

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب

کمپوست زباله شهری، کاربردها و چالش‌ها



محسن سیل‌سپور

نشریه فنی: ۶۰۹

۱۴۰۰



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب



کمپوست زباله شهری، کاربردها و چالش‌ها

نگارنده

محسن سیل‌سپور

عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران

نشریه فنی: 609

1400

مشخصات اثر

عنوان: کمپوست زباله شهری، کاربردها و چالش‌ها

نگارنده: محسن سیل‌سپور

ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات سنا

کارشناس انتشارات: زهرا محمدی

ویراستار: زهرا محمدی

صفحه آرا: سمانه پورمنصور

طراح جلد: راضیه محمدی

سال انتشار: 1400

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این اثر با شماره 61002 در تاریخ 1400/11/2 در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین‌دشت، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب

صندوق پستی: 311-31785

کد پستی: 3177993545

تلفن: 026-36201900

نمابر: 02636210121

پست الکترونیکی: info@swri.ir

وبسایت: http://www.swri.ir

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارنده است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار	1
چکیده	2
1- مقدمه	3
2- فوائد کمپوست کردن زباله‌های شهری	4
2-1- منبع تولید زباله‌های شهری	6
3- نخستین کارخانه تولید کمپوست در ایران	7
4- تعاریف مختلف ارائه شده از کمپوست	7
5- انواع کمپوست پسماند شهری	8
5-1- کمپوست خام	8
5-2- کمپوست تازه	8
5-3- کمپوست کامل	8
5-4- کمپوست آماده	8
5-5- کمپوست ویژه یا غنی شده	8
5-6- بیوکمپوست	10
6- عوامل موثر در تهیه کود از زباله	10
7- مباحث اساسی تهیه کمپوست	11
7-1- روش‌های تئوریک تولید کمپوست	12
7-1-1- تجزیه هوازی	12
7-1-2- تجزیه بی‌هوازی	13
8- ویژگی‌های کمپوست	14
9- مزایای مصرف کمپوست	15
9-1- کاهش آلودگی محیط‌زیست (زمین، آب و هوا)	16
9-2- جلوگیری از فرسایش خاک	16
9-3- قابلیت نگهداری آب در خاک	17
9-4- متخلخل نمودن خاک	17
9-5- کود آلی مناسب	17
10- سیر پیشرفت فرآیند تولید کمپوست پسماند شهری	17

11-	استانداردهای کمپوست	18
11-1-	معیارهای تعیین کیفیت کمپوست	19
11-1-1-	ویژگی‌های فیزیکی	19
11-1-2-	ویژگی‌های شیمیایی	20
11-2-	استانداردهای کمپوست پسماند شهری در کشورهای اروپایی و ایالات متحده آمریکا	21
11-3-	استاندارد کمپوست پسماند شهری در ایران	23
11-3-1-	اصطلاحات و تعاریف	23
11-3-2-	طبقه‌بندی کیفی کمپوست پسماند شهری	24
11-3-3-	حد مجاز فلزات سنگین در کمپوست پسماند شهری	25
11-3-4-	حداکثر مجاز افزایش محتوای فلزات سنگین در خاک	27
12-	نتایج آنالیز شیمیایی برخی کارخانجات تولید کمپوست پسماند شهری	27
13-	اثرات مصرف کمپوست پسماند شهری بر افزایش عملکرد محصول	29
14-	اثر کمپوست زباله شهری بر ویژگی‌های شیمیایی خاک	36
14-1-	واکنش خاک	36
14-2-	هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک	37
14-3-	غلظت نیترات خاک	38
14-4-	محتوای کربن آلی خاک	39
14-5-	آهن قابل جذب خاک	39
14-6-	روی قابل جذب خاک	40
15-	اثر کاربرد کمپوست پسماند شهری بر افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک	41
15-1-	محتوای کادمیوم خاک	41
15-2-	غلظت نیکل خاک	42
15-3-	غلظت سرب خاک	43
15-4-	غلظت کروم خاک	44
16-	اثر کمپوست پسماند شهری بر جذب فلزات سنگین در محصول	45
16-1-	غلظت کادمیوم در محصول	45
16-2-	غلظت نیکل در محصول	46
16-3-	غلظت سرب در محصول	47
16-4-	غلظت کروم در محصول	47
17-	نتیجه‌گیری	48
18-	پیشنهادهای	49
19-	منابع	50

پیشگفتار

یکی از ویژگی‌های جوامع شهری مصرف‌گرا، تولید زباله است. به گونه‌ای که جمع‌آوری و دفع انبوه زباله‌های تولیدی، به یکی از معضلات جوامع شهری تبدیل شده است. روش‌های مختلفی برای دفع زباله در جوامع مختلف به کار می‌رود که شامل دفن، سوزاندن و تبدیل به کود آلی است. بخش قابل توجهی از زباله تولیدی، مواد آلی هستند که قابلیت تبدیل شدن به کود را دارا هستند. تهیه کمپوست از مواد آلی سابقه بسیار طولانی دارد که با توجه به شرایط جوی، مقدار و نوع زباله به روش‌های مختلف سنتی تهیه و در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گرفته است. هم‌اکنون نیز روش‌های سنتی که احتمالاً "برای نخستین بار در هندوستان ابداع شده‌اند، در بسیاری از نقاط جهان با تغییرات کم استفاده می‌شود، اما تبدیل زباله‌های شهری به کمپوست و استفاده از آن در امور مختلف، مربوط به قرن حاضر بوده و پیشرفت تکنولوژی و دانش فنی آن هم سابقه چندانی ندارد. تا سال 1930 تهیه کمپوست گسترده نشده بود. هم‌اکنون در بسیاری از کشورهای جهان، کمپوست با در نظر گرفتن شرایط علمی، مسائل زیست محیطی و بهداشت محیط، جنبه‌های اقتصادی، میزان و کیفیت زباله به روش‌های مختلف صنعتی و غیرصنعتی تهیه و مصرف می‌شود. در کشور ما نیز روزانه مقادیر زیادی زباله تولید می‌شود که بخش بزرگ آن زباله آلی است که قابل تبدیل به کود است. کارخانجات تبدیل زباله به کمپوست نیز در استان‌های مختلف کشور وجود دارند. در این بین، با توجه به کمبود ماده آلی در خاک‌های کشور، ضروری است تا از تمام منابع آلی برای به‌سازی و افزایش ماده آلی خاک‌های کشور بهره ببریم. آنچه در این بین مهم است کیفیت کمپوست تولیدی و آلاینده‌های موجود در آن است که می‌بایست مورد توجه مصرف‌کنندگان قرار گیرد. این نشریه به مزایا و معایب کاربرد کمپوست زباله و چالش‌های پیش روی کاربرد کمپوست زباله یا به تعبیر دیگری کمپوست پسماند شهری می‌پردازد.

چکیده

از زمانی که بشر برای تهیه غذای خود تلاش کرده است، از مواد جامد یا مایع به عنوان کود برای تولید محصولات کشاورزی استفاده نموده است. کمپوست از کلمه لاتین کمپوزیتوس¹ گرفته شده که به معنای مرکب یا مخلوط و گاهی در فارسی به کود آمیخته مشهور است. در فرآیند کمپوست کردن، بر اثر فعالیت ریزجاندارها، مواد آلی تجزیه شده و گرما تولید می‌شود. گرمای تولید شده توانایی آن را دارد تا عوامل بیماری‌زا مانند باکتری‌ها، ویروس‌ها و تخم انگل‌ها را نابود کند. هم‌اکنون در بسیاری از کشورهای جهان، کمپوست با در نظر گرفتن شرایط عملی و مسائل زیست‌محیطی و بهداشت محیطی، جنبه‌های اقتصادی، میزان و کیفیت زباله به روش مختلف صنعتی و غیرصنعتی تهیه می‌شود، به‌طوری‌که در سال‌های اخیر، صنعت تولید کمپوست در جهان بسیار گسترده و پیشرفته شده است. وجود سموم آلی و معدنی، پسماندهای پزشکی و صنعتی، اندازه ذرات، وجود سنگ‌ریزه‌ها، شیشه، پلاستیک، غلظت بالای فلزات سنگین از مهم‌ترین معایب تولید کمپوست مخلوط در مقایسه با بیوکمپوست و یا ورمی‌کمپوست است. تولید کمپوست مخلوط حاصل از زباله‌های شهری در سال‌های اخیر در ایران با احداث کارخانه‌های تولید کمپوست با صرف هزینه‌های گزاف بالغ بر میلیاردها تومان رونق یافته است، در حالی‌که آشنا نبودن با بهره‌برداری، مشکلات ناشی از جمع‌آوری سنتی پسماندها و ناآشنایی با ترکیب زباله شهری باعث گردیده است که کمپوست زباله تولیدی در برخی از شهرستان‌ها، از کیفیت مناسب برخوردار نباشد. باوجود اثرات مثبتی که کاربرد کمپوست پسماند شهری روی خصوصیات کیفی خاک دارد، در مواردی ممکن است به دلیل کیفیت پائین کمپوست تولیدی، موجب بروز اثرات منفی در خاک و گیاه شود.

¹ Compositus

1- مقدمه

وجود اقلیم خشک در کشور، نبود تناوب صحیح زراعی، جمع‌آوری و سوزاندن و خارج کردن بقایای گیاهی از زمین زراعی، مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و مصرف کودهای آلی موجب شده است که میزان مواد آلی در خاک‌های ما روز به روز کم‌تر شود که این مسئله باعث کاهش حاصلخیزی خاک و به دنبال آن کاهش عملکرد محصول شده است. از این‌رو برای حفظ خاک و بهبود ویژگی‌های فیزیکی آن و حفظ تعادل عوامل زیست-محیطی، ضرورت مصرف مواد آلی و افزایش درصد آن در خاک‌های کشور امری اجتناب‌ناپذیر است (خادمی، 1375؛ سمرو همکاران، 1377). کمپوست یک کود آلی است و تولید آن از زمان‌های بسیار دور در کشاورزی سنتی بیشتر کشورها با استفاده از بازمانده‌های محصولات زراعی و افزودن فضولات دام و طیور به آن‌ها متداول بوده است. امروزه افزون‌بر بازمانده‌های محصولات کشاورزی و دامی، انبوهی از سایر مواد آلی به‌صورت مواد زائد در حجم زیاد تولید می‌شوند که در صورت استفاده به‌صورت کمپوست پسماند شهری، باعث افزایش سطح حاصلخیزی خاک و جلوگیری از مشکلات زیست‌محیطی ناشی از دفع غیراصولی مواد اولیه تولید کمپوست پسماند شهری می‌شود (صالح راستین، 1377). هر انسانی که در شهر زندگی می‌کند روزانه بیش از نیم کیلوگرم زباله تولید می‌کند که بیش از یک سوم آن قابل تبدیل به کمپوست پسماند شهری است. چنان‌چه جمعیت شهرنشین کشور را 30 میلیون نفر تخمین بزنیم، روزانه معادل 15 میلیون کیلوگرم زباله تولید می‌شود که از این مقدار 5 میلیون کیلوگرم آن قابل تبدیل به کمپوست پسماند شهری است (سمرو همکاران، 1377).

گسترش شهرنشینی و صنعتی شدن، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، باعث انباشته‌شدن حجم عظیمی از زباله‌های شهری گردیده است، از این‌رو در سال‌های اخیر به‌منظور کاهش مشکلات زیست‌محیطی توجه زیادی به بازیافت زباله و به‌کارگیری کمپوست پسماند شهری حاصله در اراضی کشاورزی شده است (خوشگفتارمنش و کلباسی، 2000). کمپوست‌کردن مواد زائد شهری شیوه‌ای برای تغییر مواد آلی دورریختنی (که تقریباً بسیار ارزان هستند)، به مواد قابل استفاده در کشاورزی است (ولکوفسکی، 2003).

کمپوست پسماند شهری بیشتر از بقایای جامد آشپزخانه و بقایای کارخانجات صنایع غذایی، دامداری‌ها و غیره تهیه می‌شود. کمپوست کردن این مواد اکنون توسط بیشتر شهرداری‌های دنیا انجام می‌شود (اوتن، 2001). البته گرایش به انجام این عمل (کمپوست کردن) به عوامل محیطی و اقتصادی مختلفی نظیر تولید زباله در منطقه، هزینه جمع‌آوری و نقل و انتقال مواد، سازگاری قوانین محلی موجود با حفظ منابع طبیعی و محیط‌زیست، تمایل به کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و ... وابسته است (هانسن، 2006). کیفیت کمپوست پسماند شهری نیز بستگی به منابع مختلفی که در تهیه کمپوست پسماند شهری به کار می‌رود، دارد. هم‌چنین شیوه تهیه کمپوست پسماند شهری، مدت زمان عمل کمپوست‌سازی و ابزار و امکانات استفاده شده نقش مهمی در کیفیت کمپوست پسماند شهری دارند. افزون‌بر ویژگی‌های خاک استفاده شده نیز بر کیفیت کمپوست پسماند شهری موثر است، چنانچه ممکن است یک کمپوست بر یک خاک اثرات مثبت زیادی داشته باشد ولی بر خاک دیگری بی‌تأثیر باشد (هارگراو، 2008).

فرآیند تهیه کمپوست پسماند شهری به‌طور عام طیف وسیعی از ضایعات جامد شهری و صنایع غذایی و کاغذسازی و غیره را در بر می‌گیرد که به‌تنهایی یا به صورت مخلوط از این ضایعات استفاده می‌شود. کمپوست پسماند شهری تولید شده دارای ترکیب‌های شیمیایی متفاوتی بوده که به منابع مصرفی در آن بستگی دارد. کاربرد کمپوست در خاک به‌طور عام به‌منظور حفظ و افزایش ثبات و پایداری خاکدانه‌ها، حاصلخیزی و باروری خاک‌های زراعی و باغی است که در دهه‌های گذشته از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است. در حالی که اخیراً آگاهی بیشتر نیاز به، اصلاح و بهبود کیفیت خاک و تامین نیاز غذایی گیاهان به‌طور پایدار محسوس بوده که در برگیرنده جنبه‌های زیست محیطی نیز می‌باشد. از این راه افزون‌بر کاهش هزینه‌های اضافی دفع مواد و ضایعات، بهره‌وری بیشتر و سودمندی از آنها خواهد شد (لالنده و همکاران، 2000).

2- فواید کمپوست کردن زباله‌های شهری

با توجه به کشت متراکم محصولات زراعی در اراضی کشاورزی، استفاده از مواد اصلاحی مثل کمپوست پسماند شهری که عناصر غذایی موجود در خاک فراهم می‌کنند، ضروری

می‌باشد (ملکوتی و بلالی، 1383). از طرف دیگر، یکی از مهم‌ترین فواید کمپوست کردن مواد، حذف بوی نامطبوع و زننده از محیط است. غالب موادی که به عنوان ماده اولیه در تهیه کمپوست به کار می‌روند زباله‌های بسیار بدبو را شامل می‌شوند، که قابل استفاده در کشاورزی نیستند، چرا که هیچ کشاورزی حاضر به استفاده از این مواد متعفن در مزرعه خود نیست. حتی تصور مصرف صد تن زباله نامطبوع در یک مزرعه کوچک، تا شعاع چند کیلومتر هر انسانی را فراری می‌دهد، در صورتی که با کمپوست کردن همین مقدار زباله می‌توان این مشکل را به راحتی برطرف کرد. فایده آن کاهش حجم مواد اولیه است که بیشتر از طریق از دست رفتن آب زاید موجود در مواد اولیه در زباله‌ها حاصل می‌شود. این مساله حمل‌ونقل و مصرف ضایعات را آسان می‌کند و تاثیر به‌سزایی در سهولت استفاده از کمپوست دارد. علاوه بر این، کاهش آب موجود در زباله‌ها باعث متوقف شدن رشد ریزجانداران ناخواسته می‌شود و از تجزیه و فساد آن جلوگیری می‌کند. بسیاری از مواد سمی موجود در زباله‌ها شامل بقایای شوینده‌ها، حلال‌ها، مواد سمی ناشی از فساد بی‌هوازی مواد غذایی مثل اسید بوتیریک در فرآیند کمپوست‌سازی تجزیه می‌شوند و بخش عمده‌ای از اثرات مخرب خود را از دست می‌دهند.

رها کردن مواد آلاینده در محیط‌زیست، پیش از عمل کمپوست کردن می‌تواند به شدت باعث تخریب اکوسیستم شود. حتی بسیاری از نگهدارنده‌های مواد غذایی نیز نباید به راحتی در محیط‌زیست رها شوند. فایده دیگر کمپوست کردن، امکان نگهداری آن در طول زمان بیشتر است، چراکه به طور کلی نگهداری زباله به مکان‌های خاصی نیاز دارد و بسیار دردسرساز است، ولی با توجه به رطوبت کم و پاک بودن کمپوست از ریزجانداران مضر و نداشتن بوی نامطبوع، در هر مکانی قابل انبار کردن و نگهداری است. نکته مهم این که به جز موارد خاص، از بیشتر مواد زائد شهری و کشاورزی می‌توان کمپوست تهیه کرد؛ نه تنها این مواد اولیه قابل اختلاط با یکدیگر هستند، بلکه نتایج تحقیقات نشان می‌دهد مخلوط کردن مواد آلی حاصل از زباله‌های شهری با بقایای کشاورزی می‌تواند بر کیفیت کمپوست اثر مثبت داشته باشد، در نتیجه طیف وسیعی از مواد آلی را می‌توان در روش‌هایی به کمپوست تبدیل کرد. کمپوست کردن زباله‌ها، حجم آن‌ها را کم می‌کند، پاتوژن‌های موجود در آن را از بین می‌برد؛ جوانه‌زنی بذر و علف‌های هرز موجود در آن را می‌کاهد و از همه مهم‌تر بوی بد و زننده بقایا و زباله‌ها را از بین می‌برد (جاکوبسن، 1995). از طرف دیگر،

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کودهای آلی و شیمیایی لازم و ملزوم یکدیگر بوده و به هر دو نوع کود برای ایجاد شرایط مطلوب برای رشد گیاهان نیاز می‌باشد. از این‌رو استفاده کامل از منابع آلی و یا بیولوژیکی به همراه کاربرد بهینه از کودهای شیمیایی، اهمیت زیادی در حفظ باروری و ساختمان خاک، فعالیت حیاتی و ظرفیت نگهداری آب در خاک دارد.

