



فصلنامه علوم محیطی، دوره بیستم، شماره ۳، پائیز ۱۴۰۱

۱۷-۳۴

مقاله پژوهشی

ارزیابی چندین روش هضم در استخراج عناصر سنگین از منابع آلی مختلف

پریسا مشایخی* و حسین شریفی

بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱۵

مشایخی، پ. و ح. شریفی. ۱۴۰۱. ارزیابی چندین روش هضم در استخراج عناصر سنگین از منابع آلی مختلف. فصلنامه علوم محیطی. ۲۰(۳): ۱۷-۳۴.

سابقه و هدف: در سال‌های اخیر روند رو به افزایش تخریب منابع آب، خاک و محیط زیست در اثر کاربرد بی رویه مواد شیمیایی موجب ترغیب پژوهشگران به کشاورزی ارگانیک در سال‌های اخیر شده است. با وجود همه اثرات مثبتی که در ارتباط با مصرف منابع آلی بر روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مطرح است، هنوز در این رابطه نگرانی‌های زیادی از نظر مسائل زیست‌محیطی، کشاورزی و سلامت وجود دارد. منابع آلی بسته به منبع، اغلب دارای مقادیر نسبتاً زیادی عناصر سنگین می‌باشند؛ بنابراین اندازه‌گیری دقیق میزان فلزات سنگین در این ترکیبات از اهمیت بالایی برخوردار است.

مواد و روش‌ها: برای انجام این پژوهش ۲۰ نمونه ماده آلی مختلف شامل بقایای گیاهی، کود دامی، کود طیور، کمپوست حاصل از زباله‌های شهری، کمپوست لجن فاضلاب و ورمی کمپوست در نظر گرفته شد. برای استخراج عناصر سنگین از نمونه‌های ماده آلی مورد مطالعه، پنج روش هضم شامل هضم با اسید نیتریک، هضم خشک، هضم با مخلوط اسید نیتریک و پرکلریک، هضم با اسیدسولفوریک و هضم با اسید سولفوسالیسیلیک، در سه تکرار مورد استفاده قرار گرفت. عناصر سنگین مورد نظر شامل کروم، نیکل، سرب، کادمیوم، کبالت، مس، منگنز، روی و آهن بودند.

نتایج و بحث: نتایج آزمایش نشان داد به طور کلی در مورد عناصر سنگین کادمیوم، سرب و کروم، اسید نیتریک+پرکلریک بهترین کارایی را در استخراج این عناصر داشتند. در هر سه مورد بعد از مخلوط اسید نیتریک+پرکلریک، روش هضم خشک بیشترین میزان این سه عنصر را از نمونه‌های مورد آزمایش استخراج نمود (میانگین کادمیوم، سرب و کروم استخراج شده از همه نمونه‌های آلی). البته در مورد عناصر سرب و کادمیوم، نوع ترکیب آلی نیز بر عملکرد روش‌های هضم، موثر بوده است؛ به گونه‌ای که در مورد نمونه‌های کمپوست زباله و لجن فاضلاب اسید نیتریک و در نمونه‌های کمپوست کودهای دامی و طیور روش هضم خشک موفق‌تر عمل کرده است. با توجه به خطرات ناشی از سمیت پرکلریک در طی مراحل انجام هضم، به نظر می‌رسد استفاده از روش هضم خشک می‌تواند جایگزین مناسبی برای استفاده از مخلوط اسید نیتریک+پرکلریک باشد. در مورد بقیه عناصر شامل نیکل، کبالت، مس، منگنز، روی و آهن اسید سولفوسالیسیلیک بیشترین کارایی را در استخراج این عناصر از نمونه‌های کمپوست داشته است که در مورد نمونه‌های کمپوست زباله و لجن فاضلاب با بقیه تیمارها

*Corresponding Author: Email Address. P.mashayekhi@areeo.ac.ir

<http://dx.doi.org/10.52547/envs.2021.1071>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.3.3.6>

به صورت یکسان عمل نمود.

نتیجه‌گیری: روش‌های مختلف هضم به کار گرفته شده در این پژوهش و نیز منابع مختلف آلی که مورد آزمون قرار گرفتند تاثیر معنی داری در سطح ۰/۱ درصد، بر استخراج کلیه عناصر مورد نظر داشتند. علیرغم این که ترکیبات آلی مورد استفاده در این آزمایش از دامنه نسبتا گسترده‌ای از نظر ویژگی‌های مختلف ساختاری و شیمیایی برخوردار بودند؛ اما روش‌های هضم مورد استفاده برای عناصر سنگین و ریز مغذی موجود در این ترکیبات نسبتا روند مشخصی از نظر پتانسیل استخراج این عناصر را داشتند. به طور کلی در مورد عناصر سنگین کادمیوم، سرب و کروم، روش اسید نیتریک+پرکلریک و پس از آن روش هضم خشک، بهترین کارایی را در استخراج این عناصر داشتند. در مورد بقیه عناصر شامل نیکل، کبالت، مس، منگنز، روی و آهن اسید سولفوسالیسیلیک بیشترین کارایی را در استخراج این عناصر از نمونه های کمپوست داشت.

واژه‌های کلیدی: ضایعات آلی، روش هضم، عناصر سنگین، کمپوست.

