بدیـن ترتیـب سـنگ کلیـه 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 تمـامی اسـتانداردها (۳-۱ mg/kg) مـی باشـــد و از مقـادیر ۴/۵۴ mg/kg در کارخانه کوچک تهران تا ۵/۸ mg/kg در کمپوست اصفهان (قبل از مرحله تخمیر) نوسان دارد.

۶. مقادیـــــر استاندارد کـرم از ۵۰ mg/kg الـی ۱۵۰ mg/kg می باشد. کمترین مقدار کـرم در نمونـه کارخانـه کـوچـک تهران (۱۴۷ mg/kg) و بیشترین آن در کارخانـه کمپوسـت صالح آباد (۲۷۰mg/kg) است. لذا بجز کارخانه کوچک کـه از استاندارد سوئیس تا حدی کمتر است مقادیر کرم در بقیـه نمونه های کمپوست همگی بیش از اسـتاندارد اسـت (۴-۳ برابر استاندارد هلند و کانادا و یا ۲/۵-۲ برابر استاندارد آلمان و فرانسه).

۷. در بین نمونه های کمپوست کارخانجـــات ایران کارخانـــه

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 (۶۰-۲۰ 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 ۱۰۰mg/kg می باشد تفاوتی حدود ۸-۴/۵ برابر مشاهده می شود.

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 (۲۵۰-۱۰۰ mg/kg) هستند.

۱۰. نمونه های کمپوست نسبت به استانداردهای روی (۵۰۰-۲۰۰ 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.

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	۲۰۰	۵۵	> ۲۰
	کمپوست کارخانه کوچک	۴	۰/۴۰	۰/۰۰۹	۲ ماه	قهوه ای خیلی تیره	بدون بو	۴۰	۵۵	< ۱۰
کمپوست اصفهان	کمپوست قبل از فرآیند تخمیر	۳	۰/۶۱	۰/۰۳	بدون زمان ماند	قهوه ای	دارای بوی بد	۲۰۰-۲۵۰	۶۰	> ۲۰
	کمپوست آماده فروش	۴	۰/۵۶	۰/۰۱	بدون زمان ماند	قهوه ای تیره	دارای بو	۲۰۰-۲۵۰	۶۰	> ۲۰
کمپوست مشهد	کمپوست آماده فروش	۵	۰/۲۹	۰/۰۲	۳ ماه	قهوه ای خیلی تیره	بدون بو	۶۰	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	۴۸۹/۰	۱۶۶/۰	۸۵۳/۰
	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	۳۲۷/۰	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 طورکلی 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 حلهای 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.
- فخیمی وکیلی، 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.

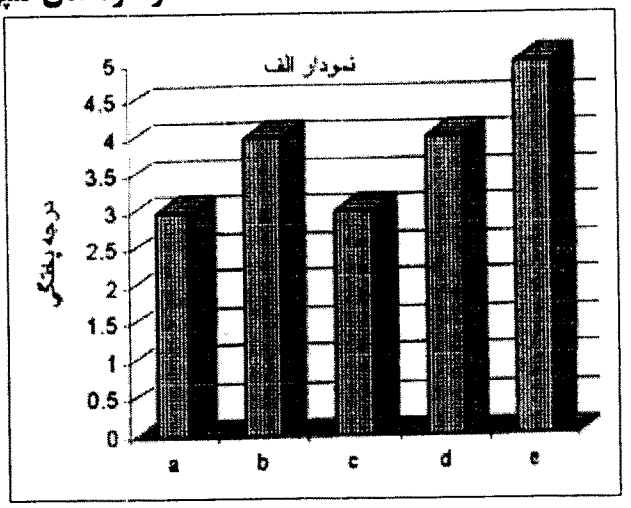
- Brinton, W.F. 1995. et al. Standardized test for evaluation of compost selfheating. Biocycle: 64-69, Nov.

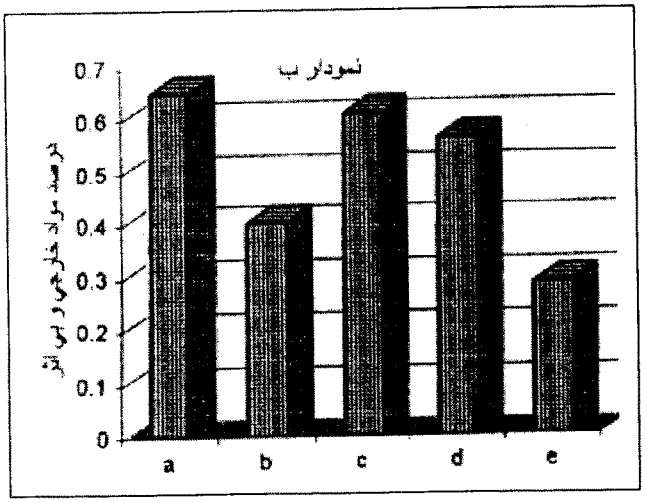
- Epstein, E. et al. 1991. Compost products and their uses. Solid Waste and Power: 44-52, August.