نتایج سیستم‌های مختلف کشت و بررسی بوم‌شناسی¹ مرتبط با استفاده از کودهای آلی نشان‌دهنده نتایج مثبتی از کاربرد مشترک کودهای شیمیایی و منابع آلی بیولوژیک تغذیه گیاهی در چار چوب سیستم‌های تلفیقی تغذیه گیاهی است (ملکوتی، 1378).

2-1- منبع تولید زباله های شهری

توجه به منابع تولید همراه با آگاهی از ترکیب و سرعت تولید زباله، اساس مدیریت مواد زاید جامد را تشکیل می‌دهد. از بررسی‌های انجام شده در این زمینه چنین نتیجه‌گیری می‌شود که نوع زباله تولید شده در هر شهر و منطقه در ارتباط مستقیم با سیستم فعالیت، اماکن تولید و نحوه زندگی مردم است (محمدی، 1388). همان‌گونه که نتایج جدول 1 نشان می‌دهد قسمت اعظم زباله را پسماندهای آلی قابل تبدیل به کمپوست تشکیل می‌دهد (جدول 1).

جدول 1- مقایسه آنالیز درصد زباله در چندین منطقه جهان

(صادقپور، 1392؛ Manassero, 1996)

ترکیب زباله شهر	بانگور (تایلند)	پکن (چین)	تایروبی (کین)	هنگ کنگ	نیویورک (آمریکا)	استانبول (ترکیه)	ژنو (سوئیس)	آتن (یونان)	کوجاایما (بولیوی)	ولونگتونگ (استرالیا)	تهران (ایران)
فلزات	1	2	3	3	5	2	2/5	4	1	3	2/56
گاغذ و مقوا	25	5	12	3	22	10	31	19	2	16	8/13
پلاستیک	0	1	5	0	0	3	9/5	2	16	20	8/90
چرم و لاستیک	7	1	0	7	3	6	4	4	1	0	2/37
پارچه	3	0	0	10	0	3	5	0	0	0	4/04
مواد فاسد شدنی	46	45	74	15	20	61	28	59	71	58	69/5
شیشه	1	1	4	10	6	1	9	2	1	9	40/2
دیگر مواد	19	46	2	22	46	14	11	5	21	1	2/09

¹ Ecologic

3- نخستین کارخانه تولید کمپوست در ایران

بهره‌گیری از کود آلی در مصارف کشاورزی به شیوه‌ای سنتی در کشور ما از راه دفن برگ و خس و خاشاک باغ‌ها و مزارع درون زمین، از پیشینه‌ای کهن برخوردار است. اما سابقه استفاده از زباله‌های شهری برای تولید کود به سال 1348 هجری شمسی در شهر اصفهان بازمی‌گردد. در این سال شهرداری اصفهان براساس قراردادی با بخش خصوصی، کارخانه‌ای با ظرفیت دریافت 220 تن زباله در شیفت روانه تاسیس نمود. کارخانه یاد شده در جنوب شرقی زاینده‌رود و در تپه ماهورهای پل شهرستان فعالیت خود را آغاز نمود.

4- تعاریف مختلف ارائه شده از کمپوست

کمپوست از کلمه لاتین کمپوزیتوس¹ به معنای مخلوط و یا مرکب اقتباس شده است و به صورت عبارات زیر قابل تعریف است:

- تجزیه مواد آلی نامتجانس که به وسیله ریزجاندارهای مختلف در حضور رطوبت و گرما، در محیط هوازی صورت گیرد.
- یک فاز بیولوژیکی و تغییر فرم است که توسط ریزجاندارهای هوازی در داخل توده انجام گرفته و حرارتی حدود 65 الی 75 درجه سانتی‌گراد تولید می‌نماید.
- تجزیه مواد آلی توسط دسته‌ای از (ریزجاندارها) در محیط گرم، مرطوب و هوازی است.
- سیستم مهندسی تصفیه ضایعات جامد به روش تجزیه بیولوژیک در شرایط کنترل شده است.
- یک تجزیه بیولوژیکی و پایداری مواد آلی در شرایطی که بر اثر افزایش دمای ترموفیلیک که آن نیز خود ناشی از تولید حرارت بیولوژیکی است، به وجود می‌آید. محصول نهایی به اندازه کافی پایدار بوده و بدون آن که عوارض زیست محیطی در پی داشته باشد قابل انبار شدن و یا مصرف کردن است.

¹ Compositus

5- انواع کمپوست پسماند شهری

کمپوست حاصل از فرآیند تخمیر زباله را با توجه به مدت، شرایط آب‌وهوایی، پیشرفت تجزیه می‌توان به شرح زیر تقسیم‌بندی نمود:

5-1- کمپوست خام

منظور زباله خرد شده است که هیچ‌گونه عملیات تخمیر و پاستوریزاسیون بر روی آن صورت نگرفته باشد.

5-2- کمپوست تازه

منظور کمپوستی است که عمل تجزیه زیستی مواد آلی در آن شروع شده ولی تجزیه و واکنش‌های مربوطه کامل نگردیده است. در این نوع کمپوست، مواد آلی دماهای 60 تا 70 درجه را پشت سر گذاشته و بدون میکروب و بذر علف هرز شده‌اند ولی تجزیه هنوز کامل نشده و دمای توده بین 40 تا 45 درجه است.

5-3- کمپوست کامل

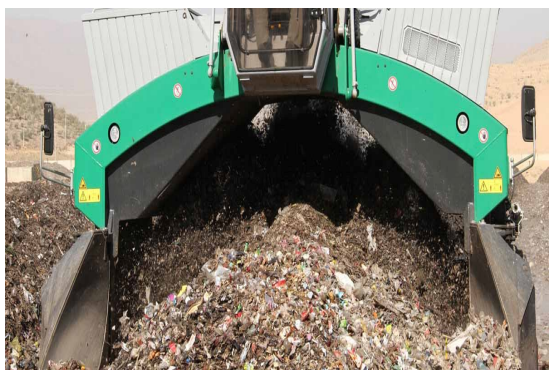
منظور کمپوستی است که شرایط مناسب عمل تجزیه مواد آلی در آن ادامه یافته و در نتیجه مقدار بیشتری از مواد آلی تجزیه و نسبت C/N به کمتر از 15 و میزان مواد آلی به حدود 20 درصد رسیده است.

5-4- کمپوست آماده

قدرت رویش بذر علف‌های هرز به‌طور کامل از بین رفته و همچنین عاری از هرگونه عامل بیماری زاست. ماده آلی، بیشتر تجزیه شده و به شکل پایدار درآمده است. به همین دلیل برای رشد گیاه بسیار موثر است.

5-5- کمپوست ویژه یا غنی شده

منظور کمپوستی است که برای جبران کمبود تعدادی از عناصر غذایی و نیازمند گیاهان با توجه به استاندارد تعیین شده و با همان عناصر تکمیل شده است.



شکل 1- کمپوست خام (زباله خرد شده)



شکل 2- کمپوست تازه



شکل 3- کمپوست رسیده یا آماده

5-6- بیوکمپوست

بیوکمپوست، کمپوست حاصل از زباله تفکیک شده شهری است که تفکیک زباله در مبدا انجام شده است. تهیه بیوکمپوست از فضولات شهری در مقایسه با سایر روش‌های دفع زباله، به ویژه سوزاندن، ارزان‌تر و اقتصادی‌تر است، به‌طوری‌که در حوالی شهرها با سرمایه گذاری کمی می‌توان کود مناسبی برای توسعه فضای سبز شهری و یا به منظور فروش تهیه نمود. از آنجا که بیش از 70 درصد از زباله‌های شهری در ایران را مواد آلی تشکیل می‌دهند (صادقپور، 1393)، تولید بیوکمپوست می‌تواند بخوبی در صدر برنامه‌های بازیافت و دفع بهداشتی زباله در کشور ما قرار گیرد. در واقع، کمپوست شدن عبارت است از تجزیه کنترل شده مواد آلی در حرارت و رطوبت و تهویه مناسب به‌وسیله باکتری‌ها، قارچ‌ها، کپک‌ها و سایر ریزجاندارهای هوازی و یا غیرهوازی. کمپوست دارای درصد زیادی هوموس است. هوموس اصلاح‌کننده خاک بوده و باعث بهبود شرایط زندگی و عملکرد موجودات خاک می‌شود. نکته مهم اینکه هوموس دارای مقدار زیادی ترکیبات ازته است که بتدریج در خاک آزاد شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد.

6- عوامل موثر در تهیه کود از زباله

- رطوبت توده کمپوست بایستی بین 50 تا 60 درصد وزنی باشد.
- تامین اکسیژن مورد نیاز برای تجزیه مواد (هوادهی).
- درجه حرارت مورد نیاز برای تجزیه مواد حدود 60 درجه سانتی‌گراد است.
- همگن بودن مواد به منظور کنترل عمل تجزیه.
- تنظیم نسبت C/N (این نسبت باید حدود 30 باشد).
- ابعاد و قطعات موادی که باید تجزیه شوند هرچه کوچکتر باشد، مجموع سطح آن‌ها بیشتر شده و در نتیجه سطح تماس آن‌ها با ریزجاندارها افزایش می‌یابد. در این خصوص ذکر این نکته ضروری است که مواد اولیه نباید به اندازه‌ای ریز شوند که تهویه توده مختل شود.

اصول کار در تهیه کود از زباله، هوادهی متناوب موادی است که از آن‌ها کمپوست تهیه می‌شود. هوادهی علاوه بر تامین اکسیژن مورد نیاز برای تجزیه مواد، باعث افزایش

درجه حرارت، کنترل مگس و بوهای ناهنجار و در نهایت تسریع در عمل تجزیه مواد می‌شود. در تهیه کود از زباله، دفع مواد غیر قابل کمپوست شدن، جداسازی مواد غیرقابل کمپوست شدن، میزان نیاز به کمپوست، و شیوه کاربرد آن، تولید بو و کنترل آن، جنبه‌های بهداشتی و قیمت تمام شده کمپوست همگی عواملی هستند که باید به دقت به آن توجه شود.

7- مباحث اساسی تهیه کمپوست

فرآیند تهیه کمپوست در واقع تجزیه مواد آلی توسط دسته‌ای از ریزجاندارها در محیط گرم مرطوب و هوازی است. مقدار قابل توجهی از مواد آلی که روزانه در طبیعت تولید می‌شود توسط واکنش‌های میکروبیولوژیکی تجزیه می‌شود. این عملیات به آرامی بر روی سطح زمین و دمای طبیعی و مخصوصاً "در شرایط هوازی امکان‌پذیر است. فرآیند طبیعی تجزیه مواد با جمع آوری مواد به شکل پشته انجام که مانع از هدر رفتن حرارت حاصل از تجزیه زیستی مواد می‌شود، در نتیجه افزایش دمای مواد باعث بالا رفتن سرعت واکنش می‌شود. این فرآیند تسریع شده همان فرآیند ساخت کمپوست است.

زباله‌هایی که برای عملیات کمپوست جمع آوری می‌شوند، بسیار متنوع بوده و شامل مخلوطی از مواد معدنی و آلی موجود در زباله‌های شهری، کودهای هموزن گیاهی، باقیمانده محصولات کشاورزی و لجن فاضلاب است. در فرآیند تولید کمپوست‌سازی، بیشترین مقدار اکسیژن مصرف شده برای تبدیل مواد آلی به محصولات پایدارتر مانند هیومیک اسید، دی اکسید کربن و آب به مصرف می‌رسد.

کمپوست، محصول فرآیندی است که در آن، واکنش‌هایی بین ریزجاندارها، رطوبت و اکسیژن در می‌گیرد. مواد آلی با انبوهی از میکروارگانیسم‌های (ریزجاندارهای) موجود در خاک، آب و هوا مخلوط هستند. زمانی که مقدار رطوبت زباله به اندازه مناسب برسد و هم‌چنین مواد به میزان لازم هوادهی شوند، فرآیند میکروبیولوژیکی تسریع می‌شود. علاوه بر اکسیژن و رطوبت، ریزجاندارها برای رشد و تکثیر نیازمند منبع کربن (زباله‌های آلی)، مواد غذایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و مقادیر ناچیزی از بعضی عناصر دیگر نیز هستند.

در حمله ریزجاندارها به مواد آلی، افزون بر این که خود آن‌ها تکثیر یافته و رشد می‌کنند، دی اکسید کربن، آب، بعضی از محصولات آلی و انرژی نیز آزاد می‌شود. مقداری از این انرژی در فرآیند متابولیسم مصرف شده و باقیمانده آن به صورت گرما، آزاد می‌شود. محصول نهایی یا همان کمپوست از مواد آلی باقیمانده مقاوم، محصولات تجزیه شده و ریزجاندارهای زنده و مرده تشکیل شده است.

7-1- روش‌های نظری تولید کمپوست

به طور کلی در تهیه کمپوست از زباله، می‌توان از دو روش علمی تجزیه هوازی و تجزیه غیرهوازی استفاده نمود. خلاصه ای از اصول علمی روش‌های یاد شده در زیر آورده می‌شود.

7-1-1- تجزیه هوازی

فرآیندی که در آن یک ماده آلی در حضور اکسیژن تجزیه شود، فرآیند هوازی نامیده می‌شود. در تجزیه هوازی، موجودات زنده‌ای که اکسیژن را مصرف می‌کنند برای تغذیه خود از مواد آلی استفاده می‌نمایند، بدین ترتیب که پروتوپلاسم سلول باکتری از نیتروژن، فسفر، کربن و سایر مواد غذایی که نیاز است تغذیه می‌کند، بدین ترتیب مقدار زیادی از کربن موجود به عنوان منبع انرژی برای موجودات زنده بکار رفته و در اثر تنفس و سوخته شدن به دی اکسید کربن تبدیل می‌شود. از آنجایی که کربن هم به عنوان منبع انرژی و هم به عنوان یک عنصر در پروتوپلاسم سلول مصرف می‌شود، از این رو به مقدار بسیار زیادی نیتروژن نیاز است.

به طور کلی تقریباً " کربن در اثر تنفس به CO_2 تبدیل و باقیمانده در سلول‌های زنده با نیتروژن ترکیب می‌شود. اگر مقدار کربن نسبت به نیتروژن در مواد آلی تجزیه شده از اندازه مشخصی بیشتر باشد، فعالیت بیولوژیکی کم شده و ممکن است چند گروه دیگر از موجودات زنده برای سوزاندن مقدار بیشتری از کربن لازم باشد. هنگامی که تعدادی از موجودات زنده کشته می‌شوند، نیتروژن و کربن ذخیره شده در آن‌ها برای دیگر موجودات زنده قابل دسترس و استفاده خواهد بود. استفاده از نیتروژن موجود در سلول‌های مرده توسط موجودات زنده، برای تشکیل سلول جدید نیاز به اکسید کردن کربن اضافی به شکل CO_2 نیاز خواهد داشت. به این ترتیب مقدار کربن کاهش یافته و مقدار محدودی از

نیتروژن نیز برگشت داده می‌شود. سرانجام هنگامی که نسبت به کربن به نیتروژن موجود بیش از اندازه کم باشد، نیتروژن اضافی باعث تولید آمونیاک خواهد شد. در شرایط مناسب ممکن است مقداری از آمونیاک به نیترات اکسیده شود. فسفر، پتاسیم، و انواع مختلف مواد دیگر نیز برای رشد بیولوژیکی اساسی هستند. این مواد در حالت عادی بیشتر از مقدار مورد نیاز در مواد قابل کمپوست شدن وجود دارند و از این نظر مشکلی ایجاد نمی‌شود. این فرآیند که در طبیعت بسیار رایج است، بیشتر در سطح زمین مثل کف جنگل‌ها اتفاق می‌افتد. برگ درختان و فضولات حیوانات بر روی کف جنگل‌ها ریخته شده، به تدریج به خاک برگ و کود خاکی نسبتاً پایداری تبدیل می‌شود.

مقدار زیادی انرژی در اثر تبدیل کربن به دی‌اکسید کربن، به صورت گرما آزاد خواهد شد. به عنوان نمونه اگر یک مولکول گرم از گلوکز در شرایط هوازی تجزیه شود، حدود 600 کیلوکالری حرارت تولید خواهد شد. اگر ماده آلی تحویل داده شده به صورت یک توده یا به صورتی باشد که بتوان آن را عایق‌بندی کرد، درجه حرارت آن از 70 درجه سانتی‌گراد بیشتر خواهد شد. با وجود این اگر درجه حرارت از 65 تا 70 درجه سانتی‌گراد بیشتر، فعالیت باکتری‌ها کاهش خواهد یافت و عمل تجزیه آهسته خواهد شد. به علت این که در اثر درجه حرارت زیاد در فرآیند تجزیه، عوامل بیماری‌زای انسانی و گیاهی نابوده شده‌اند، از این رو استفاده از کود حاصله در مزارع کاملاً بی‌خطر است. اکسیداسیون هوازی مواد آلی بوی قابل ملاحظه‌ای ایجاد نمی‌کند، اگر در محل بو ایجاد شود نتیجه گرفته می‌شود که یا فرآیند هوازی نیست و یا موادی در محیط وجود دارند که اکسیداسیون آن‌ها تولید بو می‌کند. در عمل تجزیه شدن یا کمپوست‌شدن هوازی، اگر اکسیژن به مقدار کافی وجود داشته باشد، می‌تواند در سیلوهای هضم کننده، گودال‌ها و سطح زمین به صورت پشته‌ای و یا کپه‌ای صورت گیرد. برای حفظ شرایط هوازی ضروری است که مواد در فاصله‌های زمانی معین جابه‌جا شوند تا اکسیژن کافی به آن‌ها برسد.