مقدمه

در سال‌های اخیر، کمپوست به عنوان یک ماده بهبود دهنده خاک در بخش کشاورزی مورد توجه بسیاری از کشاورزان و محققین این حوزه قرار گرفته است. بر اساس پژوهش‌های انجام گرفته کمپوست حاوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای عناصر غذایی پرمصرف شامل نیتروژن، پتاسیم و فسفر و نیز عناصر کم مصرف مانند مس، منگنز، روی و آهن است. ضمن این که این ترکیب با دارا بودن میزان کربن آلی بالا، علاوه بر غنی‌سازی خاک باعث بهبود شرایط فیزیکی خاک از جمله بهبود تهویه خاک، افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک و در کل بهبود شرایط فیزیکی خاک می‌شود (Zhao *et al.*, 2011; Zorpas *et al.*, 2002; Ingelmo *et al.*, 2012). در کنار تمام ویژگی‌های مثبتی که برای کمپوست ذکر شد، کمپوست می‌تواند شامل مواد آلاینده معدنی و غیر معدنی متفاوتی باشد. حضور عناصر سنگین یکی از فاکتورهای بسیار مهم محدود کننده در ارتباط با مصرف کمپوست در کشاورزی است (Núñez *et al.*, 2007; Zhao *et al.*, 2007; Akram Qazi *et al.*, 2009).

تاثیرات مصرف کمپوست بر میزان تجمع عناصر سنگین در محیط، بسته به نوع خاک، گونه‌های گیاهی و کیفیت کمپوست تغییر می‌کند. بنابراین اندازه‌گیری دقیق میزان عناصر مختلف به‌ویژه عناصر سنگین موجود در این ترکیبات جهت ارزیابی آن برای مصارف مختلف کشاورزی و محیط زیستی بسیار مهم است. در پژوهش‌های قبلی روش‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری غلظت کل فلزات در نمونه‌های خاک و رسوب حل شده با کمک مخلوط غلیظ اسیدهای غیر آلی در دمای بالا گزارش شده است (Agemian and Chau, 1976; Ammons *et al.*, 1995; Hossner, 1996; Chen and Ma, 1998; Hseu *et al.*, 2002; Sastre *et al.*, 2002). اما مطالعات چندانی در ارتباط با سودمندی روش‌های موجود برای آنالیز عناصر سنگین در کمپوست وجود ندارد. جدول یک مقادیر مجاز عناصر سنگین در کمپوست را در کشورهای مختلف نشان می‌دهد (Özbaş *et al.*, 2012).

جدول ۱- مقادیر مجاز عناصر سنگین در کمپوست را در کشورهای مختلف (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک)
Table 1. Permissible amounts of heavy metals in compost in different countries (mg kg⁻¹ dry weight)

فلزات سنگین Heavy metals	آلمان Germany	بلژیک Belgium	کانادا Canada	فرانسه France	سودان Sudan
Cu	150	100	100	-	150
Zn	400	1000	500	-	500
Mo	-	-	5	-	5
Co	-	-	34	-	25
Cd	2	5	3	8	3
Ni	50	50	62	200	50
Pb	200	600	150	800	150

ادامه جدول ۱- مقادیر مجاز عناصر سنگین در کمپوست را در کشورهای مختلف (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک)
Table 1. Cont. Permissible amounts of heavy metals in compost in different countries (mg kg⁻¹ dry weight)

فلزات سنگین Heavy metals	آلمان Germany	بلژیک Belgium	کانادا Canada	فرانسه France	سودان Sudan
Hg	1	-	0.8	8	3
Cr	150	150	210	-	150
As	-	-	13	-	-
Se	-	-	2	-	-

آنالیز عنصری یک نمونه کمپوست مستلزم آن است که بخش آلی نمونه کاملاً هضم شده و فلزات سنگین موجود در نمونه آزاد شوند (Hseu, 2004). روش‌های مناسب برای هضم مواد آلی و آزاد سازی عناصر از نمونه‌های آلی، به دو روش عمده هضم تر با استفاده از مخلوط اسیدها و نیز هضم خشک از طریق خاکستر کردن ماده آلی می‌باشد (Zarcinas *et al.*, 1987).

روش‌های مختلفی برای هضم نمونه‌های خاک و بافت‌های گیاهی برای آنالیز عناصر سنگین وجود دارد. اما کمپوست دارای ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بسیار متفاوتی نسبت به خاک و گیاه است. بیشتر روش‌های ارائه شده در پژوهش‌های موجود برای هضم نمونه‌های کمپوست، شامل هضم با اسید نیتریک غلیظ، هضم خشک و استفاده از مخلوط اسید نیتریک-پرکلریک و اسید سولفوریک است. اکثر روش‌های اکسیداسیون تر نیاز به استفاده از ترکیبی از اسیدها دارد، که بیشتر اسیدهای مورد استفاده شامل اسید نیتریک، اسید سولفوریک و اسید پرکلریک و پراکسید هیدروژن است (Hoening, 1995). با این حال، اسید پرکلریک به طور بالقوه در طول هضم مواد بیولوژیکی خطرناک بوده و می‌تواند منجر به متصاعد شدن و از بین رفتن پتاسیم و بور موجود در نمونه شود (Zarcinas and Cartwright, 1983).

در روش خاکستر خشک ممکن است برخی از عناصر از طریق تبخیر و یا جذب بر روی دیواره‌های کوره، از نمونه خارج شوند. برخی از عناصر مانند آرسنیک، کروم و سرب نیز ممکن است در دمای کوره (از ۵۰۰ تا ۵۵۰ درجه سانتیگراد) در حین خاکستر شدن از نمونه خارج شوند (Azcue and Mudroch, 1994).