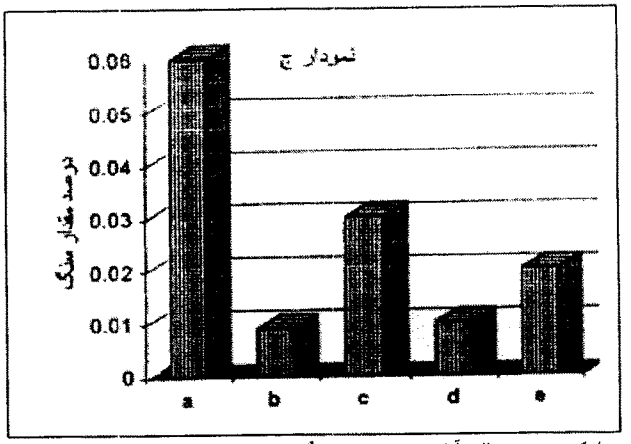
- Federal Compost Quality Assurance Organization (FCQAO). 1994. Methods Book for the Analysis of Compost, Nov.

- Flyhammer, P. 1994. Heavy metals in municipal solid waste deposits, Lund University: 1-19.

نمودار شماره (۱): الف) درجه پختگی، ب) مقدار مواد خارجی و بی اثر، ج) مقدار سنگ (>۵ mm) در نمونه های کمپوست کارخانجات ایران







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

نکته:

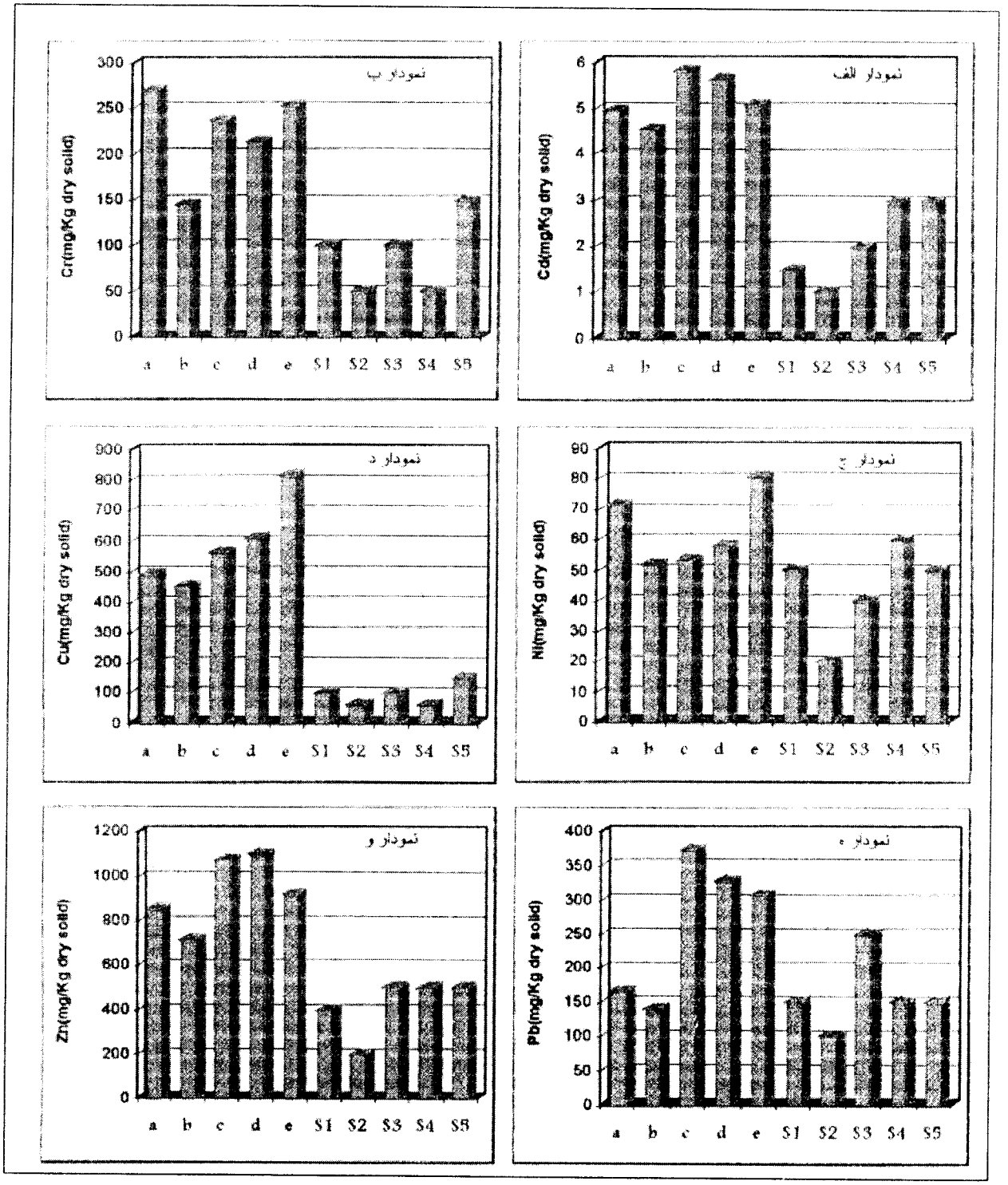
۱. کمپوست با درجه پختگی ۲ و ۳ به عنوان کمپوست تازه یا فعال محسوب می گردد. کمپوست با درجه پختگی ۴ و ۵ به عنوان کمپوست رسیده یا کامل محسوب می گردد.

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.

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