7-1-2- تجزیه بی‌هوازی

فاسد شدن مواد آلی، نتیجه تجزیه آن‌ها در شرایط بی‌هوازی است. موجودات زنده غیرهوازی، ترکیبات آلی را به وسیله فرایند احیا تجزیه می‌کند. همانند فرآیند هوازی، موجودات زنده از نیتروژن، فسفر و سایر مواد غذایی در رشد و تولید پروتوپلاسم سلول،

استفاده و مواد آلی دارای نیتروژن را به اسیدهای آلی و آمونیاک تبدیل می‌کنند. اتم‌های کربن موجود در ترکیبات آلی که در پروتئین سلولی استفاده نمی‌شود، به‌صورت متان آزاد شده و بخش کوچکی از کربن ممکن است در اثر تنفس به دی‌اکسیدکربن تبدیل شود. این فرآیند در طبیعت به‌صورت تجزیه لجن مواد آلی در ته مرداب‌ها و مواد آلی مدفون شده که به اکسیژن دسترسی ندارد، اتفاق می‌افتد. گازی که در مرداب‌ها متصاعد می‌شود بیشتر متان است. احیای شدید (فاسد شدن) مواد آلی، معمولاً همراه با ایجاد بوهای نامطبوعی از سولفید هیدروژن و ترکیبات آلی احیاء شده گوگرددار (از جمله مرکاپتان‌ها) است. از آنجائی که تجزیه غیرهوازی مواد آلی یک فرایند احیا است، بخشی از محصول نهایی (کود کمپوست) هنگامی که در مزارع استفاده می‌شود، در معرض اکسیداسیون هوازی قرار خواهد گرفت.

این اکسیداسیون جزئی است و به سرعت صورت می‌گیرد و در کاربرد مواد، اثر سوئی ندارد. معمولاً از تجزیه بی‌هوازی برای تولید کمپوست پسماند شهری استفاده نمی‌شود.

8- ویژگی‌های کمپوست

کمپوست حاصل از زباله‌های خانگی، حاوی مقدار قابل‌توجهی از عناصر معدنی است که بعضی از آن‌ها برای رشد گیاهان ضروری است. مهم‌ترین این عناصر که عناصر غذایی ضروری نامیده می‌شوند شامل عناصر غذایی کم مصرف (بور، روی، مس، منگنز، مولیبدن) و عناصر غذایی پرمصرف (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، گوگرد، کلسیم، منیزیم) هستند. البته ترکیب کمپوست بستگی به ترکیب زباله مصرف دارد. استانداردهای متفاوتی برای تولید و مصرف این کود وجود دارد، از جمله استانداردهای سوئیس، آلمان، فرانسه و ایران که در زیر مرور می‌شود. استاندارد کشور آلمان در جدول دو و استاندارد کشور سوئیس در جدول سه نشان داده شده است.

بیشتر تولیدکنندگان، کمپوست مرغوب را از روی ظاهر مواد تجزیه شده می‌شناسند و به‌طور کلی می‌توان زمان رسیدن کمپوست را از نظر کمیت و کیفیت، به‌خوبی تخمین زد. در تعیین ویژگی فیزیکی کمپوست باید اندازه ذرات، درصد مواد غیرمفید، پلاستیک،

شیشه و کاغذ متناسب با نوع مصرف بررسی شوند. کمپوست را بر حسب اندازه ذرات و با توجه به کاربرد مربوطه به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌کنند:

- کمپوست نرم با قطر ذرات کمتر از 8 میلی‌متر
- کمپوست متوسط با قطر ذرات بین 8 تا 20 میلی‌متر
- کمپوست درشت با قطر ذرات بین 20 تا 42 میلی‌متر

تأثیر کلی کمپوست، بیشتر مربوط به تجزیه آن در خاک است. این تأثیر هنگامی می‌تواند به بیشترین مقدار خود برسد که میزان مواد آلی موجود در کمپوست حداقل بالغ بر 15 الی 20 درصد از کل مواد باشد. به این ترتیب تجزیه زباله نه فقط بایستی در زمان تهیه کمپوست انجام شود، بلکه بیشتر باید در محل مصرف یعنی خاک انجام پذیرد. مطالعات محققین نشان داده است که مصرف کمپوست نسبتاً درشت در باغات میوه و تاکستان‌ها مناسب‌تر است، ولی در سبزی‌کاری و صیفی‌کاری می‌باید کمپوست در زمان تهیه، حداکثر میزان تجزیه و تغییر فرم را یافته باشد، زیرا در غیر این صورت فعالیت ریزجاندارها موجب افزایش دی‌اکسیدکربن و کمبود اکسیژن خاک گشته، در نتیجه فعالیت ریشه‌ها محدود می‌شود. وجود موادی مانند شیشه و پلاستیک که وجود هر کدام از آن‌ها در کمپوست مضراتی به همراه دارد، به ویژه پلاستیک که پس از مدتی موجب نفوذ ناپذیری خاک و تبدیل آن به باتلاق می‌شود باید به حداقل ممکن رسانیده شود. در کمپوست نرم این مواد نباید بیش از 6 درصد و در کمپوست متوسط بیش از 12 درصد باشد.

9- مزایای مصرف کمپوست

احداث کارخانجات کمپوست و استفاده از محصول آن می‌تواند پیامد مفیدی داشته باشد. به عنوان نمونه به موارد زیر اشاره می‌شود:

9-1- کاهش آلودگی محیط زیست (زمین، آب و هوا)

پیش از این، اشاره شد که در بیشتر شهرهای ایران، عملیات دفن زباله به صورت غیربهداشتی و با در نظر نگرفتن اصول حفاظتی اولیه انجام می‌شود، که اثرات نامطلوب دراز مدت و کوتاه مدتی در پی دارند.

مشکل دیگر دفن‌های غیربهداشتی و غیراصولی، از خارج کردن زمین از بهره‌برداری به مدت زمان طولانی است. زیرا بسیاری از مواد دفن شده، فاسد نمی‌شوند و به همان شکل اولیه خود در زمین باقی می‌مانند (از جمله مواد پلیمری) و از این رو در مناطقی که زمین از ارزش اقتصادی بالایی برخوردار است و یا کمبود زمین وجود دارد، کمپوست می‌تواند به عنوان یک راه حل مناسب انتخاب شود.

مسئله تغذیه دام‌ها و طیور از زباله‌های تخلیه شده در محل دفن نیز یکی دیگر از مشکلات اساسی است که موجب بروز و شیوع بیماری‌های عفونی می‌گردد و سالانه مقادیر زیادی ارز برای تهیه داروهای مربوطه از کشور خارج می‌شود. در تبدیل زباله به کمپوست، افزون بر دوری از موارد یاد شده، می‌توان از محصول حاصله نیز به‌طور وسیع استفاده نمود.

9-2- جلوگیری از فرسایش خاک

از مشخصات خاک‌ها در بیشتر نقاط کشور ایران (به ویژه مناطق مرکزی) نداشتن پایداری است. در این نوع زمین‌ها، در افق رویی خاک، مواد آلی، بر اثر اکسیداسیون تجزیه شده و از بین می‌رود. خاک با از دست دادن مواد آلی خود (هوموس)، خاصیت چسبندگی‌اش را از دست داده و بر اثر وزش باد، شروع به فرسایش می‌کند. ذرات ریز خاک توسط باد پراکنده شده و پس از بارندگی به حرکت در می‌آیند و به این ترتیب تمام مواد غذایی محلول در آب شسته شده، از بین می‌رود. به این پدیده فرسایش گفته می‌شود. کمپوست پسماند شهری، ترکیبی است که هوموس خاک را احیاء نموده و از فرسایش بی‌رویه خاک جلوگیری می‌کند.

9-3- قابلیت نگهداری آب در خاک

یکی دیگر از مشخصه‌های زمین مزروعی قدرت نگهداری آبی است که گیاه در خاک نیاز دارد. امروزه از ترکیبات مختلفی برای بهبود این مشخصه استفاده می‌شود مانند ورمیکولیت و پرلیت اما از لحاظ اقتصادی مناسب‌ترین و بهترین ماده در این رابطه، کود کمپوست است که افزون بر توانایی یادشده، ارزش غذایی مناسبی نیز برای خاک دارد.

9-4- متخلخل نمودن خاک

کمپوست حجم خلل و فرج خاک‌ها را افزایش داده و ساختمان آن‌ها را اصلاح می‌کند. از عوارض ناخواسته کاربرد انواع کودهای شیمیایی سخت و محکم شدن خاک‌های کشاورزی است. با به‌کاربردن کود کمپوست، این مشکل نیز برطرف می‌شود.

9-5- کود آلی مناسب

کمپوست حاصل از زباله‌های خانگی دارای مقادیر متنابهی از عناصر معدنی است که تعدادی از آن‌ها برای رشد گیاهان ضروری است. از جمله بور، روی، مس، منگنز، مولیبدن و همچنین دیگر عناصر عمده مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم.

10- سیر پیشرفت فرآیند تولید کمپوست پسماند شهری

کشاورزان و باغداران به مدت چندین قرن کود کمپوست را به شکل ابتدایی تولید می‌کردند. موادی مانند سبزیجات، فضولات حیوانی، زباله خانگی، کود انسانی و غیره را درون گودال‌هایی قرار داده (یا به صورت پشته‌ای) و اجازه می‌دادند تا مواد به‌صورت طبیعی تجزیه شود. سپس محصول حاصله را در مزارع خود استفاده می‌کردند. در این نوع روش‌ها هیچ گونه کنترلی اعمال نمی‌شد و مدت زمان زیادی برای تولید یک کود مرغوب لازم بود. نخستین پیشرفت مهم در فرآیند کمپوست بوسیله هاوارد و همکارانش نزدیک به 70 سال پیش در هندوستان صورت گرفت. وی روش‌های سنتی تهیه کمپوست را استانداردسازی نمود و به‌همین علت، موفقیت چشمگیری یافت. این روش نخست درباره کود حیوانی به‌کار گرفته شد و پس از آن در مورد دیگر مواد از جمله لجن فاضلاب، زباله‌های خانگی،

باغبانی و شهری به کار برده شد. در این روش مواد در پشته‌هایی به ارتفاع 1/5 متر دپو یا در گودال‌هایی به عمق 0/6 تا 0/9 متر ریخته می‌شدند. این مواد در مدت شش ماه زمان تخمیر، تنها دو بار زیر و رو می‌شدند و شیرابه حاصله از تخمیر مواد نیز برای تنظیم رطوبت پشته‌ها بر روی توده‌ها اسپری می‌شد.

آقای وان‌فورن در آفریقای جنوبی تحقیقات زیادی را در مورد اصلاح این روش انجام داد. مهم‌ترین نوآوری در این خصوص، زیرورو کردن متناوب مواد برای جلوگیری از تجزیه بی‌هوازی بود و بدین ترتیب تجزیه مواد زودتر انجام و مدت زمان تهیه کمپوست کوتاه‌تر می‌شد.

در سال 1935، دی‌اسکات و همکارانش مطالعات دامنه‌داری را در رابطه با کمپوست نمودن ضایعات کشاورزی در شمال چین انجام دادند. این تحقیقات در سال 1941 به علت بروز جنگ جهانی دوم متوقف شد، اما سرانجام در سال 1951 نتایج این مطالعات انتشار یافت. در این تحقیقات اصول زیر مدنظر بود:

- اثرات تبدیل مواد زائد به وسیله روش‌های اولیه و غیربهداشتی بر سلامتی انسان
- کاهش کیفیت شیمیایی کمپوست ناشی از کاربرد روش‌های اولیه
- نتایج حاصله از روش‌های مختلف هوازی و بی‌هوازی در رابطه با نابودی موجودات زنده بیماری‌زا
- کنترل مگس در فرایند مراحل تولید کمپوست
- اثرات ناشی از تغییرات مواد اولیه بر روی فرایند کمپوست
- اثرات کمپوست بر روی بازده محصول
- تهیه طرح‌های ویژه تهیه کمپوست برای مزارع و روستاها

11- استانداردهای کمپوست

یکی از مسایل مهم کمپوست زباله شهری، مطابقت ویژگی‌های آن با استانداردهای موجود است. استانداردهای موجود کمپوست زباله شهری در کشورهای مختلف با هم

متفاوت هستند و این موضوع به قوانین زیست محیطی، کاربرد، نوع خاک و دیگر عوامل بازمی‌گردد.

روشن است تفاوت میان کمپوست‌های تولیدی در کیفیت آن‌هاست که به نوع مواد اولیه، روش به‌کار گرفته شده و کنترل و مدیریت فرآیند وابسته است. کمپوست کامل باید استانداردهای لازم را داشته باشد در غیر این صورت نه تنها فایده‌ای برای گیاه نداشته بلکه اثر منفی نیز خواهد داشت. امروزه مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی باعث کاهش مواد آلی در زمین‌های کشاورزی و فرسایش آن‌ها شده است. این امر موجب شده است تا بیشتر کشورهای پیشرفته و صنعتی به استفاده از کودهای طبیعی و بیولوژیکی روی آورند.

همان‌طور که جایگزینی کودهای طبیعی از جمله کمپوست به‌جای مواد مصنوعی توصیه می‌شود می‌بایست به اهمیت کیفیت کمپوست و در واقع به استانداردهای کمپوست نیز توجه ویژه‌ای شود. از سوی دیگر، رعایت این استانداردها مشکلات آلودگی محیط زیست را به حداقل خواهد رساند که خود نقش اصلاحی دارد. شناخت کیفیت کمپوست و به دنبال آن، طبقه‌بندی کمپوست برای مصرف‌کننده و تولیدکننده از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌طوری که با دانستن نوع و درجه کمپوست، نوع مصرف مناسب انتخاب شده و نتایج مطلوب حاصل می‌شود. براساس تعریف، استاندارد حداقل کیفیت لازم برای مصرف است که رضایت مصرف‌کننده را به همراه دارد. از این‌رو کمپوست برای تائید لازم است که کاملاً رسیده و پایدار باشد و دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مشخصی باشد. از این‌رو کشورهای مختلف در این زمینه شاخص‌هایی را به‌عنوان استاندارد تعریف کرده‌اند که بنا به شرایط غیریکسان هر منطقه بصورت منطقه‌ای بوده و برنامه جامعی تعریف نشده است. مباحث مشترکی که در بیشتر این متون وجود دارد عبارتند از: حدود مجاز فلزات سنگین، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، عوامل بیماری‌زا و سمی، درجه رسیدگی و اثر بر رشد گیاه.

11-1- معیارهای تعیین کیفیت کمپوست

11-1-1- ویژگی‌های فیزیکی

مهمترین این ویژگی‌ها عبارتند از: چگالی، ظرفیت نگهداری آب، اندازه ذرات و رطوبت.

چگالی، جرم در واحد حجم تعریف می‌شود که به فاکتورهای دیگری نظیر رطوبت، اندازه ذرات و مقدار مواد معدنی وابسته است. روشن است که با گذشت زمان به علت افزایش مواد معدنی چگالی کمپوست افزایش می‌یابد. ولی در آغاز کمپوست دارای سبک وزنی و چگالی کم است.

ظرفیت نگهداری آب، مقدار آب نگهداری شده در منافذ بافتی کمپوست است که از راه زه‌کشی آزاد در نمونه کمپوست آزمایش می‌شود. این ویژگی از نظر کاربرد در کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از مزایای کمپوست ظرفیت زیادی نگهداری آب آن است که در فصول خشک در کمبود آب کمک چشمگیری به گیاه می‌کند.

اندازه ذرات، به نوع فرآیند انجام شده، غربال کردن و قطر منافذ سرندهای استفاده شده بستگی دارد و آنچه که مشخص است ذراتی با قطر بزرگ مانع از تاثیر مثبت کمپوست در مزرعه می‌شوند و به همین شکل ذرات بسیار ریز نیز به علت نگهداری مقدار زیاد آب و لجنی شدن اثر منفی دارند. از این‌رو کمپوست از نظر دانه‌بندی نیز باید درگستره مناسب قرار گیرد. مقدار رطوبت معیاری از وزن کمپوست است، به‌طوری‌که با افزایش رطوبت، مقدار مواد خشک کاهش می‌یابد. میزان رطوبت به شرایط انبارداری و تاثیرات کمپوست اثر می‌گذارد. مقدار رطوبت همان‌طور که قیمت کمپوست را از نظر نسبت وزنی تحت تاثیر قرار می‌دهد، در آسانی کاربری و مکانیسم عمل نیز موثر خواهد بود.

11-1-2- ویژگی‌های شیمیایی

ویژگی‌های شیمیایی کمپوست اهمیت زیادی دارند که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: مقدار مواد آلی، کربن آلی، نیتروژن (به‌صورت نیتراتی، آمونیومی و کل) هدایت الکتریکی، نسبت C/N، pH، مقادیر فلزات سنگین و مقدار عناصر غذایی مانند فسفر، پتاسیم و منیزیم. تعیین مقدار نیتروژن نیتراتی و نیتروژن آمونیونی نیز در تعیین کیفیت کمپوست کمک می‌کند و نسبت آن‌ها به‌عنوان شاخصی از رسیدگی کمپوست به‌شمار می‌رود. pH معیار خاصیت اسیدی و بازی بودن کمپوست است و درباره کمپوست ایده آل در محدوده خنثی تعریف می‌شود. pH در شروع فرایند اسیدی است و به‌مرور در ادامه به سمت خنثی پیش می‌رود. مقدار عناصر مختلف مانند فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم نیز که در کمپوست به

فراوانی پیدا می‌شوند و هم‌چنین فلزات سنگین که در غلظت‌های کم وجود دارند، از دیگر شاخص‌های شیمیایی هستند. نسبت C/N که از مقادیر کربن و نیتروژن محاسبه می‌شود، یکی از عوامل مهم برای کمپوست به شمار می‌آید و تعیین‌کننده رسیدگی و بلوغ کمپوست است.