روش‌های مختلفی برای هضم نمونه‌های خاک و بافت‌های گیاهی برای آنالیز عناصر سنگین وجود دارد. اما کمپوست دارای ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بسیار متفاوتی نسبت به خاک و گیاه است. بیشتر روش‌های ارائه شده در پژوهش‌های موجود برای هضم نمونه‌های کمپوست، شامل هضم با اسید نیتریک غلیظ، هضم خشک و استفاده از مخلوط اسید نیتریک-پرکلریک و اسید سولفوریک است. اکثر روش‌های اکسیداسیون تر نیاز به استفاده از ترکیبی از اسیدها دارد، که بیشتر اسیدهای مورد استفاده شامل اسید نیتریک، اسید سولفوریک و اسید پرکلریک و پراکسید هیدروژن است (Hoening, 1995). با این حال، اسید پرکلریک به طور بالقوه در طول هضم مواد بیولوژیکی خطرناک بوده و می‌تواند منجر به متصاعد شدن و از بین رفتن پتاسیم و بور موجود در نمونه شود (Zarcinas and Cartwright, 1983).

در روش خاکستر خشک ممکن است برخی از عناصر از طریق تبخیر و یا جذب بر روی دیواره‌های کوره، از نمونه خارج شوند. برخی از عناصر مانند آرسنیک، کروم و سرب نیز ممکن است در دمای کوره (از ۵۰۰ تا ۵۵۰ درجه سانتیگراد) در حین خاکستر شدن از نمونه خارج شوند (Azcue and Mudroch, 1994).

در روش خاکستر خشک ممکن است برخی از عناصر از طریق تبخیر و یا جذب بر روی دیواره‌های کوره، از نمونه خارج شوند. برخی از عناصر مانند آرسنیک، کروم و سرب نیز ممکن است در دمای کوره (از ۵۰۰ تا ۵۵۰ درجه سانتیگراد) در حین خاکستر شدن از نمونه خارج شوند (Azcue and Mudroch, 1994).

با احتساب تکرارها، برای انجام آزمایشات آماده شد. این پژوهش در آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان انجام گرفت. برای انجام آزمایش، ابتدا نمونه‌ها هوا خشک شده و پس از آسیاب شدن از الک ۱ میلی‌متری گذرانده شده و جهت آزمایش‌های بعدی در کیسه‌های پلاستیکی نگهداری شدند. pH و هدایت الکتریکی (EC)^۱ در مخلوط ماده آلی و آب مقطر به نسبت ۱:۲/۵ به ترتیب توسط pH متر و EC متر (McLean, 1982)، همچنین میزان کربن آلی موجود در نمونه‌ها از روش اکسیداسیون والکلی و بلک اندازه‌گیری شد (Nelson and Sommers, 1982). فسفر کل با استفاده از روش رنگ‌سنجی با اسپکتروفتو متر مدل Jenway6310، پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر مدل Corning405 و کلسیم و منیزیم با کمک دستگاه جذب اتمی مدل perkinelmer2380 اندازه‌گیری شد (Davoodi et al, 2015).

هضم نمونه‌ها: قبل از هضم، نمونه‌های کمپوست در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند (Hseu, 2004). برای استخراج عناصر سنگین موجود در نمونه‌های کمپوست پنج روش هضم در سه تکرار مورد استفاده قرار گرفت، که شامل اسید نیتریک، هضم خشک، مخلوط اسید نیتریک و پرکلریک، اسیدسولفوریک و اسید سولفوسالیسیلیک بودند.

روش هضم با اسید نیتریک: ۱ گرم از نمونه به لوله هضم ۲۵۰ میلی‌لیتر انتقال داده و ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به آن افزوده شد. نمونه برای ۴۵ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد گرمادهی گردید. سپس دما تا ۱۵۰ درجه افزایش داده شد و تا شفاف شدن کامل نمونه در همین دما قرار گرفت. در پایان هضم حجم اسید نیتریک باقیمانده حدود ۱ میلی‌لیتر خواهد بود. برای شستشوی دیواره لوله هضم، دیواره‌های داخلی لوله هضم با چند قطره آب مقطر شستشو داده شد. پس از سرد شدن نمونه‌ها، ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱ درصد به آن‌ها افزوده

مقدار منگنز را در نمونه‌های مورد آزمایش آزاد نمودند. همچنین هر دو روش استفاده از اسید نیتریک و ترکیب اسید نیتریک و پرکلریک عملکرد بهتری برای بازیابی عنصر سرب از نمونه‌ها نسبت به هضم خشک داشتند. Inhat and Fernandes (1996) نشان دادند که اسید نیتریک به طور موثر ۲۱ عنصر موجود در کمپوست کود مرغی به جز منگنز را به خوبی آزاد می‌کند.

بیشتر روش‌های ارائه شده در پژوهش‌های موجود برای هضم نمونه‌های کمپوست، شامل هضم با اسید نیتریک غلیظ، هضم خشک و استفاده از مخلوط اسید نیتریک-پرکلریک است که بر روی تعداد محدودی نمونه‌های آلی انجام شده است. این پژوهش با هدف ارزیابی چندین روش هضم برای استخراج عناصر سنگین از مواد آلی با تنوع زیاد شامل انواع مختلف کودهای دامی، فضولات طیور، بقایای گیاهی، کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش ۲۰ نمونه ماده آلی مختلف شامل سه نمونه لجن فاضلاب شهری مربوط به تصفیه‌خانه‌های اصفهان و شاهین‌شهر، چهار نمونه کمپوست زباله شهری از شهرستان‌های اصفهان، لنجان، نجف‌آباد و زرین‌شهر، دو نمونه ورمی‌کمپوست، دو نمونه کمپوست تولید شده از بقایای گیاهی شامل کاه و کلش گندم و پوست ساقه و شاخ و برگ درخت، انواع کود دامی شامل گاوی، گوسفندی، اسب و شتر و طیور شامل مرغ، شترمرغ، کبک و بلدرچین و یک نمونه نانو کمپوست با منشا گیاهی برای آزمایش در نظر گرفته شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل ۲۰ نوع ماده آلی و پنج روش هضم شامل هضم با اسید نیتریک، هضم خشک، هضم با اسید نیتریک و پرکلریک، هضم با اسید سولفوریک و هضم با اسید سولفوسالیسیلیک بود. بنابراین در کل تعداد ۳۰۰ نمونه،

دقیقه در دمای اتاق نگه داشته شد. سپس ۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۰ درصد افزوده شده و نمونه‌ها برای ۳۰ دقیقه در دمای ۲۵۰ درجه گرمادهی شدند. سپس نمونه خنک شده و ۱ میلی‌لیتر آب اکسیژنه به آن افزوده شد. این پروسه تا شفاف شدن نمونه‌ها ادامه پیدا کرد. سپس نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صافی فیلتر شده و با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسید (Jones and Case, 1990).