11-2- استانداردهای کمپوست پسماند شهری در کشورهای اروپایی و ایالات متحده آمریکا

آنچه که مهم است و در ادامه به بررسی آن پرداخته می‌شود حدود و گستره قابل قبول ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کمپوست است و در ادامه استانداردها و قوانین مربوط به کمپوست در دیگر کشورها معرفی می‌شود. شاخص‌های بیان شده در کشورهایی مانند آلمان، استرالیا و ایالات متحده که در زمینه کمپوست سابقه طولانی دارند در جدول دو نشان داده شد.

جدول 2- شاخص‌های کیفی کمپوست در برخی کشورها (برایتون، 2000)

تست مورد نظر	آلمان	استرالیا	ایالات متحده
شوری و نمک	کمتر از 2/5 گرم بر لیتر	کمتر از 2 گرم بر لیتر	کمتر از 2 میلی موس بر سانتیمتر
نیتروژن	کمتر از 300 میلی گرم بر لیتر	کمتر از 800 میلی گرم بر لیتر	100-300 میلی گرم بر لیتر
فسفر	کمتر از 1200 میلی گرم بر لیتر	کمتر از 800 میلی گرم بر لیتر	800-2500 میلی گرم بر لیتر
پتاسیم	کمتر از 2000 میلی گرم بر لیتر	کمتر از 1500 میلی گرم بر لیتر	500-2000 میلی گرم بر لیتر
مواد آلی	بیش از 15%	بیش از 20%	بیش از 30%
PH	-	7-5/5	7-6

در استانداردهای اروپایی نیز شاخص‌هایی برای کمپوست مناسب مطرح شده است. در این استانداردها مواد آلی بیش از 20 درصد، رطوبت کمتر از 75 درصد و نیتروژن کل

کمتر از دو درصد مواد جامد در نظر گرفته شده است. استاندارد کمپوست زباله شهری در کشورهای آلمان و سوئیس در جدول سه درج شده است.

جدول 3- عناصر تشکیل دهنده کمپوست برابر استاندارد کشور آلمان و سوئیس
(فریک و ووگتمن، 1994)

عناصر غذایی	درصد عنصر (استاندارد آلمان)	درصد عنصر (استاندارد سوئیس)
نیتروژن	0/4-1/5	0/8-1/2
فسفر	0/2 -0/8	0/35-0/4
پتاسیم	0/4 -1/2	0/3-0/6
گوگرد	0/1 -0/5	0/25-0/30
کلسیم	2-5	0/6-6
منیزیم	0/2-0/8	0/3-0/9
سدیم	0/2-0/5	0/2-0/5
آهن	0/2 -0/8	0/2-1
مس	0/001-0/08	0/001-0/08
منگنز	0/002-0/05	0/002-0/05
روی	0/001 -0/04	0/001-0/04
بور	0/001-0/05	0/001-0/05
مولیبدن	0/0001-0/005	0/0001-0/005
کبالت	0/0001-0/002	0/0001-0/002
خاکستر، هوموس، پروتئین، اسیدهای آمینه، آنزیم‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها		34-50

کنترل عوامل بیماری‌زا از راه کنترل دمای فرآیند کمپوست انجام می‌شود که در روش‌های مختلف متغیر است. جدول چهار، روش‌های به‌کار گرفته شده برای فرآیند تولید کمپوست را در کشورهای مختلف نشان می‌دهد و برای کاهش عوامل بیماری‌زا شرایط خاصی را بیان می‌کند (برایتون، 2000).

جدول 4- شرایط دمایی لازم برای حذف عوامل بیماری‌زا در برخی کشورها

کشور	روش کمپوست‌سازی	دمای عوامل موجود
استرالیا	کلیه روش‌ها	بیشتر از 55 درجه سانتی‌گراد برای حداقل سه روز
آلمان	روش ویندرو	بیشتر از 55 درجه سانتی‌گراد برای دو هفته یا بیشتر از 65 درجه سانتی‌گراد برای یک هفته
	روش محفظه بسته	بیشتر از 60 درجه سانتی‌گراد برای یک هفته
سوئیس	کلیه روش‌ها	بیشتر از 55 درجه سانتی‌گراد برای سه هفته یا بیشتر از 60 درجه سانتی‌گراد برای یک هفته
دانمارک	کلیه روش‌ها	بیشتر از 55 درجه سانتی‌گراد برای دو هفته یا بیشتر از 60 درجه سانتی‌گراد برای دو هفته

11-3- استاندارد کمپوست پسماند شهری در ایران

تا پیش از سال 1386 برای کمپوست پسماند شهری استاندارد در ایران وجود نداشت. استاندارد "کمپوست، ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی" براساس پیشنهادهای رسیده و بررسی توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و تایید کمیسیون‌های مربوط تدوین و در پنجاهمین اجلاس کمیته ملی استاندارد بسته‌بندی مورخ 86/12/4 تصویب شد. هدف از نگارش این استاندارد، تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و اندازه مجاز فلزات سنگین کمپوست بود. این استاندارد درباره کمپوست حاصل از فرآوری زباله‌های تفکیک شده آلی در کشاورزی کاربرد داشته و ویژگی‌های میکروبیولوژی کمپوست در دامنه کاربرد آن نیست.

11-3-1- اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

- **کمپوست:** کمپوست کود آلی جامد پایدار و بهداشتی، حاصل از تجزیه بیولوژیکی مواد آلی (زباله شهری) با تیمار انواع مختلف ریزجانداران است که می‌تواند از فرآوری مخلوطی از چند ماده آلی قابل تجزیه تشکیل شده باشد و دارای رنگ قهوه‌ای و بوی خاک است.
- **مواد آلی:** مواد اصلی تشکیل‌دهنده کمپوست هستند که در اثر فعالیت ریزجانداران روی مواد اولیه حاصل شده‌اند و می‌توانند به عنوان منابع غذایی برای رشد گیاه استفاده شوند.

- **کربن آلی:** کربنی است که در مواد آلی موجود در کمپوست است و در نسبت C:N اثر مستقیم دارد.
- **نیتروژن آمونیومی:** نیتروژنی است که در ترکیب کمپوست به صورت کاتیون آمونیوم قرار دارد.
- **نیتروژن نیتراتی:** شامل نیتروژنی است که در ترکیب کمپوست به صورت آنیون نترات وجود دارد.
- **نیتروژن کل:** به مجموع نیتروژن آلی و معدنی (آمونیمی و نیتراتی) گفته می‌شود.
- **نسبت C:N:** بیان کننده نسبت مقدار کربن آلی به نیتروژن کل است.
- **هدایت الکتریکی:** هدایت الکتریکی قابلیت رسانایی یک محلول را نشان می‌دهد که به غلظت و نوع یون‌ها وابسته است. واحد اندازه‌گیری آن دسی‌زیمنس بر متر است و مقدار آن به وسیله دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری می‌شود.
- **مواد خارجی:** دربرگیرنده به مواد تجزیه‌ناپذیری مانند پلاستیک، فلزات، منسوجات و شیشه با قطر بیشتر از پنج میلی‌متر است که در کمپوست وجود دارند.
- **نسبت جذب سدیم:** نسبت سدیم موجود در نمونه به مجموع کاتیون‌های دو ظرفیتی منیزیم و کلسیم موجود در نمونه است.
- **ظرفیت تبادل کاتیونی:** ظرفیت تبادل کاتیونی معیاری از ظرفیت کمپوست در نگهداری کاتیون‌های قابل تبادل از جمله پتاسیم، کلسیم، سدیم و منیزیم توسط سطوح با بار الکتریکی منفی است.
- **شاخص جوانه‌زنی:** شاخص جوانه‌زنی درصد جوانه زدن گیاه ترتیزک را در محلول 10 درصد کود نسبت به آب مقطر نشان می‌دهد.

11-3-2- طبقه‌بندی کیفی کمپوست پسماند شهری

در این استاندارد، کمپوست به دو گروه «یک» و «دو» طبقه‌بندی می‌شود. این گروه براساس معیار کیفی صورت گرفته و گروه «یک» دارای کیفیت بهتری است. برای این که کمپوست در گروه «یک» قرار گیرد بایستی ویژگی‌های مشخص شده برای این گروه در جدول 5 را دارا باشد.

جدول 5- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کمپوست پسماند شهری

نوع ویژگی	حدود قابل قبول برای گروه «یک»	حدود قابل قبول برای گروه «دو»
مواد آلی (براساس وزن ماده خشک)	کمینه 35 درصد	کمینه 25 درصد
کربن آلی (براساس وزن ماده خشک)	کمینه 25 درصد	کمینه 15 درصد
میزان نیتروژن کل (براساس وزن ماده خشک)	1/25-1/66 درصد	1/0-1/5 درصد
نسبت کربن به نیتروژن (C/N)	15-20	10-15
میزان فسفر برحسب P2O5 (براساس وزن ماده خشک)	1-3/8 درصد	0/3-3/8 درصد
میزان پتاسیم برحسب K2O (براساس وزن ماده خشک)	0/5-1/8 درصد	0/5-1/8 درصد
هدایت الکتریکی (در محلول 10 درصد از ماده خشک)	بیشینه 8 ds/m	بیشینه 14 ds/m
pH (در محلول 10 درصد از ماده خشک)	6-8	6-8
رطوبت	بیشینه 15 درصد	بیشینه 35 درصد
میزان خاکستر	بیشینه 50 درصد	بیشینه 50 درصد
نسبت آمونیوم به نترات	0/5 تا 3	0/5 تا 3
نسبت جذب سدیم	بیشینه 10	بیشینه 10
ظرفیت تبادل کاتیونی	کمینه 100meq/g	کمینه 100meq/g
چگالی	600-350 Kg/m ³	600-350 Kg/m ³
قطر ذرات	بیشینه 8 میلیمتر	بیشینه 20 میلیمتر
مواد خارجی با قطر بیشتر از 4 میلیمتر (براساس وزن خشک ماده)	بیشینه 6 درصد	بیشینه 12 درصد
بذر علفهای هرز	نداشته باشد	نداشته باشد
شاخص جوانه زنی	کمینه 70 درصد	کمینه 70 درصد

11-3-3- حد مجاز فلزات سنگین در کمپوست پسماند شهری

فلزات سنگین از مهم‌ترین آلاینده‌های موجود در کمپوست پسماند شهری هستند. در بسیاری از کشورها از جمله آمریکا، سوئد، سوئیس، اتریش، آلمان، فرانسه، دانمارک و هلند دارای استانداردهای متفاوتی برای مراحل تولید و همچنین مصارف گوناگون کمپوست هستند. در این زمینه استانداردهای کشورهای سوئد، آلمان و آمریکا به عنوان نمونه جدول‌های شش و هفت نشان داده شد.

جدول 6- مقادیر استاندارد فلزات سنگین موجود در کود کمپوست بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم (فتایی، 1385)

نام عنصر	استاندارد سوئد	استاندارد آلمان
کادمیوم	2	1/5
سرب	100	150
روی	800	400

جدول 7- استاندارد مرتبط با بهداشت عمومی در کاربرد کمپوست طبق پیشنهاد دپارتمان اکولوژی واشنگتن (فتایی، 1385)

فلز	واحد	کلاس 1	کلاس 2	کلاس 3
کادمیوم	(mg/kg)	10	15	20
سرب	(mg/kg)	250	500	1000
روی	(mg/kg)	500	1000	2000

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران نیز نسبت به تدوین استاندارد کمپوست اقدام نموده است. اندازه مجاز فلزات سنگین براساس استاندارد ایران به شرح جدول هشت است. برخی کشورها نیز بسته به نوع کاربرد کمپوست اقدام به تدوین استاندارد برای فلزات سنگین کمپوست نموده‌اند که در جدول نه آورده شده است.

جدول 8- حد مجاز فلزات سنگین بر حسب میلی گرم در کیلوگرم (استاندارد ایران، بی نام، 1386)

ردیف	نام فلز	حد مجاز
1	آرسنیک (As)	بیشینه 10
2	جیوه (Hg)	بیشینه 5
3	روی (Zn)	بیشینه 1300
4	سرب (Pb)	بیشینه 200
5	کادمیم (Cd)	بیشینه 10
6	کبالت (Co)	بیشینه 25
7	کروم (Cr)	بیشینه 150
8	مس (Cu)	بیشینه 650
9	مولیبدن (Mo)	بیشینه 5
10	نیکل (Ni)	بیشینه 120

جدول 9- حد مجاز فلزات سنگین در کمپوست بر حسب میلی گرم در کیلوگرم (برایتون¹، 2000)

عنصر	استرالیا	سوئیس	دانمارک	فرانسه	آلمان	ایتالیا	هلند	اسپانیا	کانادا
آرسنیک	-	-	25	-	-	10	25	-	13
بور	100	-	-	-	-	-	-	-	-
کادمیوم	4	3	1/2	8	1/5	1/5	2	40	3
کروم	150	150	-	-	100	100	200	750	200
کبالت	-	25	-	-	-	-	-	-	34
مس	400	150	-	-	300	300	300	1750	100
سرب	500	150	120	800	140	140	200	1500	150
جیوه	4	3	1/2	8	1/5	1/5	2	25	0/8
نیکل	100	50	45	200	50	50	50	400	62
سلنیوم	-	-	-	-	-	-	-	-	2
روی	1000	500	-	-	500	500	900	4000	500

11-3-4- بیشینه مجاز افزایش محتوای فلزات سنگین در خاک

براساس استانداردهای جهانی، افزایش محتوای سالیانه فلزات سنگین به خاک دارای محدودیت است. در این خصوص سه فلز جیوه، آرسنیک و کادمیوم بیشترین محدودیت را دارند. به گونه‌ای که بیشینه مجاز افزایش محتوای جیوه، کادمیوم و آرسنیک به ترتیب 100، 150 و 700 گرم در هکتار است. جدول ده مقادیر بیشینه مجاز افزایش فلزات سنگین به خاک را نشان می‌دهد.

جدول 10- بیشینه مجاز افزایش فلزات سنگین به خاک بر حسب کیلوگرم در هکتار در سال (برایتون، 2000)

استاندارد	روی	سرب	نیکل	جیوه	مس	کروم	کادمیوم	آرسنیک
اروپا	30	15	3	0/1	12	2	0/15	0/7
آمریکا	140	15	21	0/85	75	150	1/9	2

12- نتایج آنالیز شیمیایی برخی کمپوست پسماند شهری

نتایج آنالیز شیمیایی کمپوست بسته به زمان متغیر است و از آن جایی که ترکیب زباله با فصل عوض می‌شود، کیفیت کمپوست تولیدی نیز متغیر خواهد بود. طی مطالعه‌ای به منظور تعیین کیفیت کمپوست پسماند شهری خمین و تهران، زاهدان، کرمانشاه و مشهد

¹ Briton

نمونه‌گیری در زمان‌های مختلف از کارخانه‌های تولید کمپوست انجام و نمونه‌ها آنالیز شیمیایی شدند که نتایج آن در جدول 11 درج شده است (فرزادکیا و همکاران، 1388).

جدول 11- آنالیز شیمیایی کمپوست پسماند کارخانه خمین و تهران

(فرزادکیا و همکاران، 1388؛ حیدری و میرکی، 1395؛ نورعلی و سرپله، 1397؛ سفیدکار و همکاران، 1392)

مشخصات نمونه	درصد مواد آلی	واکنش	کربن آلی	نیترژن	فسفر	پتاسیم	سرب	کادمیوم	جیوه	کروم
				درصد				میلی گرم در کیلوگرم		
خمین 1	39	8/3	23	1/59	0/4	1/13	61	<0/1	<0/1	21
خمین 2	30	8/4	18	1/79	0/38	1/19	55	<0/1	<0/1	21
خمین 3	27	8/6	16	1/59	0/44	1/0	66	<0/1	<0/1	18
خمین 4	23	8/7	16	1/43	0/39	0/92	55	<0/1	<0/1	19
میانگین	29/8	8/5	18	1/6	0/4	1/0	59	<0/1	<0/1	19/7
تهران 1	31	8/0	18	2/2	0/42	0/99	213	2	0/19	69
تهران 2	25	8/0	15	2/0	0/43	0/95	258	2	0/18	62
تهران 3	31	8/1	18	1/8	0/43	1/0	275	2	0/22	96
تهران 4	55	8/0	32	2	0/42	1/0	175	2	0/2	60
تهران 5	47	8/0	28	2/3	0/43	0/99	225	2	0/18	64
زاهدان 1	24/8	7/3	14/4	0/98	0/36	-	56	3/8	-	-
زاهدان 2	16/4	8/6	9/63	1/54	0/36	-	91	1/6	-	-
زاهدان 3	16/8	8/3	9/9	3/2	0/37	-	95	ND	-	-
زاهدان 4	16/6	9/04	9/8	2/2	0/35	-	114	0/5	-	-
میانگین	18/5	8/3	10/9	1/98	0/36	-	89	2/7	-	-
کرمانشاه	27/2	8/1	16	1/2	0/97	1/43	97	1/4	-	37
مشهد	13/6	8	27	0/79	0/13	1/5	-	-	-	-

مقایسه اعداد میانگین مقادیر فلزات سنگین کمپوست پسماند شهری خمین با مقادیر استاندارد ملی ایران (جدول 5) نشان می‌دهد که غلظت این فلزات در محدوده مجاز قرار داشتند، اما در مورد کمپوست کارخانه تهران، مقادیر غلظت سرب بیش از استاندارد ملی ایران بود. در حالی که مقدار سرب موجود در کمپوست تهران، کمتر از حاکثر مجاز استاندارد کشورهایی مانند کانادا، ایتالیا، دانمارک و آلمان می‌باشد که تفاوت این استانداردها به عوامل مختلفی اقلیم و نوع خاک برمی‌گردد.