روش هضم تر با استفاده از مخلوط اسید سولفو سالیسیلیک: ۰/۵ گرم از نمونه در لوله هضم ۲۵۰ میلی‌لیتر توزین شده و ۳ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک به آن افزوده شد. نمونه‌ها برای ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگه داشته شد. سپس نمونه به مدت یک ساعت در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد گرمادهی شد. سپس نمونه‌ها از روی اجاق برداشته و پس از خنک شدن به هر کدام ۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۰ درصد افزوده شد و دوباره نمونه‌ها برای ۱۵ دقیقه و این بار در دمای ۲۸۰ درجه گرمادهی شدند. سپس نمونه‌ها خنک شده و ۱ میلی‌لیتر آب اکسیژنه به آن افزوده شد. این مرحله تا شفاف شدن نمونه‌ها ادامه پیدا کرد. سپس نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صافی فیلتر شده و با آب مقطر به حجم ۵۰ رسید (Waling et al., 1989).

عناصر سنگین شامل کروم، نیکل، سرب، کادمیوم، کبالت با استفاده از دستگاه ICP-OES مدل Perkin Elmer Optima 2100، و عناصر آهن، مس، روی و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل perkinelmer2380 در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. مقادیر عناصر مختلف استخراج شده با روش‌های مختلف هضم در کمپوست‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های شیمیایی منابع آلی مورد مطالعه

برخی ویژگی‌های شیمیایی اندازه‌گیری شده بر روی نمونه کمپوست‌های مورد مطالعه در جدول ۲ آمده است.

شده و نمونه‌ها به وسیله کاغذ صافی فیلتر شدند. در پایان نمونه‌ها در بالن ۲۵ میلی‌لیتر با آب مقطر به حجم رسیدند. (Zheljazkov and Nielson, 1996)

روش هضم خشک: ۱ گرم از نمونه مورد نظر در بوته چینی توزین شده و برای ۳۰ دقیقه در کوره در دمای ۲۰۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس دما را تا ۴۸۰ درجه افزایش داده و نمونه‌ها برای ۴ ساعت در این دما نگه داشته شدند. بعد از این مرحله، نمونه‌ها به خارج از کوره انتقال یافته و پس از سرد شدن، ۲ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۵ مولار به آنها افزوده شد و تا زمانی که رطوبت ناشی از افزودن اسید، کاملاً تبخیر و خشک شد، نمونه‌ها با استفاده از هیتر گرمادهی شدند. مجدداً نمونه‌ها برای ۱۵ دقیقه در کوره در دمای ۴۰۰ درجه قرار گرفتند. پس از خارج کردن نمونه از کوره و سرد شدن، به آن چند قطره آب مقطر و ۲ میلی‌لیتر اسید کلریدریک غلیظ افزوده شده و تا خشک شدن نمونه، گرما دهی انجام گرفت. سپس ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ مولار افزوده شد و نمونه‌ها با کمک کاغذ صافی صاف و با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسیدند (Issac and Kerber, 1971).

روش هضم با مخلوط اسید نیتریک و پرکلریک: ۱ گرم از نمونه در لوله هضم ۲۵۰ میلی‌لیتر توزین شده و ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ افزوده شد. این مخلوط برای ۳۰ تا ۴۵ دقیقه جوشانده شد. پس از سرد شدن مقدار ۵ میلی‌لیتر پرکلریک ۷۰ درصد به آن افزوده شده و نمونه تا ایجاد یک بخار غلیظ، بر روی هیتر قرار گرفت و گرمادهی شد. پس از سرد شدن نمونه‌ها، ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آنها افزوده شد و این مخلوط تا از بین رفتن کامل بخارات، جوشانده شد. نمونه خنک شده و پس از فیلتر شدن با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسید (AOAC, 1990).

روش هضم تر با استفاده از اسید سولفوریک: ۰/۵ گرم از نمونه در لوله هضم ۲۵۰ میلی‌لیتر توزین و ۳ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن افزوده شد. نمونه برای ۳۰

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی منابع آلی مورد مطالعه
Table 2. Some chemical properties of the studied organic matters

نیتروژن Nitrogen	منیزیم Magnesium	کلسیم Calcium	پتاسیم Potassium%	فسفر Phosphorus	کربن آلی Organic carbon	EC	pH	منابع آلی Organic sources
3.08	0.66	1.07	0.54	1.06	19.89	0.76	6.2	لجن فاضلاب اصفهان ^۱ Sewage sludge ¹
4.06	0.64	0.98	0.51	1.62	18.33	3.04	6.0	لجن فاضلاب ^۲ Sewage sludge ²
3.81	0.93	1.01	0.48	1.74	11.51	1.73	6.62	لجن فاضلاب ^۳ Sewage sludge ³
1.85	0.67	2.87	1.06	0.74	16.97	9.63	6.83	کمپوست زیاله ^۴ Municipal wast ⁴
2.49	0.79	1.8	1.19	0.71	12.97	3.6	7.5	کمپوست زیاله ^۵ Municipal wast ⁵
1.68	0.76	1.80	1.19	0.71	11.6	4.51	7.56	کمپوست زیاله ^۶ Manisipul wast ⁶
2.07	0.79	2.69	1.25	0.65	21.35	6.83	7.74	کمپوست زیاله ^۷ Manisipul wast ⁷
1.57	0.73	1.37	1.03	0.8	23.69	18.51	7.3	نانو کمپوست Nano compost
0.87	0.35	0.82	1.54	0.95	18.33	2.42	7.19	کمپوست گیاهی Planted compost
0.7	1.26	1.31	2.61	1.08	18.85	6.46	8.0	کمپوست گیاهی Planted compost
1.65	1.67	2.44	1.71	0.67	13.26	2.02	7.9	ورمی کمپوست Vermi compost
1.73	1.7	2.54	1.69	0.74	15.5	3	7.8	ورمی کمپوست Vermi compost
2.01	1.76	1.39	1.29	1.22	28.57	7.21	7.9	کود گاوی Cow manure
1.51	1.26	0.97	0.95	0.56	29.35	16.6	9.2	کود شتر Camble manure
1.62	1.26	0.97	3.95	1.56	31.49	9.11	5.77	کود گوسفندی Sheep manure compost
1.32	1.15	1.38	2.55	0.66	28.67	8.9	8.1	کود اسبی Horse manure compost
4.17	0.43	1.29	1.53	1.18	34.71	4.9	6.7	کود کبک Partridge manure
5.06	0.35	0.82	1.55	0.96	35.39	2.98	6.5	کود بلدرچین Quail manure

ادامه جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی منابع آلی مورد مطالعه
Table 2. Cont. Some chemical properties of the studied organic matters

منابع آلی Organic sources	pH	EC	کربن آلی Organic carbon	فسفر Phosphorus	پتاسیم potassium%	کلسیم Calcium	منیزیوم Magnesium	نیتروژن Nitrogen
کود شترمرغ Ostrich manure	7.3	23.2	23.21	0.78	1.68	0.77	0.89	1.79
کود مرغی Hen manure	7.88	4.73	34.61	1.29	1.46	1	1.26	2.52

۱-لجن فاضلاب شمال اصفهان، ۲- لجن فاضلاب شاهین‌شهر، ۳- لجن فاضلاب جنوب اصفهان، ۴- کمپوست زباله لنجان، ۵- کمپوست زباله نجف‌آباد، ۶- کمپوست زباله شاهین شهر، ۷- کمپوست زباله اصفهان

1-Sewage sludge of north Isfahan, 2- Sewage sludge of Shahin-Shar, 3- Sewage sludge of south Isfahan, 4- Municipal compost of Lenjan, 5- Municipal compost of Najafabad, 6- Municipal of Shahin-Shar, 7- Municipal compost of Isfahan

آن مربوط به کود شتری بوده است و این روند برای پتاسیم کاملاً برعکس بوده است. همچنین بیشترین میزان نیتروژن در نمونه کود بلدرچین (۵/۰۶ درصد) و کمترین آن در نمونه کمپوست گیاهی با مقدار ۰/۷ درصد اندازه گیری شد.

مقایسه روش‌های مختلف هضم در نمونه‌های کمپوست مورد مطالعه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که همه روش‌های مختلف هضم به کار گرفته شده در این پژوهش و همچنین نوع منابع آلی مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند، تاثیر معنی‌داری (در سطح ۰/۱ درصد) در استخراج عناصر کادمیوم، سرب، نیکل، کروم، کبالت، مس، روی، آهن و منگنز از نمونه‌های مورد پژوهش داشتند (جدول ۳).

نمونه‌های ماده آلی مورد مطالعه از نظر ویژگی‌هایی مانند pH، EC، کربن آلی و مقادیر عناصر غذایی در محدوده نسبتاً وسیعی قرار داشتند. مقادیر pH اندازه‌گیری شده در نمونه‌های ماده آلی مورد مطالعه در محدوده ۵/۷۷ تا ۹/۲ بودند که بیشترین میزان pH مربوط به کود شتر و کمترین مربوط به کود گوسفندی بود. مقادیر هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده بین ۰/۷۶ دسی‌زیمنس بر متر در کمپوست لجن فاضلاب شمال اصفهان تا ۲۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر در کود شترمرغ متغیر بود. بیشترین مقدار کربن آلی در کمپوست کود بلدرچین و کمترین آن در لجن فاضلاب شهری اصفهان اندازه‌گیری شد که به ترتیب معادل ۳۵/۳۹ و ۱۱/۵۱ درصد بوده است. بیشترین میزان فسفر مربوط به لجن فاضلاب شهری اصفهان و کمترین

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس روش‌های مختلف عصاره‌گیری در استخراج عناصر سنگین از منابع مختلف آلی
Table 3. Aanalysis of variance of different extraction methods in extracting heavy metals from different organic sources

منابع تغییرات Sources	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	Ni	Pb	Cd
تیمار Treatment	99	79687426***	862537455***	3183280972.9***	79687426***
منابع مختلف آلی (a) Different organic sources	19	7382902***	3618972841***	11160234555***	7382902***
روش عصاره‌گیری (b) Extraction method	4	351644805***	994159383***	12160420622***	351644805***
a*b	76	126104102***	189483592***	923486642.42***	126104102***
خطا Error	198	403.5	16570.6	185294.71	403.5
ضریب تغییرات Coefficient of variation		3.14	2.16	1.72	3.14

ادامه جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس روش‌های مختلف عصاره‌گیری در استخراج عناصر سنگین از منابع مختلف آلی
Table 3. Cont. Analysis of variance of different extraction methods in extracting heavy metals from different organic sources