13- اثرات مصرف کمپوست پسماند شهری بر افزایش عملکرد محصول

کودهای آلی و شیمیایی مکمل اثرات مثبت یکدیگر هستند و به هر دوی آن‌ها برای ایجاد شرایط ایده‌آل مناسب رشد گیاه نیاز است به گونه‌ای که تأمین تلفیقی عناصر غذایی با استفاده از کودهای شیمیایی و آلی کمبود مواد غذایی مورد نیاز گیاه را جبران کرده، حاصلخیزی خاک را حفظ کرده و تولید پایدار محصول را به همراه دارد و موجب افزایش بهره اقتصادی می‌شود (قلاوند، 2007). بر اساس تحقیقات انجام شده، تلفیق کودهای شیمیایی به همراه منابع آلی و بیولوژیک (مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک) نتایج مطلوبی در افزایش بازده تولید فرآورده‌های کشاورزی داشته که می‌تواند راهی به سوی کشاورزی پایدار باشد (بدران و صفوت، 2004). در حال حاضر برای توسعه کشاورزی پایدار، اجرای سیستم‌های کشاورزی با نهاده کافی به صورت تلفیق مصرف کودهای شیمیایی و آلی برای تولید محصول و حفظ عملکرد در سطح قابل قبول، راهکاری موثر است (شارما، 2003). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کودهای آلی با تولید هوموس، که شکل پایدار ماده آلی است، عوارض نامطلوب کودهای شیمیایی را کاهش داده و کارایی مصرف کودهای شیمیایی را افزایش می‌دهند (شاتا و همکاران، 2007).

عوارض نامطلوب مصرف درازمدت و بی‌رویه کودهای شیمیایی مدتهاست که ثابت شده است. یکی از مهم‌ترین آن‌ها، کاهش باروری خاک به دنبال از بین رفتن هوموس خاک است. کودهای آلی افزون بر نداشتن این عوارض نامطلوب، موجب افزایش هوموس خاک و نگهداری آن در سطحی مناسب می‌شوند. کودهای آلی تأثیر کودهای شیمیایی را در عمل تسهیل نموده و کارایی مصرف این کودها را افزایش می‌دهد (ژانگ و همکاران، 2006). از طرف دیگر، وجود اقلیم خشک در کشور، نداشتن تناوب صحیح زراعی، جمع‌آوری، سوزاندن و خارج کردن بقایای گیاهی از زمین زراعی، مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و مصرف نکردن کودهای آلی، موجب کاهش میزان مواد آلی خاک و در نتیجه کاهش حاصلخیزی خاک و کاهش عملکرد محصول شده است. از این‌رو برای حفظ خاک و بهبود ویژگی‌های فیزیکی آن و حفظ تعادل عوامل زیست‌محیطی، ضرورت مصرف مواد آلی و افزایش آن در خاک‌های کشور امری اجتناب‌ناپذیر است (سمر و همکاران 1377).

نتایج بسیاری از تحقیقات نشان می‌دهد که کمپوست پسماند شهری قابلیت کاربرد در اراضی کشاورزی را دارا است. مشخص شده است که کمپوست پسماند شهری به عنوان یک کود آلی مقرون به صرفه با توان مناسب و با ارزش، می‌تواند به عنوان جایگزینی مناسب بخشی از کودهای شیمیایی در کشاورزی پایدار و کشت آلی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار باشد (سومار و همکاران، 2003).

کمپوست کردن پسماند شهری یکی از راه‌های ارزان حقیقی است که می‌تواند مواد آلی را دوباره به چرخه طبیعت و تولید باز گرداند (ولکووسکی، 2003). استفاده از این کمپوست در اراضی کشاورزی، مصرف کودهای شیمیایی را به شدت کاهش می‌دهد (ژانگ و همکاران، 2006). از سوی دیگر، کمپوست کردن این بقایا، حجم پسماند شهری را به شدت کاهش می‌دهد، پاتوژن‌ها را از بین می‌برد و ویژگی فیزیکی خاک را بهبود می‌بخشد (جاکوبسن، 1995). این در حالی است که با گسترش کشاورزی ارگانیک، نیاز به کودهای آلی بیشتر حس می‌شود و کمپوست پسماند شهری می‌تواند بخشی از این نیاز را پوشش دهد (ایگلسیوس و همکاران، 1993). بر اساس مطالعات صورت گرفته، کمپوست پسماند شهری می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی مصرفی در پنبه باشد (سیکورا و همکاران، 1996). هم‌چنین، نتایج مطالعات درباره مصرف دو نوع کمپوست حاصل از ضایعات شهری و دیگری کمپوست لجن فاضلاب به میزان 50 تن در هکتار در زراعت پنبه نشان داده است که مصرف کمپوست حاصل از پسماند شهری عملکردی همانند مصرف کود نیترات آمونیوم دارد. نتایج این مطالعات بیانگر این مطلب است که مصرف کمپوست پسماند شهری سطح متعادلی از عناصر غذایی برای گیاه فراهم کرده، عملکرد را ارتقا بخشیده و محصولی بدون خطر آلودگی زیست‌محیطی تولید می‌کند (رودریچ و همکاران، 1996). کاربرد کمپوست پسماند شهری در زراعت پنبه موجب افزایش جوانه‌زنی بذر و افزایش ماده خشک تولید شده در مقایسه با تیمارهای بدون استفاده از کمپوست شد (مک‌کالوم و همکاران، 1998). در یونان نیز، بقایای زائد آلی و پسماند شهری بیش از 65 سال است که استفاده می‌شود. در یک آزمایش، کمپوست حاصل از پسماند شهری، لجن فاضلاب و زوائد کارخانه کاغذسازی در زراعت پنبه بررسی شد. استفاده از کمپوست حاصل از پسماند شهری ارتفاع بوته را 26 درصد و محصول وش را 22 درصد نسبت به سایر تیمارها افزایش معنی‌دار داد (باکوت و بریتنبک، 2003).

همچنین بالاترین عملکرد پنبه و گندم از مصرف کمپوست پسماند شهری همراه با کودهای شیمیایی به دست می‌آید (باکوت و بریتنبک، 2003). مطالعات صورت گرفته درباره کنترل آلودگی نیترات از راه مصرف کودهای کندرها و کمپوست در کشت پنبه نشان می‌دهد که مصرف کمپوست، کم‌ترین آلودگی نیتراته در افق‌های زیرین خاک را در مقایسه با کودهای شیمیایی داشت (دیس و همکاران، 1996). افزودن کمپوست پسماند شهری به خاک، باعث افزایش مقدار ماده آلی، عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در خاک می‌شود. همچنین نتایج مطالعات نشان می‌دهد که مصرف کمپوست پسماند شهری باعث کاهش معنی‌دار واکنش خاک می‌شود (ژلجازکوف و همکاران، 2006؛ شانموگان و وارمان، 2004؛ ژانگ و همکاران، 2006). برخی منابع گزارش کرده‌اند که کمپوست پسماند شهری باعث افزایش میزان نیترات خاک می‌شود و در سال نخست کاربرد کمپوست، حدود 10 درصد نیتروژن موجود در آن قابل دسترس خواهد بود (اریکسن و همکاران، 1999؛ ژانگ و همکاران، 2006). همچنین گزارش شده است که میزان فسفر موجود در کمپوست پسماند شهری برای رشد بیشتر گیاهان کافی است. یکی از علل آن کاهش تثبیت فسفر در خاک‌های زراعی است. برخی منابع نیز اشاره کرده‌اند که میزان فسفر محلول موجود در کمپوست با فسفر آزاد شده از کودهای شیمیایی برابری می‌کند (ایگل‌سیاس-جیمز و همکاران، 1993؛ زنگ و همکاران، 2006). نتایج یک مطالعه بلند مدت درباره کاربرد کمپوست پسماند شهری نشان می‌دهد که پتاسیم موجود در کمپوست به اندازه پتاسیم کودهای شیمیایی قابل دسترس و استفاده برای گیاه است (دی هان، 1981). همچنین نتایج مطالعات در خصوص آزادسازی پتاسیم از کمپوست پسماند شهری نشان می‌دهد که 30 تا 50 درصد پتاسیم موجود در کمپوست پسماند شهری برای گیاه قابل جذب است (سومار و همکاران، 2003). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که غلظت پتاسیم قابل جذب خاک، حتی در شرایطی که مقادیر کمی کمپوست پسماند شهری به خاک اضافه شد، افزایش یافته است (گیسکوئینی و همکاران، 1994).

لوکه و همکاران (2004) طرحی را در یک خاک لومی با $1/6$ درصد کربن آلی و $0/15$ درصد نیتروژن کل اجراء کردند. در این آزمایش نیاز غذایی گندم از نظر نیتروژن از سه منبع کود شیمیائی، کود دامی تازه و کود دامی کمپوست شده تامین شد. نتایج نشان دادند که در سال نخست، عملکرد دانه گندم در هر دو حالت کمپوست و کود تازه یکسان

بود ولی به طور معنی‌داری کمتر از کود شیمیایی بود. در سال دوم کاربرد پائیزه کمپوست و کود تازه مفیدتر از کاربرد بهاره واقع شد. افزون‌بر این تاثیر کمپوست به طور معنی‌داری بیشتر از کود دامی تازه بود. در این سال فقط کاربرد پائیزه کمپوست عملکردی مشابه سیستم شیمیایی تولید کرد و در دیگر سیستم‌ها یعنی کاربرد بهاره و پائیزه کود تازه و کاربرد بهاره کمپوست عملکرد دانه کمتر از سیستم شیمیایی بود.

اقبال و پاور (1999) اثرات کود دامی تازه، کمپوست کود دامی و کود شیمیایی و بقایای آن را بر عملکرد دانه گندم در سال‌های 1993 تا 1996 مطالعه کردند. این آزمایش در دانشگاه نبراسکا در یک خاک لوم رسی و در شرایط دیم انجام شد. نتایج نشان دادند که بین کاربرد کمپوست، کود دامی تازه و کود شیمیایی از نظر عملکرد دانه در طول چهار سال اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. اقبال و همکاران (2004) در ادامه آزمایش بالا، تأثیر بقایای کود دامی و شیمیایی را در فاصله سال‌های 1997 تا 1999 در شرایط آبیاری بر عملکرد گندم بررسی کردند. در طول این سه سال هیچ کود دامی به زمین داده نشد و فقط در تیمار کود شیمیایی در سال 1999 مقدار 151 کیلوگرم نیتروژن در هکتار به خاک اضافه شد. در سال 1997، بین تیمارهای کود دامی و شیمیایی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ولی نسبت به شاهد، تمام تیمارهای ذکر شده عملکرد بیشتری تولید کردند. در سال 1998 بین شاهد و تیمارهای کودی هیچ اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد دانه مشاهده نشد. در سال 1999 تمام تیمارهای کود دامی جدا از مصرف کمپوست در هر دو سال یکبار، عملکرد کمتر از سیستم شیمیایی تولید کردند. در این سال عملکرد دانه تیمار شاهد با سیستم‌های کود دامی یکسان بود. با وجود مصرف نکردن کود در تیمار شاهد عملکرد بالا بود (8/85 تن در هکتار). محققین دلیل این امر را بالا بودن درصد ماده آلی خاک (تقریباً 3/5 درصد) عنوان کردند.

در مطالعه‌ای وان لاو و همکاران (2001) مصرف تلفیقی کود شیمیایی و آلی را بر عملکرد گندم دیم در چهار منطقه بررسی کردند میانگین کربن آلی در چهار منطقه A، B، C و D به ترتیب 1/3، 0/79، 0/43 و 0/3 بود. میانگین بارندگی در فصل رشد در چهار منطقه A، B، C و D به ترتیب 249، 250، 450 و 790 میلی‌متر بود. در منطقه A هیچ اختلاف معنی‌داری بین کاربرد، شیمیایی، آلی و تلفیقی (50% آلی + 50% شیمیایی) کود

از نظر عملکرد دانه وجود نداشت. در منطقه B و C، عملکرد سیستم آلی به طور معنی‌داری کمتر از شیمیایی و تلفیقی بود. در منطقه D، عملکرد دانه سیستم تلفیقی و آلی هر دو کمتر از شیمیایی بود. در منطقه A، باوجود کمتر بودن نیتروژن قابل دسترس در تیمار آلی و تلفیقی، عملکرد مساوی و حتی بیشتر از تیمار شیمیایی بود که عامل آن بهبود آب قابل دسترسی خاک بود. در این آزمایش مصرف تلفیقی کود، کارایی مصرف نیتروژن کود شیمیایی را بالا برد. استفاده از این ماده اثرات متفاوتی روی خاک و گیاه دارد که در جدول 12 آورده شده است.

جدول 12- خلاصه نتایج تحقیقات تاثیر استفاده از کمپوست پسماند شهری بر خاک و گیاه (Hargreaves et al., 2008)

کشور	بافت خاک - EC PH	محصول	مقدار تن در هکتار	نتایج	منبع
فلسطین اشغالی تفکیک از مبدأ	شنی - 7/5 8/5	گندم	30	افزایش عملکرد - کاهش جذب فسفر، مطالعات گلخانه ای	بار تال و همکاران 2004
هند	رسی - 5/5 2/8	برنج	40	افزایش محصول - مطالعات گلخانه ای	باتاچاریا و همکاران 2003
ایتالیا	رسی - 8/3	-	12 - 24	افزایش فعالیت آنزیمی	سرچیو و همکاران 2001-2004
-	شنی - 6/4	ذرت	60	تثبیت حیاتی نیتروژن در سال اول	اریکسون و همکاران 1999
اسپانیا	لومی - شنی - 7 - 6/4	جو	20 - 80	افزایش متابولیسم بیولوژیک افزایش ظرفیت بافري	گارسبا و همکاران 2000-2004
ایتالیا	لومی شنی - 7/7	-	50	افزایش غلظت روی در خاک مطالعه گلخانه‌ای	گیسکوئینی و همکاران 1994
ایتالیا	لومی - رسی - 8/3	ذرت	30-90	افزایش فعالیت آنزیمی	گیسکوئینی و همکاران 1988
اسپانیا	لومی رسی شنی 10 - 6/1	ذرت	15 - 30-60	افزایش نگهداری رطوبت، PH، روی و مس - مطالعه گلخانه ای	هرناندو و همکاران 1989
اصفهان	لومی - رسی - 8 - 7/5	اسفناج	-60 - 80 0 - 20 - 40	افزایش محصول، افزایش جذب فسفر، منگنز، سرب، سدیم، کبر، مطالعات گلخانه ای	مفتون و همکاران 2004
فرانسه	لومی شنی	ذرت	90	نتایج سال به سال متغیر بوده است	ممو و همکاران 1999
کانادا تفکیک از مبدأ	لومی شنی - 5/8	سیب زمینی	30	افزایش PH، کمپوست فسفر را به اندازه کود فسفات تامین کرد	مبلا و وارمان 2005
کانادا تفکیک از مبدأ	لومی - شنی - 6/5	ذرت شیرین	20	افزایش PH، کمپوست فسفر را به اندازه کود فسفات تامین کرد	مبلا و وارمان 2005
ایتالیا	رسی - 7/4	یونجه	150	کربن آلی افزایش یافت	مونت مرو و همکاران 2006

ادامه جدول 12- خلاصه نتایج تحقیقات تاثیر استفاده از کمپوست پسماند شهری بر خاک و گیاه (Hargreaves et al., 2008)

کشور	بافت خاک - EC PH	محصول	مقدار تن در هکتار	نتایج	منبع
اسپانیا	لوم رسی شنی - 7/8	شیدر	100	افزایش نیتروژن، روی، مس، نیکل، کروم، در بافت گیاهی - مطالعات گلخانه ای	موریلو و کابرا 1997
کانادا	لومی - شنی - 4/55	توت فرنگی	30-70-140	افزایش منگنز در مقادیر بالا افزایش نیکل در مقادیر بالا	مورفی و وارمان 2001
-	لومی خیلی سنگریزه ای	گوجه فرنگی و کدو	24 - 48	افزایش کادمیوم خاک	ازرس و هاتلون 1997
اسپانیا	لوم رسی سیلتی - 1/8 - 7/8	-	65 - 260	افزایش تنفس خاک و بیو ماس	پاسکوش و همکاران 1999
-	لومی - رسی - 8/5	-	75	افزایش فسفر، گوگرد و نیتروژن خاک - مطالعه گلخانه ای	پروسی 1990
ایتالیا	لومی - 7/7	انگور	54	افزایش نیکل - سرب - کادیوم و کروم خاک، برگ انگور و حبه انگور	پینامونتی و همکاران 1999
کانادا	لومی شنی - 7/9	سیب زمینی	15	افزایش محصول - افزایش سرب، روی و مس در خاک	سیاستیا و همکاران 2000
کانادا	لومی شنی - 6	توت فرنگی	38	افزایش محصول و سدیم خاک	شانموگان و وارمان 2004
اسپانیا	لومی شنی - 9/5 - 8/3	ذرت	-80 - 120 0 - 40	افزایش EC، کربن آلی، نیتروژن کل خاک سرب، نیکل، مس، و افزایش جذب روی گیاه	والتر و همکاران 2006
کانادا	لومی شنی - 7/9	ذرت - سیب زمینی - کدو	6-12-18 ذرت 9-18-27 سیب زمینی 5-10 کدو	افزایش مس گیاه افزایش PH خاک	وارمان و رود 1998
آمریکا	لومی شنی - 5/4	ذرت	20-40-80	افزایش محصول تا 60 تن در هکتار - نیترات خاک در اثر مصرف کمپوست کاهش یافت	وو لکوفسکی 2003
کانادا	لومی شنی - 4/5	توت فرنگی	-70 - 140 30	افزایش پتاسیم خاک	وارمان و همکاران 2004
کانادا	لومی رسی سیلتی - 5/8	جو - گندم - کلزا	-100 - 200 50	آزاد سازی نیتروژن در 2 سال اول افزایش EC، pH، روی با افزایش مصرف	زنگ و همکاران 2006
ایران	لوم رسی	گندم	20	افزایش عملکرد، افزایش ماده آلی خاک، افزایش هدایت الکتریکی خاک	قاسمی و همکاران، 1394
ایران	لوم رسی	پنبه	20	افزایش عملکرد، افزایش ماده آلی خاک، افزایش هدایت الکتریکی خاک	سیلپسور، 1397
ایران	لوم رسی	گوجه فرنگی	20	افزایش عملکرد، افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک	سیلپسور، 1398
ایران	لوم رسی	اسفناج	10	افزایش عملکرد، افزایش نیترات	سیلپسور، 1398
ایران	لوم رسی	ذرت علوفه ای	20	افزایش عملکرد، افزایش ماده آلی خاک، افزایش هدایت الکتریکی خاک	سیلپسور، 1400

کمپوست پسماند شهری در دنیا به طور موفقیت آمیزی روی تعداد زیادی از محصولات کشاورزی استفاده شده است. در نگاه اول ارزش غذایی این کود اهمیت دارد، در حالی که با

عرضه این کود، افزون بر جنبه‌های غذایی بهبود شرایط فیزیکی خاک نیز ممکن می‌شود (مخابلا، 2005). تحقیقات انجام شده در وزارت کشاورزی آمریکا نشان می‌دهد که آزاد سازی نیتروژن در کمپوست به سرعت آزادسازی نیتروژن از کودهای شیمیایی نیست و در سال اول تنها 10 درصد این ماده آزاد می‌شود، زیرا در جریان کمپوست شدن، نیتروژن به صورت فرم‌های آلی ذخیره می‌شود. این مطلب راندمان بالاتر کاربرد نیتروژن در اثر استفاده از کمپوست زباله شهری خاطر نشان می‌سازد (ماهو و همکاران، 2000). بررسی‌های انجام شده درباره مصرف کمپوست در زراعت گندم نشان می‌دهد که کمپوست موجب افزایش جوانه‌زنی و ماده خشک تولیدی در مقایسه با تیمار بدون کمپوست شده است (مکالوم، 1998). نتایج تحقیقات دیگری نشان داد که کمپوست ناشی از لجن فاضلاب و کمپوست شهری می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی مصرف شده در بیشتر محصولات زراعی باشد (سیکورا، 1996).