درجه آزادی df	منابع تغییرات Sources	میانگین مربعات Mean of squares	درجه آزادی df	منابع تغییرات Sources
Cu	Co	Cr		
40144.422***	18161691***	2641628829.4***	99	تیمار Treatment
196784.76***	53968128.1***	8347142923***	19	منابع مختلف آلی (a) Different organic sources
25034.28***	35483075.9***	2518831648.8***	4	روش عصاره‌گیری (b) Extraction method
4791.27***	3524410***	1305143693.8***	76	a*b
58.01	1570753	253714.25	198	خطا Error
6.4	21.03	17.49		ضریب تغییرات Coefficient of variation
Fe	Mn	Zn		
725922.53***	12963.030***	28654.052***	99	تیمار Treatment
603761.46***	53029.57***	81793.39***	19	منابع مختلف آلی (a) Different organic sources
10684379.54***	44390.73***	219915.38***	4	روش عصاره‌گیری (b) Extraction method
188326.96***	2045.48***	7355.18***	76	a*b
779.82	53.54	41.12	198	خطا Error
4.52	3.85	3.81		ضریب تغییرات Coefficient of variation

***: معنی دار در سطح احتمال ۰/۱ درصد

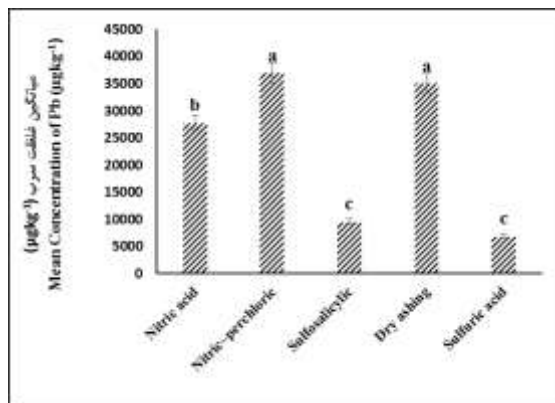
***: Significant at the probability level of 0.1 percent

را از نمونه‌های کمپوست استخراج نمودند (شکل ۱-الف). با توجه به شکل (۱-الف) ترتیب استخراج عنصر کادمیوم از کمپوست‌های مورد مطالعه، با استفاده از روش‌های مختلف هضم به صورت زیر بوده است: اسید نیتریک+پرکلریک < هضم خشک < اسید نیتریک < اسید سولفوریک < اسید سولفوسالیسیلیک بوده که به ترتیب معادل ۱۳۴۴/۳۳، ۹۱۰/۷۱۷، ۶۲۵/۱۲، ۵۲۷/۹۴، ۴۳۰/۱۱۰ میکروگرم بر کیلوگرم ماده آلی بوده است.

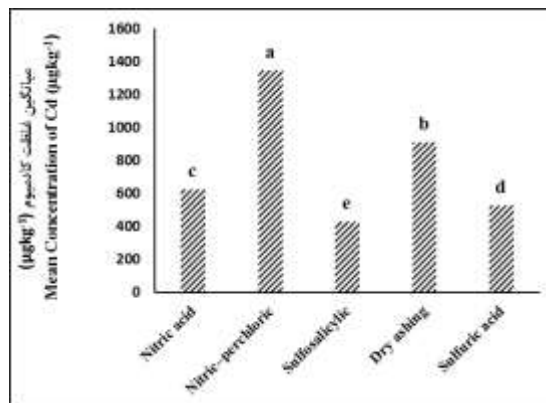
در پژوهش انجام‌گرفته توسط Hseu (2004)، روش هضم اسید نیتریک+پرکلریک و هضم خشک بیشترین و روش هضم با اسید سولفوریک کمترین کارایی را در استخراج کادمیوم از نمونه‌های کمپوست مورد مطالعه ایشان داشتند. کمترین مقدار سرب مربوط به روش‌های هضم با اسید سولفوریک و اسید سولفوسالیسیلیک بود (شکل ۱-ب). Hseu (2004) دلیل کارایی پایین اسید

به طور کلی کمپوست‌های لجن فاضلاب و زباله شهری نسبت به سایر کمپوست‌های مورد مطالعه مقادیر بالاتری از کادمیوم را دارا بودند که این امر به دلیل ماهیت آلاینده بودن این منابع است. از بین همه تیمارهای مورد بررسی و در همه روش‌های هضم مورد مطالعه تیمارهای کمپوست زباله اصفهان و کمپوست زباله لنجان بیشترین مقادیر Cd را داشتند. میانگین غلظت کادمیوم استخراج شده از این دو تیمار از طریق همه روش‌های هضم مورد استفاده به ترتیب معادل ۲۵۰۸ و ۱۷۸۰ میکروگرم بر کیلوگرم ماده خشک بوده است. همچنین کمپوست حاصل از کود بلدرچین کمترین میزان کادمیوم را در بین همه تیمارها داشته است (۷۳/۱ میکروگرم بر کیلوگرم ماده خشک). از بین همه روش‌های هضم مورد مطالعه روش اسیدنیتریک+ اسید پرکلریک بیشترین میزان کادمیوم و اسید سولفوسالیسیلیک کمترین مقدار کادمیوم

در کنار اسید نیتریک باعث شکسته شدن تعداد بیشتری از پیوندهای آلی در ترکیب و آزادسازی بیشتر عنصر شده است.