نتایج تحقیقاتی که محققان مقادیر مختلف کمپوست (0، 25، 50، 100 تن در هکتار) را همراه با کود شیمیایی روی ویژگی‌های ری‌گراس¹ (*Lolium prenes*) مقایسه و نتایج نشان داد که مصرف همزمان کمپوست و کودهای شیمیایی بیشترین عملکرد ماده خشک را تولید می‌نماید. غلظت نیتروژن در ماده خشک به‌طور معنی‌داری با افزایش مصرف کمپوست افزایش یافت. مصرف کمپوست باعث شد غلظت عناصر کم‌مصرف مثل آهن، روی، منگنز و مس در بافت گیاهی افزایش یابد. همچنین مقادیر ماده آلی خاک و pH در اثر مصرف کمپوست افزایش یافت (سومار، 2003).

نتایج تحقیقات در خصوص مصرف زباله شهری گندم دوروم نشان داد که مصرف 60 تن در هکتار کمپوست زباله شهری باعث افزایش معنی‌دار در عملکرد و افزایش جذب نیتروژن در دانه گندم می‌شود. افزایش ماده آلی خاک و کاهش وزن مخصوص ظاهری، افزایش pH و افزایش قابلیت جذب عناصر کم مصرف از دیگر یافته‌های این تحقیق است (بافی، 2000). نتایج مطالعات در خصوص مصرف کمپوست و تأثیرات آن روی محصولات گندم، جو و کلزا نشان داد که بیشترین تأثیر کمپوست زباله شهری از مصرف 50 تن در هکتار کمپوست همراه با کودهای شیمیایی در یک خاک رسی بدست آمده است. میزان ماده آلی خاک،

¹ نوعی چمن

قابلیت جذب آهن، روی، منگنز، pH افزایش و وزن مخصوص ظاهری خاک کاهش معنی‌دار نشان داد (ژانگ و همکاران، 2006). نتایج یک مطالعات نشان داد که مصرف زباله شهری در اراضی کشاورزی باعث افزایش ماده آلی خاک و تأثیر در ویژگی‌های فیزیکی آن می‌شود (ماهو، 2000). نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که مصرف کمپوست زباله شهری باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک می‌شود. نتایج تحقیقات درباره تأثیر مصرف کمپوست زباله شهری روی محصولات چغندر، گوجه‌فرنگی، و گندم نشان داد که نتیجه مصرف کمپوست زباله شهری در این محصولات از ترکیب کمپوست و نیتروژن بود (مونت مورو، 2000).

14- اثر کمپوست زباله شهری بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

1-14- واکنش خاک

نتایج تحقیقات درباره مصرف سطوح مختلف کمپوست پسماند شهری در زراعت پنبه نشان داد که با مصرف کمپوست، واکنش خاک کاهش معنی‌دار نشان داد و از 7/45 به 7/23 کاهش یافت (سیلسپور، 1392) (شکل 5). این نتیجه مطابق با نتایج به‌دست آمده توسط دیگر محققان بود. نتایج تحقیقات نشان داد که کاربرد کمپوست در یک خاک آهکی با واکنش 7/4، موجب کاهش معنی‌دار واکنش خاک می‌شد (وارمان و رود، 1998). همچنین نتایج مطالعات نشان داد که مصرف کمپوست پسماند شهری باعث کاهش معنی‌دار واکنش خاک می‌شود (ژلجازکوف و همکاران، 2006؛ شانموگان و وارمان، 2004؛ ژانگ و همکاران، 2006).

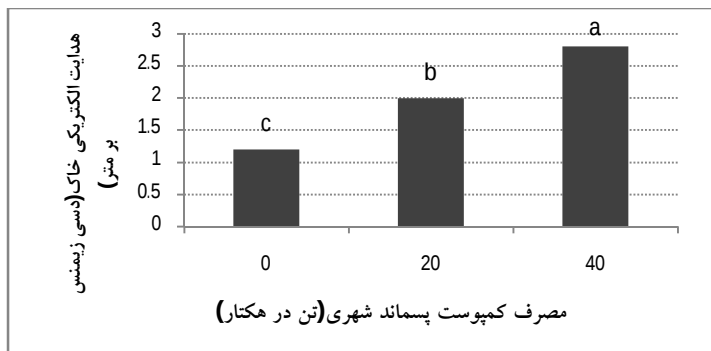


شکل 5- اثر کمپوست پسماند شهری بر کاهش واکنش خاک (سیلسپور، 1392)

2-14- هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک

نتایج یک تحقیق اجمالی روی کمپوست پسماند شهری تولید شده در آمریکا نشان داد که هدایت الکتریکی (EC) کمپوست پسماند شهری بسیار بیشتر از هدایت الکتریکی خاک‌های کشاورزی است و کاربرد کمپوست پسماند شهری در خاک به شکل موثری هدایت الکتریکی خاک¹ (EC) را افزایش داد (هی و همکاران، 1992). نتایج مطالعات دیگر محققان نیز افزایش هدایت الکتریکی خاک (EC) بر اثر کاربرد کمپوست پسماند شهری را تایید می‌کرد (ایگلسیاس - جیمنز و همکاران، 1993). در ایران نیز نتایج تحقیقات نشان داد که با مصرف کمپوست زباله شهری تولیدی کارخانه تولید کمپوست تهران، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک افزایش معنی‌دار نشان داد و از $1/2$ به $2/8$ افزایش یافت (سیل‌سپور، 1392) (شکل 6). دلیل افزایش میزان هدایت الکتریکی در اثر مصرف کمپوست به عوامل گوناگون بستگی دارد. از جمله دلایل احتمالی آن می‌توان به افزایش میزان سدیم و کلر در خاک اشاره نمود. نتایج یک تحقیق اجمالی بر انواع کمپوست پسماند شهری تولید شده در آمریکا نشان داد که کاربرد کمپوست در خاک می‌تواند به‌طور موثری شوری منجر به افزایش غلظت سدیم در خاک شد (زجاجوف و همکاران، 2006؛ شانموگان و وارمان، 2004). نتایج دیگر تحقیقات نیز افزایش هدایت الکتریکی خاک بر اثر کاربرد کمپوست را تایید کردند (ایگلسیوس - جیمنز و همکاران، 1993). گزارش شده که محتوای سدیم برگ اسفناج در اثر کاربرد کمپوست پسماند شهری افزایش یافته است (مفتون و همکاران، 2004). با این وجود، گزارش شده که با گذشت زمان از مصرف کمپوست، افزایش شوری حاصله به تدریج از بین می‌رود. یعنی پس از افزایش شوری در اثر کاربرد کمپوست، به‌دلیل جذب عناصر غذایی توسط گیاه و آب‌شویی پروفیل خاک، رفته‌رفته شوری خاک به حالت عادی بر می‌گردد (ژانگ و همکاران، 2006). برخی منابع نیز محدود شدن رشد گیاه بر اثر افزایش شوری حاصل از کاربرد کمپوست را گزارش کردند (هارگری واز و همکاران، 2008).

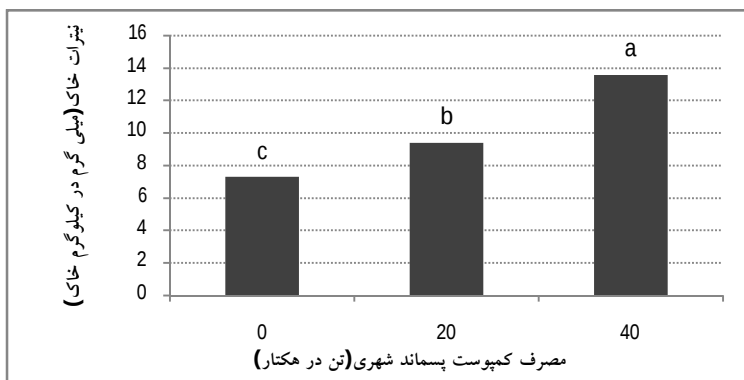
¹ Electrical Conductivity



شکل 6- اثر کمپوست پسماند شهری بر کاهش هدایت الکتریکی خاک (سیلیسپور، 1392)

3-14- غلظت نیترات خاک

با افزایش میزان مصرف کمپوست، بر میزان نیترات خاک افزوده می‌شود (سیلیسپور، 1392) (شکل 7). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که مصرف کمپوست در کشت پنبه باعث افزایش معنی‌دار نیترات افق‌های زیرین خاک در مقایسه با شاهد شده است (دیس و همکاران، 1996) گزارش شده که مصرف کمپوست اثر قابل توجهی در افزایش میزان نیترات خاک و نیز نیتروژن در گیاه داشته است (هی و همکاران، 1992؛ سومار و همکاران، 2003).



شکل 7- اثر کمپوست پسماند شهری بر غلظت نیترات خاک (سیلیسپور، 1392)

14-4- محتوای کربن آلی خاک

نتایج کاربرد مقادیر مختلف کمپوست زباله شهری در زراعت پنبه نشان داد که کمپوست، باعث افزایش کربن آلی خاک می‌شود (سیلسپور، 1392) (شکل 8). نتایج دیگر مطالعات نیز نشان داد که مصرف کمپوست پسماند شهری در اراضی کشاورزی باعث افزایش ماده آلی و ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌شود (ماهو و همکاران، 2000). هم‌چنین نتایج به‌دست آمده توسط دیگر محققان نشان داد که کاربرد پی در پی کمپوست شهری، مواد آلی خاک را افزایش می‌دهد (سرچیو و همکاران، 2004؛ مونتمریو و همکاران، 2006؛ والتر و همکاران، 2006).

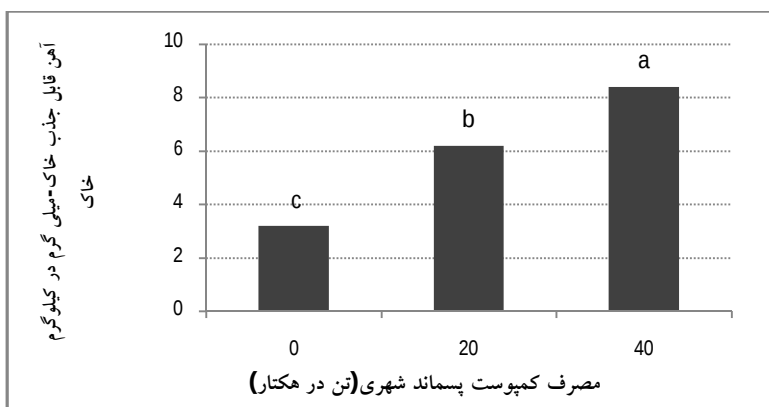


شکل 8- اثر کمپوست زباله شهری بر محتوای کربن آلی خاک (سیلسپور، 1392)

14-5- آهن قابل جذب خاک

نتایج مطالعات درباره مصرف کمپوست و اثر آن روی غلظت آهن خاک نشان داد که به‌دلیل وجود ترکیبات کلات‌کننده در ترکیب کمپوست پسماند شهری، غلظت آهن در خاک افزایش چشمگیری می‌یابد که بیش‌ترین تأثیر از مصرف 50 تن در هکتار کمپوست پسماند شهری در یک خاک رسی به‌دست آمد (ژانگ و همکاران، 2006؛ هرناندو و همکاران، 1989). از طرف دیگر کاهش pH خاک نیز نقش مهمی در افزایش قابلیت جذب آهن خاک دارد (زلجازکوف و وارمان، 2004). نتایج دیگر تحقیقات نیز بیانگر افزایش غلظت آهن قابل جذب خاک با مصرف کمپوست پسماند شهری بوده است (جالاردولارا و همکاران،

(2006). نتایج کاربرد مقادیر مختلف کمپوست زباله شهری در زراعت گندم نشان داد که کمپوست، باعث افزایش آهن قابل جذب خاک می‌شود (سیلیسپور، 1392) (شکل 9).



شکل 9- اثر کمپوست زباله شهری بر غلظت آهن قابل جذب خاک (سیلیسپور، 1392)

14-6- روی قابل جذب خاک

نتایج یک تحقیق نشان داده است که مصرف کمپوست زباله شهری باعث افزایش معنی‌دار روی قابل جذب خاک شد و مقدار آن را از 0/52 میلی‌گرم در کیلوگرم به 1/45 میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش داد (سیلیسپور، 1392) (شکل 10). نتایج مطالعات درباره مصرف کمپوست و تأثیر آن بر غلظت روی خاک نشان داد که به دلیل وجود ترکیبات کلات‌کننده در ترکیب کمپوست پسماند شهری، غلظت روی در خاک و برگ پنبه افزایش چشم‌گیری داشته است، و بیش‌ترین تأثیر از مصرف 50 تن در هکتار کمپوست پسماند شهری در یک خاک رسی به‌دست آمد (والتر و همکاران، 2006). از سوی دیگر کاهش pH خاک نیز نقش مهمی در افزایش قابلیت جذب روی خاک دارد (ژانگ و همکاران، 2006). نتایج به دست آمده از دیگر محققان نیز نشان‌دهنده افزایش روی قابل جذب خاک با مصرف کمپوست پسماند شهری بوده است (هی و ترینا، 1995).



شکل 10- اثر کمپوست زباله شهری بر غلظت روى قابل جذب خاک (سیلِسپور، 1392)

15- اثر کاربرد کمپوست پسماند شهری بر افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک

نکته مهم درباره مصرف کمپوست شهری، امکان وجود فلزات سنگین در خاک و محصولات کشاورزی است، سرچیو و همکاران (2001) تحقیقاتی که در شش سال با مصرف کمپوست بر روى تناوب گندم، گندم و چغندر قند انجام شد نشان داد که عنصر روى در دانه گندم و عنصر مس در چغندر قند افزایش می‌یابد. با این حال عناصری مانند کادمیوم، کروم و نیکل افزایش نشان نداده است. در آزمایشی با مصرف سه سطح کود نیتروژن 0، 60 و 120 (کیلوگرم در هکتار) و مصرف سه سطح کمپوست شهری 0، 25 و 50 (تن در هکتار)، نتایج نشان داد میزان سرب کل و میزان قابل جذب مس، روى و آهن در خاک محل کشت پس از دو مرحله اعمال تیمارهای کود کمپوست، به طور معنی‌داری افزایش نشان داد (مرجوی، 1379).

15-1- محتوای کادمیوم خاک

در یک مطالعه مزرعه‌ای، اثر کاربرد کمپوست پسماند شهری کارخانه تهران بر محتوای کادمیوم خاک در زراعت اسفناج بررسی شد. غلظت کادمیوم در کمپوست پسماند شهری 20 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که براساس استاندارد ملی ایران بیشتر از بیشینه مجاز غلظت کادمیوم در کمپوست بود، نتایج نشان داد که در اثر مصرف کمپوست، غلظت کادمیوم در

خاک افزایش یافت و از 0/07 میلی گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد به 0/37 میلی گرم در کیلوگرم رسید (سیلسپور، 1392- ب) (شکل 11). این میزان کادمیوم، فاصله زیادی تا بیشینه غلظت مجاز کادمیوم در خاک (3 میلی گرم در کیلوگرم) داشت (صلحی و همکاران، 1384). نتایج تحقیقات دیگر محققان نیز نشان دهنده‌ی افزایش این عنصر در اثر مصرف کمپوست زباله شهری بود. به عنوان نمونه در اثر اضافه کردن کمپوست زباله شهری در یک خاک آهکی در چین، افزایش غلظت کادمیوم خاک مشاهده شد (ژانگ و همکاران، 2006). از آنجایی که فلزات سنگین در خاک اثر تجمعی دارند، در اثر استمرار مصرف کمپوست پسماند شهری در خاک، تجمع کادمیوم در خاک به بیشینه مجاز خواهد رسید. از این رو مطالعات بیشتری لازم است تا بیشینه مصرف مجاز این ماده را در خاک مشخص نماید.



شکل 11- اثر کمپوست پسماند شهری بر غلظت کادمیوم خاک (سیلسپور، 1392)

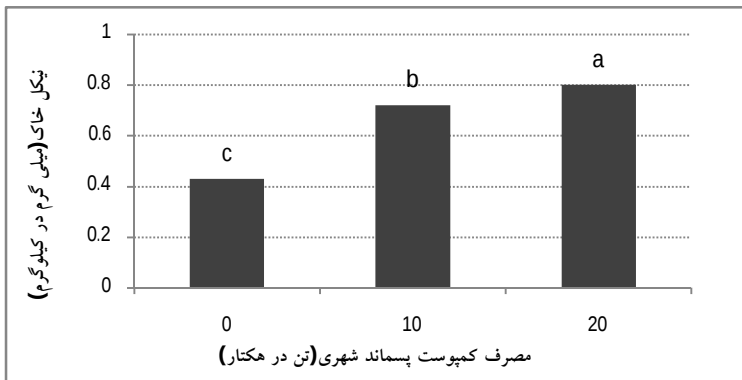
15-2- غلظت نیکل خاک

سیلسپور (1392- ب) در یک تحقیق مزرعه‌ای، اثر مصرف کمپوست پسماند شهری تهران را بر محتوای نیکل خاک در زراعت اسفناج بررسی کرد. غلظت نیکل در این کمپوست 32 میلی گرم بر کیلوگرم بود که طبق استاندارد ملی ایران (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، 1389) کمتر از بیشینه مجاز (120 میلی گرم در کیلوگرم) بود (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، 1389). نتایج نشان داد که در اثر مصرف 20

تن در هکتار کمپوست شهری، غلظت نیکل در خاک افزایش یافت و از 0/43 میلی گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد به 0/8 میلی گرم در کیلوگرم رسید (شکل 12).

هرچند تفاوت زیادی بین غلظت بیشینه مجاز نیکل در خاک و غلظت نیکل حاصل از کاربرد 10 تن در هکتار کمپوست پسماند شهری وجود دارد، و به نظر وضعیت نگران کننده‌ای در خصوص افزایش محتوای نیکل خاک در اثر مصرف کمپوست پسماند شهری وجود ندارد، اما مطالعات تکمیلی در این خصوص ضروری است.

این میزان نیکل، فاصله زیادی تا بیشینه غلظت مجاز نیکل در خاک (10 میلی گرم در کیلوگرم) دارد (صلحی و همکاران، 1384). نتایج تحقیقات دیگر محققان نیز بر افزایش غلظت این عنصر با مصرف کمپوست زباله شهری اشاره دارد. به عنوان نمونه در اثر اضافه کردن کمپوست زباله شهری به خاک در استرالیا، افزایش غلظت نیکل خاک مشاهده شد (وارمان و همکاران، 2004).



شکل 12- اثر کمپوست پسماند شهری بر غلظت نیکل خاک (سیلِسپور، 1392)

3-15- غلظت سرب خاک

نتایج تحقیقات مزرعه‌ای در خصوص اثر کاربرد کمپوست پسماند شهری کارخانه کمپوست تهران بر محتوای سرب خاک در زراعت اسفناج نشان داد که غلظت سرب در کمپوست پسماند شهری کارخانه کمپوست تهران، 1/8 میلی گرم بر کیلوگرم است که کمتر از بیشینه مجاز غلظت سرب (200 میلی گرم در کیلوگرم) در کمپوست طبق استاندارد ملی

ایران است (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، 1389). نتایج این تحقیق نشان داد که در اثر مصرف کمپوست پسماند شهری، غلظت سرب در خاک افزایش داشته و از 2 میلی گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد به 5/7 میلی گرم در کیلوگرم رسیده است (سیلسپور، 1392-ب) (شکل 13). هر چند این مقدار سرب خاک، فاصله زیادی تا حداکثر مجاز غلظت سرب در خاک (15 میلی گرم در کیلوگرم) فاصله داشت (صلحی و همکاران، 1384)، اما نتایج تحقیقات نشان داده است که عنصر سرب یکی از مهمترین آلاینده‌های کمپوست زباله می باشد (وارمان و شان، 2004) و در اثر کاربرد این نوع کمپوست، شاهد افزایش غلظت سرب در خاک خواهیم بود. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که افزایش غلظت سرب خاک در اثر کاربرد کمپوست پسماند شهری از مهم‌ترین عوامل محدودکننده مصرف این ماده است.

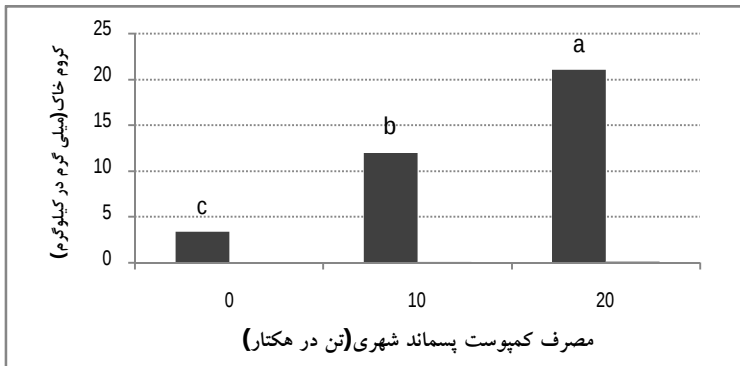


شکل 13- اثر کمپوست زباله شهری بر غلظت سرب خاک (سیلسپور، 1392)

15-4- غلظت کروم خاک

نتایج مطالعه مزرعه‌ای در خصوص ارزیابی کمپوست پسماند شهری در زراعت اسفناج نشان داد که غلظت کروم در کمپوست پسماند شهری 84 میلی گرم بر کیلوگرم بوده است که کمتر از بیشینه مجاز غلظت کروم (150 میلی گرم در کیلوگرم) در کمپوست طبق استاندارد ملی ایران است (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، 1389). در اثر مصرف 20 تن در هکتار کمپوست پسماند شهری، غلظت کروم در خاک افزایش داشت و از

3/4 میلی گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد به 21/3 میلی گرم در کیلوگرم رسید (سیلسپور، 1392-ب) (شکل 14). این میزان کروم خاک، بیشتر از بیشینه مجاز غلظت کروم در خاک (15 میلی گرم در کیلوگرم) بود (صلحی و همکاران، 1384). نتایج دیگر محققین نیز نشان‌دهنده افزایش کروم خاک با مصرف کمپوست پسماند شهری بوده است (پینامونتی و همکاران، 1999).



شکل 14- اثر کمپوست پسماند شهری بر محتوای کروم خاک (سیلسپور، 1392)

16- اثر کمپوست پسماند شهری بر جذب فلزات سنگین در محصول

16-1- غلظت کادمیوم در محصول

نتایج یک تحقیق درباره استفاده از کمپوست پسماند شهری در زراعت اسفناج نشان داد که در اثر مصرف 20 تن در هکتار کمپوست زباله، غلظت کادمیوم در محصول اسفناج افزایش یافت و از 0/02 میلی گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد به 0/16 میلی گرم در کیلوگرم رسید (سیلسپور، 1392-ب) (شکل 15). این میزان کادمیوم بیشتر از حداکثر غلظت مجاز (0/1 میلی گرم در کیلوگرم) بود (صلحی و همکاران، 1384). از این رو مصرف کمپوست در این سطح برای افزایش جذب کادمیوم در محصول توصیه نمی‌شود.



شکل 15- اثر کمپوست پسماند شهری بر غلظت کادمیوم محصول (سیلسپور، 1392)

2-16- غلظت نیکل در محصول

نتایج ارزیابی مزرعه ای کاربرد کمپوست پسماند شهری در زراعت اسفناج نشان داد که در اثر مصرف کمپوست، غلظت نیکل در محصول اسفناج افزایش داشته و از 0/029 میلی گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد به 0/115 میلی گرم در کیلوگرم رسید (سیلسپور، 1392- ب) (شکل 16). این مقدار نیکل در محصول، بیش از بیشینه مجاز در محصول اسفناج (0/1 میلی گرم در کیلوگرم) بود (صلحی و همکاران، 1384). از این رو مصرف کمپوست در این سطح به علت افزایش جذب نیکل در گیاه توصیه نمی شود.



شکل 16- اثر کمپوست زباله شهری بر غلظت نیکل در محصول اسفناج (سیلسپور، 1392)

3-16- غلظت سرب در محصول

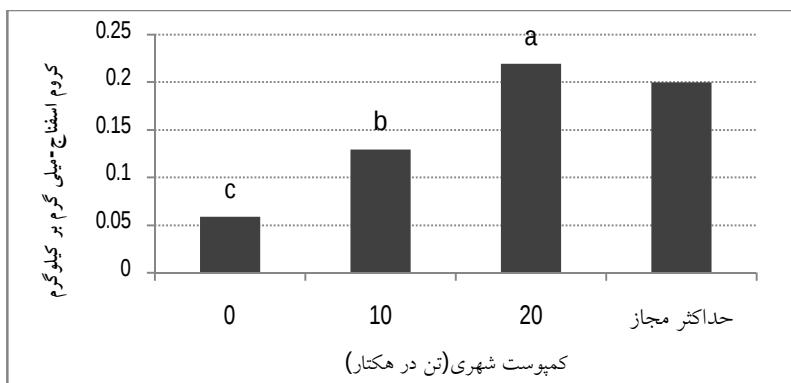
نتایج تحقیقات کاربرد کمپوست پسماند شهری در زراعت اسفناج نشان داد که در اثر مصرف کمپوست پسماند شهری، غلظت سرب در محصول اسفناج افزایش یافته و از 0/014 میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد به 0/080 میلی‌گرم در کیلوگرم رسید (سیلسپور، 1392- ب) (شکل 17). این غلظت سرب، فاصله زیادی تا بیشینه مجاز در محصول اسفناج (0/2 میلی‌گرم در کیلوگرم) داشت (صلحی و همکاران، 1384).



شکل 17- اثر کمپوست پسماند شهری بر غلظت سرب در محصول اسفناج (سیلسپور، 1392)

4-16- غلظت کروم در محصول

نتایج تحقیق درباره استفاده از کمپوست پسماند شهری در زراعت اسفناج نشان داد که در اثر مصرف 20 تن در هکتار کمپوست، غلظت کروم در محصول اسفناج افزایش داشت. غلظت کروم از 0/059 میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد به 0/222 میلی‌گرم در کیلوگرم رسید (سیلسپور، 1392- ب) (شکل 18) که کمی بیش از بیشینه مجاز در محصول اسفناج (0/2 میلی‌گرم در کیلوگرم) بود (صلحی و همکاران، 1384).



شکل 18- اثر کمپوست پسماند شهری بر غلظت سرب محصول اسفناج (سیلِسپور، 1392)

17- نتیجه‌گیری

با توجه به روند رو به رشد جوامع و همچنین افزایش زباله‌های شهری، آن چه بیش از پیش اهمیت دارد بازیافت و دفع اصولی زباله شهری است. فرایند بازیافت مواد و تولید کمپوست به عنوان یک ابزار کاربردی هم کاهش آلودگی‌های زیست محیطی را موجب می‌شود و هم امکان استفاده دوباره از مواد زائد به خصوص زباله شهری را فراهم می‌آورد. یکی از مواردی که در هنگام کاربرد کمپوست باید به آن توجه ویژه شود، وجود فلزات سنگین در پسماندهای آلی است. کمپوست‌های بدون مجوز دفتر ثبت کودی موسسه خاک و آب ممکن است دارای مقادیر نسبتاً زیادی عناصر سنگین مانند کادمیوم، سرب و مس باشند. تحقیقات نشان داده است که استفاده دراز مدت از کمپوست دارای غلظت‌های زیاد فلزات سنگین، موجب تجمع عناصری مانند کادمیم و سرب و دیگر عناصر سمی در خاک می‌شود. حد سمیت سرب در گیاهان مختلف متفاوت بوده و می‌تواند وضع به نسبت خطرناکی ایجاد کند. زیرا امکان دارد که گیاه در مقادیری از سرب که برای مصرف انسان خطرناک است ظاهری سالم داشته باشد، از این رو لازم است به مصرف کمپوست زباله شهری در خاک از دیدگاه آلاینده‌گی خاک توجه کافی شود. عنصر کادمیم باعث ایجاد فشار خون بالا و بیماری‌های عروقی می‌شود. کادمیم به راحتی جذب سطحی ذرات خاک شده و در غلظت‌های کم جذب ترجیحی دارد. برخی از گزارش‌ها نشان می‌دهد، حتی اگر پسماندهای آلی دارای غلظت کم عناصر سنگین باشند، هنگامی که به

خاک افزوده می‌شوند، در اثر تغییراتی که در خواص شیمیایی خاک ایجاد می‌کنند، - از جمله ایجاد تغییر در pH خاک، تولید اسیدهای آلی و تولید کی‌لیت‌ها- باعث افزایش حلالیت عناصر سنگین در خاک می‌شوند، عواملی که باعث افزایش حلالیت فلزات سنگین در خاک تیمار شده با مواد آلی می‌شوند، ممکن است افزایش جذب به وسیله گیاه و آب‌شویی آن‌ها در خاک را نیز موجب شوند.

18- پیشنهادات

- پیشنهاد می‌شود به‌منظور افزایش کیفیت کمپوست تولیدی و کاهش آلاینده‌ها در محصول نهایی، در فرایند تولید کمپوست زباله شهری، جداسازی و تفکیک زباله از مبدا صورت پذیرد.
- به دلیل احتمال وجود فلزات سنگین در کمپوست زباله شهری و پتانسیل جذب و انباشت فلزات سنگین توسط گونه‌های مختلف محصولات سبزی و صیفی، پیشنهاد می‌شود از کمپوست زباله شهری استفاده نشود.
- در مزارعی که محصول خوراکی کشت نمی‌شود، مثل پنبه، کنف و چوب، استفاده از کمپوست زباله شهری با رعایت مقدار حداکثر مجاز افزایش سالیانه فلزات سنگین به خاک، بلامانع است.
- پایش غلظت فلزات سنگین در خاک مزارع پس از مصرف کمپوست پسماند شهری ضروری است.

19- منابع

- بی نام، 1386. کمپوست، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد شماره 10716. تهران، ایران.
- پاداش، ا. و وجوزی، س.ع، 1386. استراتژی محلی در مدیریت مواد زائد جامد و پسماندها. مطالعه موردی کشورهای انگلیس و آلمان. سومین همایش ملی روز پاک. مدیریت پسماند و جایگاه آن در برنامه ریزی شهری، تهران.
- پرورش، ع. و حیدریان، ن. 1385. اهمیت و جایگاه استانداردهای کمپوست در صنعت کمپوست سازی، نهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، اصفهان.
- ترابیان، ع. و مهجوری، م. 1380. بررسی اثرات زیست‌محیطی استفاده از کودهای کمپوست در ایران، محیط‌شناسی، دوره 27، شماره 28.
- حسین زاده، ح. و صفری، ا. 1385. تحلیل کیفیت کمپوست حاصل از زباله شهری تهران از نظر میزان فلزات در مقایسه با استانداردهای سایر کشورها، اولین همایش تخصصی مهندسی محیط‌زیست.
- رساپور، م. 1386. مقایسه انواع مختلف سیستم‌های تولیدی کمپوست و نحوه کارکرد آنها. سومین همایش ملی مدیریت پسماند، تهران.
- سیلسپور، م. 1397. ارزیابی مزرعه‌ای کمپوست پسماند شهری و نیتروژن بر عملکرد و خصوصیات کیفی پنبه و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک، پژوهش‌های پنبه ایران، 6(2)، 95-116.
- سیلسپور، م. 1398. بررسی اثرات کاربرد کمپوست پسماند شهری و نیتروژن بر عملکرد و غلظت فلزات سنگین در خاک و میوه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*). نشریه تغذیه گیاهان باغی، 12(1)، 164-182.
- سیلسپور، م. 1400. ارزیابی مزرعه‌ای کاربرد کمپوست پسماند شهری و نیتروژن بر عملکرد ذرت علوفه‌ای و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، به زراعی کشاورزی، 23(3)، 271-284.

سیل‌سپور، م. 1379. امکان‌سنجی استفاده از کمپوست حاصل از زباله شهری در زراعت گندم. خلاصه مقالات دومین همایش ملی استفاده بهینه از کود و سم در کشاورزی. بهمن 1379. کرج. صفحه 126-127. سیل‌سپور، م. 1388. کمپوست زباله شهری و استانداردهای فلزات سنگین در آن. کشاورزی و توسعه پایدار. شماره 34، تهران، ایران.

سیل‌سپور، م. 1392. بررسی و تعیین اثرات کمپوست زباله و نیتروژن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و خصوصیات کمی و کیفی گندم. گزارش نهایی. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

سیل‌سپور، م. 1392. بررسی و تعیین اثرات کمپوست زباله و نیتروژن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و خصوصیات کمی و کیفی اسفناج. گزارش نهایی. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

سیل‌سپور، م. 1398. اثر کاربرد کمپوست پسماند شهری و نیتروژن بر عملکرد و غلظت فلزات سنگین در خاک و اندام هوایی اسفناج (*Spinacea oleracea L.*). تغذیه گیاهان باغی. 2(2). 191-174.

سیل‌سپور، م. 1390. کمپوست زباله شهری و استانداردهای آن. کشاورزی پایدار و توسعه. شماره 34-35. صفحه 18-23.

صادق‌پور، ا.ح. 1393. بررسی تاثیر سالخوردگی بر رفتار مقاومت برشی زباله‌های جامد شهری. رساله دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران، ایران، تهران.

صلحی، م.، ملکوتی، م. ج. و سعادت، س. 1384. پراکنش و غلظت مجاز فلزات سنگین در چرخه حیات. نشریه فنی شماره 470. موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

عبدلی، م. 1372. سیستم مدیریت مواد زائد جامد شهری و روش‌های کنترل آن. سازمان بازیافت شهرداری تهران، تهران، ایران.

عمرانی، ق.ع. 1377. مواد زائد جامد، جلد دوم، مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

فتائی، ا. 1385. مقدمه‌ای بر مدیریت مواد زائد جامد. اردبیل، انتشارات مهد تمدن.