سولفوریک در استخراج این عناصر را در تشکیل رسوب سولفات کادمیوم در حین فرآیند هضم بیان نمود. همچنین بالا بودن قدرت اکسیدکنندگی عامل پرکلریک



شکل ۱- میانگین غلظت کادمیوم (الف) و سرب (ب) استخراج شده از نمونه‌های آلی با استفاده از روش‌های مختلف هضم

Fig. 1- Mean concentration of cadmium (a) and lead (b) extracted from organic samples using different digestion methods

بر کیلوگرم بود. این نتیجه با نتایج حاصل از پژوهش انجام گرفته توسط Hseu (2004) همخوانی دارد. Hseu (2004) دلیل کارایی پایین اسید سولفوریک در استخراج سرب را در تشکیل رسوب سولفات سرب در حین فرآیند هضم کمپوست با اسید سولفوریک بیان نمود. این فرآیند در مورد نمونه‌های کمپوستی که حاوی نمک‌های سولفات از جمله سولفات کلسیم و منیزیم هستند نیز صادق می‌باشد. در این نمونه‌ها در فرآیند هضم و تخریب بافتی مواد آلی، یون سولفات از عناصر همراه جدا شده و با سرب تشکیل رسوب می‌دهد.

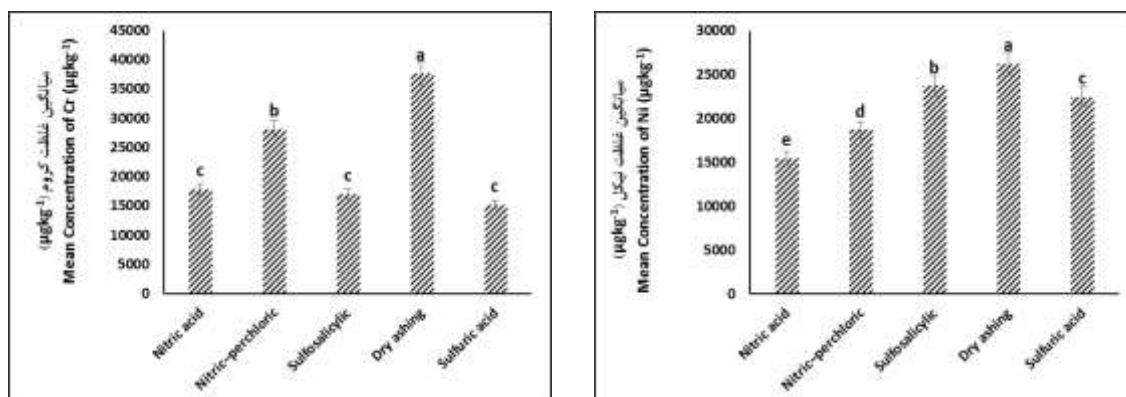
بیشترین میزان نیکل اندازه‌گیری شده مربوط به نمونه کمپوست زباله لجن در روش هضم خشک و بود (۷۰۵۷۵ میکروگرم بر کیلوگرم ماده خشک)؛ اما در مورد بقیه منابع ماده آلی، روش‌های هضم با اسید سولفوریک و اسید سولفوسالیسیلیک، بالاترین میزان نیکل را استخراج نمودند. در روش هضم خشک، دمای بسیار بالای شرایط آزمایش باعث آزاد شدن بسیاری از عناصر از ترکیب ماده آلی می‌شود. همچنین Simpson et al. (2000) گزارش نمودند که برخی عناصر تمایل به تشکیل پیوند و ایجاد رسوب با عامل سولفات را ندارند و برعکس در حضور سولفات به شکل اکسیدهای فلزی پودری آزاد می‌شوند. با توجه به نتایج آزمایشات به نظر

کمپوست‌های حاصل از لجن فاضلاب و زباله شهری دارای مقادیر سرب بسیار بالاتری نسبت به سایر تیمارها بودند که این امر مانند آنچه که برای عنصر کادمیوم ذکر شد، به ماهیت آلاینده‌گی این تیمارها بستگی دارد. در کلیه روش‌ها کمترین میزان سرب اندازه‌گیری شده، مربوط به نمونه کمپوست کود بلدرچین بود. از بین همه روش‌ها، هضم خشک بیشترین میزان سرب را از نمونه‌های مورد مطالعه استخراج کرد (میانگین ۳۸۲۵۷/۶۹ میکروگرم بر کیلوگرم ماده خشک) که با روش اسیدنیتریک + اسید پرکلریک تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار سرب مربوط به روش اسید سولفوریک و معادل ۷۸۵۰/۵۴ میکروگرم بر کیلوگرم ماده خشک بود (شکل ۱-ب). میزان سرب استخراج شده در دو روش هضم اسید سولفوریک و اسید سولفوسالیسیلیک نیز تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند.

با توجه به شکل (۱-ب) ترتیب استخراج عنصر سرب از کمپوست‌های مورد مطالعه، با استفاده از روش‌های مختلف هضم به صورت اسید نیتریک + پرکلریک < هضم خشک < اسید نیتریک < اسید سولفوسالیسیلیک < اسید سولفوریک بود که به ترتیب معادل ۳۶۹۳۶، ۳۴۹۵۶/۱، ۲۷۷۷۴/۴، ۹۵۸۷/۴۲ و ۶۹۰۴/۵۴ میکروگرم

در یک گروه آماری قرار گرفتند. ترتیب روش‌های هضم مورد مطالعه از نظر میزان استخراج کروم به صورت هضم خشک < اسید نیتریک+پرکلریک > اسیدسولفوسالیسیلیک < اسید سولفوریک > اسید نیتریک به ترتیب با میانگین ۳۷۶۴۷، ۲۸۱۶۹/۹، ۱۷۸۸۵/۷، ۱۷۰۹۹/۱ و ۱۵۲۴۴/۱ میکروگرم کروم بر کیلوگرم ماده آلی بود (شکل ۲-ب). در پژوهش (Hseu, 2004)، بیشترین میزان کروم از طریق روش هضم خشک استخراج شد. کارایی روش هضم خشک در استخراج کروم به دمای بالا و نیز واکنش فرم-های کلراین آزاد موجود در محلول نهایی مربوط است. همچنین وجود پرکلریک باعث افزایش قدرت اکسیدکنندگی اسید نیتریک شده و با افزایش قدرت تجزیه ترکیب آلی، باعث بهبود استخراج عنصر از ماده آلی می‌شود.