فرزادکیا، م.، صالحی، س.، عامری، ا و نبی‌زاده، ر. 1388. بررسی کیفی و مقایسه کمپوست تولیدی در کارخانه‌های کمپوست خمین و تهران. مجله سلامت و محیط. انجمن علمی بهداشت محیط ایران. دوره 2، شماره 3.

قاسمی، م.، ع.، سیلسپور، م. و نصری، م. 1394. بررسی مصرف کمپوست زباله شهری همراه با نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم آبی. پژوهش‌های زراعی در حاشیه کویر. 12(3). 220-211.

کریمیان، ن.ع. 1371. شیمی خاک. مرکز نشر دانشگاهی. تهران، ایران.
کسرای، ر. 1372. چکیده‌ای درباره علم تغذیه گیاهی. انتشارات دانشگاه تبریز.

Badran, F.S. and Safwat, M.S. 2004. Response of fennel plants to organic manure and bio-fertilizers in replacement of chemical fertilization. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 82: 247-256.

Baffi, C., Convertini, G., Silva, S., Montemurro, F., Figliolia, A., Re AAM del (ed.), Fusi P (ed.), Izzo, R (ed.), Nannipieri, P (ed.), Navari Izzo, F (ed.), Pinton, R (ed.), Trevisan, M (ed.) and Varanini, Z. 2000. Use of MSW compost as amendment on wheat: effects on yield, quality and content of heavy metals in crop and soil.. *Atti XVII Convegno Nazionale della Societa Italiana di Chimica Agraria*, Portoferraio. Italy. 29-September 1 October 1999- 2000.

Bar-Tal, A., Yermiyahu, U., Beraud, J., Keinan, M., Rosenberg, R., Zohar, D., Rosen, V. and Fine, P. 2004. Nitrogen, phosphorus, and potassium uptake by wheat and their distribution following successive, annual compost applications. *J. Environ. Qual.* 33, 1855–1865.

Bhattacharyya, P., Chakrabarti, K. and Chakraborty, A. 2003a. Effect of MSW compost on microbiological and biochemical soil quality indicators. *Compost Sci. Util.* 11 (3), 220–227.

Bhattacharyya, P., Chakraborty, A., Bhattacharya, B. and Chakrabarti, K. 2003b. Evaluation of MSW compost as a component of integrated nutrient management in wetland rice. *Compost Sci. Util.* 11 (4), 343–350.

Bidlingmeier, W. and Barth, J. 1993. Anforderungsprofile für Kompost in europäischen Vergleich.(Profile of standards for compost in European lands) in: *Biological Waste Handling- Compost, Anaerobic Treatment and Cold-Pretreatment* 1112pp. University of Kassel MIC Baeza Verlag.

- Boquet, D.J. and Breitenbeck, G.A. 2003. Beneficial use of municipal, industrial and agricultural waste in cotton production, World Cotton Research Conference, September 6 – 12, Athens, Greece.
- Briton, W.F. 2000. Compost quality standards and guidelines. Final report. Woods End Research Laboratory, Inc., USA.
- Cariny, T. 1995. The re-use of contaminated land. John Wiely and Sons Ltd. Publisher. pp. 219.
- Cercchio, C., Curci, M., Pizzigallo, M., Ricciuti, P. and Ruggiero, P. 2004. Effects of municipal solid waste compost amendments on soil enzyme activities and bacterial genetic diversity. *Soil Biol. Biochem.* 36, 1595-1605.
- Crecchio, C., Curci, M., Mininni, R., Ricciuti, P. and Ruggiero, P. 2001. Short-term effects of municipal solid waste compost amendments on soil carbon and nitrogen content, some enzyme activities and genetic diversity. *Biol. Fert. Soils* 34, 311–318.
- Crecchio, C., Curci, M., Pizzigallo, M., Ricciuti, P. and Ruggiero, P. 2004. Effects of municipal solid waste compost amendments on soil enzyme activities and bacterial genetic diversity. *Soil Biol. Biochem.* 36, 1595–1605.
- DeHaan, S. 1981. Results of municipal waste compost research over more than fifty years at the Institute for Soil Fertility at Haren/Groningen, the Netherlands. *Neth. J. Agric.* 29, 49–61.
- Dies, J.A., Cabalero, R. and Bustus, A. 1996. Control of nitrate pollution by application of controlled release fertilizer, copmost and an optimized irrigation system. *Fertilizers and the environment. International symposium held in Salamanka, Spain, 26-29 September.* 191-195.
- Eghball, B and Power, J.F. 1999b. Phosphorus-and nitrogen-based manure and compost application; corn production and soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. of American J.* 63: 895-901.
- Eghball, B., Ginting, D and Gilley, J.E. 2004. Residual effects of manure and compost application on corn production and soil properties. *Agron. J.* 96: 442-447.
- Eriksen, G., Coale, F. and Bollero, G. 1999. Soil nitrogen dynamics and maize production in municipal solid waste amended soil. *Agron. J.* 91, 1009–1016.
- Eriksen, G., Coale, F. and Bollero, G. 1999. Soil nitrogen dynamics and maize production in municipal solid waste amended soil. *Agron. J.* 91, 1009–1016.

- Fricke, K and Vogtmann, H. 1994. Compost quality: Physical characteristics, nutrient content, heavy metals and organic chemicals. Toxicological and Environmental chemistry. Vol: 43 Issue 1-2.
- Gallardo-Lara, F., Azcon, M. and Polo, A. 2006. Phytoavailability and fractions of iron and manganese in calcareous soil amended with composted urban waste. J. Environ. Sci. Health B 41, 1187–1201.
- Garcia-Gil, J.C., Ceppi, S., Velasca, M., Polo, A. and Senesi, N. 2004. Long-term effects of amendment with municipal solid waste compost on the elemental and acid functional group composition and pH-buffer capacity of soil humic acid. Geoderma 121, 135–142.
- Garcia-Gomez, A., Bernal, M. and Roig, A. 2003. Carbon mineralisation and plant growth in soil amended with compost samples at different degrees of maturity. Waste Manag. Res. 21, 161–171.
- Gau, F., Basta, N.T. and Ram, W.R. 1997. Wheat grain cadmium as effected by long term fertilization and soil acidity. J. Environ. Qual. 26. 265-271.
- Ghalavand, A., Hamidi, A., Malakooti, M. G., Asgharzadeh, A. and Chogun, R. 2007. Application of biofertilizers. Proceeding of the 9th Iranian Congress of Agronomy and Plant Breeding. 27-29 August, Karaj, Iran. pp: 200-225, (In Persian).
- Giusquiani, P., Marucchini, C. and Businelli, M. 1988. Chemical properties of soils amended with compost of urban waste. Plant Soil 109, 73–78.
- Giusquiani, P.L., Gigliotti, G. and Businelli, D. 1994. Long-term effects of heavy metals from composted municipal waste on some enzyme activities in a cultivated soil. Biol. Fertil. Soils 17, 257–262.
- Hargreaves, J.C., Adl, M.S. and Warman, P.R. 2008 review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment 123, 1–14.
- Hargreaves, J.C., Adi, M.S. and Warman, P.R. 2008. The effects of organic and conventional nutrient amendments on strawberry cultivation – Fruit yield and quality. Sci food Agric., 88: 2669-2675.
- He, X., Logan, T. and Traina, S. 1995. Physical and Chemical characteristics of selected U.S. municipal solid waste compost. J. Environ Qual. 24: 543-552.
- He, X., Traina, S. and Logan, T. 1992. Chemical properties of municipal solid waste compost. J. Environ. Qual. 21, 318–329.
- Hernando, S., Lobo, M. and Polo, A. 1989. Effect of the application of a municipal refuse compost on the physical and chemical properties of soil. Sci. Total Environ. 81/82, 589–596.

- Igllesias Jimenez, E., Garcia, V., Espino, M. and Hernandez, J. 1993. City refuse compost as a phosphorus source to overcome the P-fixation capacity of sesquioxide-rich soils. *Plant Soil* 148: 115-127.
- Jakobsen, S. 1995. Aerobic decomposition of organic wastes. Value of compost as fertilizer. *Resour. Conserve. Recy.* 13, 57-71.
- Lin, J. and Schorr, M. 1997. A challenge for the phosphate industry: Cd removal. *Phosphorus and Potassium*. No. 208:27-31.
- Loecke, T.D., Liebman, M., Cambardella, M. and Richard, T.L. 2004. Corn response to composting and time of application of solid swine manure. *Agron. J.* 96: 214-223.
- Maftoun, M., Moshiri, F., Karimian, N. and Ronaghi, A. 2004. Effects of two organic wastes in combination with phosphorus on growth and chemical composition of spinach and soil properties. *J. Plant Nutr.* 27 (9), 1635-1651.
- Maho, M., Rosen, C. and Halbach, T. 2000. Nitrogen availability and leaching from soil amended with municipal solid waste compost. *J. Environ. Qual.* 28, 1074-1082.
- Mamo, M., Rosen, C. and Halbach, T. 1999. Nitrogen availability and leaching from soil amended with municipal solid waste compost. *J. Environ. Qual.* 28, 1074-1082.
- Manassero, M., Van Impe, W.F. and Bouazza, A. 1996. Waste disposal and containment. In *Second International Congress on Environmental Geotechnics*, Osaka, 193- 243.
- McCallum, K.R., Keeling, A A., Beckwith, C.P. and Kettewell, S. 1998. Effects of green waste compost on cotton emergence and early growth. *Acta Horticulture* 467:313-31825.
- Mkhabela, M. and Warman, P.R. 2005. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops, grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 106, 57-67.
- Montemurro, F., Maiorana, M., Convertini, G. and Ferri, D. 2006. Compost organic amendments in fodder crops: effects on yield, nitrogen utilization and soil characteristics. *Compost Sci. Util.* 14 (2), 114-123.
- Murillo, J. and Cabrera, F. 1997. Response of clover *Trifolium fragiferum* cv Salina to a heavy urban compost application. *Compost Sci. Util.* 5 (4), 15-26. J.C. Hargreaves et al. / *Agriculture, Ecosystems and Environment* 123 (2008) 1-14.

- Murphy, C. and Warman, P.R. 2001. Effect of MSW compost applications on low-bush blueberry soil and leaf tissue trace elements. In: Proceedings of the 6th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Guelph, ON, p. 166.
- Otten, L. 2001. Wet-dry composting of organic municipal solid waste: current status in Canada. *Can. J. Civil Eng.* 28 (Suppl. 1), 124-130.
- Ozores-Hampton, M. and Hanlon, E. 1997. Cadmium, copper, lead, nickel and zinc concentrations in tomato and squash grown in MSW compost-amended calcareous soil. *Compost Sci. Util.* 5 (4), 40-46.
- Pankhurst, C.E., Doube, B.M. and Gupta, V.V.S.R. 1997. Biological indicators of soil health. CABI, Wallingford, UK, 451 pp.
- Pascual, J.A., Garcia, C. and Hernandez, T. 1999. Lasting microbiological and biochemical effects of the addition of municipal solid waste to an arid soil. *Biol. Fertil. Soils* 30, 1-6.
- Perucci, P. 1990. Effect of the addition of municipal solid-waste compost on microbial biomass and enzyme activities in soil. *Biol. Fertil. Soils* 10, 221-226.
- Pinamonti, F., Nicolini, G., Dalpiaz, A., Stringari, G. and Zorzi, G. 1999. Compost use in viticulture: effects on heavy metal levels in soil and plants. *Commun. Soil Sci. Plan.* 30 (9-10), 1531-1549.
- Raskin, I. and Ensley, B.D. 2000. *Phytoremediation of Toxic Metals: Using plants to clean up the Environment*. John Wiley & Sons, Inc., New York. pp. 304.
- Rodrigues, M.S., Lopez, J.M. and Lee, H.C. 1996. Use of composted societal organic waste for sustainable crop production. *The science of composting*. 447-456.
- Sajwan, K.S., Ornes, W.H., Youngblood, T.V. and Alva, A.K. 1996. Uptake of soil applied Cadmium, Nickel and Selenium by Bush Beans. *Journal of Water, Air and Soil Pollution*. 91:209-217.
- Salardini, A. 2005. *Soil Fertility*. Tehran University Press. 434 p, (In Persian).
- Saleh Rastin, N. 1998. Biological fertilizers, *Scientific Journal of Soil and Water*, Vol. 12. No. Biological Fertilizers Special issue, Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran (In Persian).
- Samar M, Malakouti, M.J. and Mohammadi, A. 1998, Simple Methods for Conversion of Urban Waste of Citizens to Organic Fertilizers, Technical report No. 16, Agricultural Education press, Karaj, Iran.
- Sebastiao, M., Queda, A. and Campos, L. 2000. Effect of municipal solid waste compost on potato production and heavy metal contamination in

- different types of soil. In: Warman, P.R., Taylor, B. (Eds.), *Proceedings of the International Composting Symposium*. CBA Press Inc.
- Shanmugam, G.S. 2005. Soil and plant response of organic amendments on strawberry and half-high blueberry cultivars. Master's Thesis. Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada.
- Shanmugam, G.S. and Warman, P.R. 2004. Soil and plant response to organic amendments to three strawberry cultivars. In: Martin-Neto, L., Milori, D., daSilva, W. (Eds.), *Proceedings of the International Humic Substances Society*. Embrapa (Pub.), Sao Pedro, pp. 230-232.
- Sharma, R.K., Agrawal, M. and Marshall, F.M. 2006. Heavy metal contamination in vegetables grown in wastewater irrigated areas of Varanasi, India. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology* 77: 312-318.
- Sharma, A.K. 2003. *Biofertilizer for sustainable agriculture*. Agrobios Publication, India.
- Shata, S.M., Mahamoud, A. and Siam, S. 2007. Improving calcareous soil productivity by integrated effect of intercropping and fertilizer. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 3: 733-739.
- Sheila, M.R. 1999. *Toxic Metals in Soil-Plant system*. John Wiley & Sons, inc. newyork.
- Sikora, L. j. 1996. Effect of compost fertilizer blends on crop growth. *The science of composting*. Pub. Blackie, London. 447-456.
- Soumare, M., Tack, S. and Verloo, M. 2003. Characterisation of Malian and Belgian solid waste composts with respect to fertility and suitability for land application. *Waste Manag.* 23: 517-522.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2000. *Biosolids Technology Fact Sheet: Land Application of Biosolids*. USEPA 832-F-00-064. USEPA, Office of Water Washington, D.C.
- Vanlauw, B., Aihou, K., Aman, S., OIwuafor, S., Tossah, B. K., Diels, S., Sanginga, S., Lyasse, O., Merckx, O. and Deckers, J. 2001. Maize yield as affected by organic inputs and urea in the West African moist savanna. *Agron. J.* 93: 1191-1199.
- Walter, I. and Martinez, F. Cuevas, G. 2006. Plant and responses to the application of composted MSW in a degraded, semiarid shrubland in central Spain. *Compost Sci. Util.* 14(2), 147-154.
- Walter, I., Martinez, F. and Cuevas, G. 2006. Plant and soil responses to the application of composted MSW in a degraded, semiarid shrubland in central Spain. *Compost Sci. Util.* 14 (2), 147-154.

- Warman, P.R. and Shan, V. 2004. Influence of source – separated MSW compost on vegetable crop growth and soil properties: year 3. In: Proceeding of the 8th Annual Meeting of the Composting Council of Canada, Ottawa, Ontario, November 3-5: 263-273.
- Warman, P.R. 1995. Bioavailability of As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, and Zn from biosolids amended compost. *Compost Sci. Util.* 3 (4), 40–50.
- Warman, P.R. 2001. Municipal solid waste compost effects tomato leaf tissue: essential plant nutrients and trace elements. In: Proceedings of the 6th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Guelph, ON, p. 167.
- Warman, P.R. and Rodd, V. 1998. Influence of source – separated MSW compost on vegetable crop growth and soil properties: year 3. In: Proceeding of the 8th Annual Meeting of the Composting Council of Canada, Ottawa, Ontario, November 3-5, pp. 263-273.
- Warman, P.R. and Munroe, M.D. 2000. Analysis of total inositol phosphates in municipal solid waste compost-treated soils by two-extraction methods. *Biol. Fertil. Soils* 32, 89–93.
- Warman, P.R., Murphy, C., Burnham, J. and Eaton, L. 2004. Soil and plant response to MSW compost applications on lowbush blueberry fields in 2000 and 2001. *Small Fruit Rev.* 3 (1/2), 19–31.
- Warman, P.R. and Rodd, V. 1998. Influence of source-separated MSW compost on vegetable crop growth and soil properties: year 3. In: Proceedings of the 8th Annual Meeting of the Composting Council of Canada, Ottawa, Ontario, November 3–5, pp. 263–273.
- Wolkowski, R. 2003. Nitrogen management considerations for land-spreading municipal solid waste compost. *J. Environ. Qual.* 32, 1844–1850.
- Zhang, M., Heaney, D., Henriquez, B., Solberg, E. and Bittner, E. 2006. A four-year study on influence of biosolids/MSW cocompost application in less productive soils in Alberta: nutrient dynamics. *Compost Sci. Util.* 14(1), 68–80.
- Zheljaskov, V., Astatkie, T., Caldwell, C.D., MacLeod, J. and Grimmett, M. 2006. Compost, manure, and gypsum application to timothy/red clover forage. *J. Environ. Qual.* 35, 2410–2418.
- Zheljaskov, V. and Warman, P.R. 2004a. Source-separated municipal soil waste compost application to Swiss chard and basil. *J. Environ. Qual.* 33, 542–552.

Zheljazkov, V. and Warman, P.R. 2004b. Phytoavailability and fractionation of copper, manganese, and zinc in soil following application of two composts to four crops. *Environ. Pollut.* 131, 187–195.

MINISTRY OF AGRICULTURE – JAHAD
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil and Water Research Institute

Municipal Waste Compost, Applications and Challenges



Mohsen Seilsepour

2021