می‌رسد نیکل جزو این دسته از فلزات باشد. در همه روش‌های هضم کمترین مقدار نیکل هم در کود حاصل از فضولات کبک و بلدرچین اندازه‌گیری شد. ترتیب روش‌های هضم در استخراج عنصر نیکل به صورت اسید هضم خشک < سولفوسالیسیلیک > اسید سولفوریک < اسید نیتریک+اسید پرکلریک > اسید نیتریک بود (شکل ۲-الف). میانگین نیکل اندازه‌گیری شده در این روش‌ها به ترتیب معادل ۲۶۲۲۵/۶، ۲۳۷۶۰/۵، ۲۲۴۶۳/۷، ۱۸۶۹۹/۲ و ۱۵۴۷۰/۲ بود. بیشترین میزان کروم استخراج شده توسط روش‌های مختلف، در نمونه‌های لجن فاضلاب و پس از آن در نمونه‌های کمپوست زباله شهری مشاهده شد. در کل روش هضم اسید نیتریک+پرکلریک، بالاترین میزان کارایی را در استخراج کروم از نمونه‌های مورد مطالعه داشت که از این نظر با روش هضم خشک تفاوت معنی‌داری نداشته و



شکل ۲- میانگین غلظت نیکل (الف) و کروم (ب) استخراج شده از نمونه‌های آلی با استفاده از روش‌های مختلف هضم

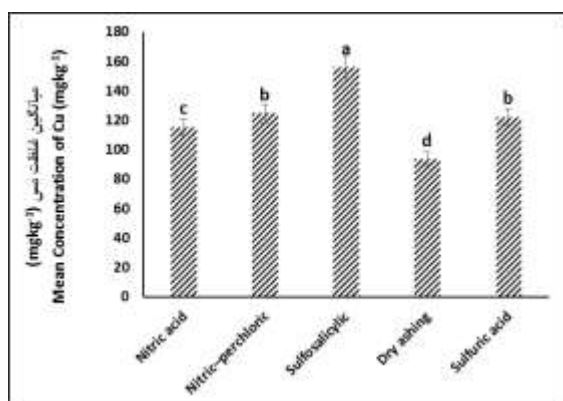
Fig. 2- Mean concentrations of nickel (a) and chromium (b) extracted from organic samples using different digestion methods

هضم با اسید نیتریک (۲۰۸/۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده آلی) و روش هضم خشک (۱۹۶/۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده آلی) قرار گرفتند که با یکدیگر تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند. در نهایت روش هضم با اسید نیتریک+پرکلریک (۷۳/۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده آلی) و اسید سولفوریک (۱۶۳/۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده آلی) به ترتیب در رتبه‌های چهارم و پنجم قرار گرفتند (شکل ۲-الف).

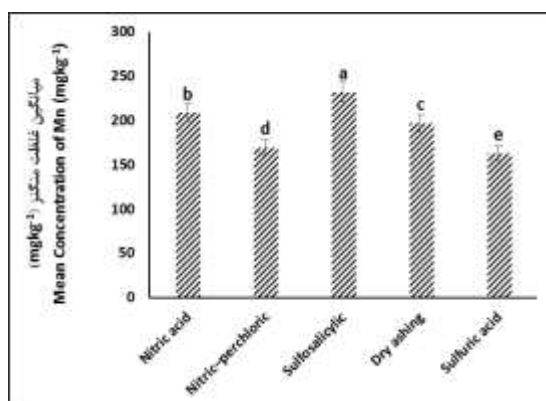
تقریباً در همه روش‌ها بیشترین میزان مس در نمونه کمپوست زباله لجنان و کمترین میزان مس از نمونه کود

در همه روش‌های هضم استفاده شده در پژوهش، بیشترین میزان منگنز به ترتیب در نمونه‌های ورمی کمپوست با میانگین ۳۱۳/۲۷ و کمپوست گیاهی (شاخ و برگ)، با میانگین ۳۰۰/۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک و کمترین میزان منگنز در نمونه کود شتری با میانگین ۹۸/۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک، اندازه‌گیری شد. از بین همه روش‌ها، روش هضم با اسیدسولفوسالیسیلیک بیشترین کارایی را در استخراج عنصر منگنز از نمونه‌های مورد مطالعه داشت (۲۳۲/۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده آلی). بعد از آن، روش‌های

زیادی به ایجاد پیوند با ترکیبات آلی دارد؛ بنابراین استفاده از موادی مانند اسید سولفوریک و سولفوسالیسیلیک که دارای پتانسیل بالای اکسیداسیون بوده و توانایی زیادی در تجزیه و هضم کامل کمپوست دارند، کمک زیادی به استخراج این عنصر از ترکیبات آلی می‌نمایند (McBride, 1989)؛ به نظر می‌رسد دمای بسیار بالای روش هضم خشک باعث تصعید مقادیر زیادی از این عنصر می‌شود.



شتری اندازه‌گیری شد. به طور کلی ترتیب استخراج عنصر مس از طریق روش‌های مختلف هضم به صورت اسید سولفوسالیسیلیک < اسید سولفوریک < اسیدنیتریک+ پرکلریک < اسید نیتریک < هضم خشک با میانگین غلظت مس ۱۵۶/۰۳، ۱۲۲/۱۱، ۱۲۴/۷۴، ۱۱۵/۴ و ۹۳/۶۸ میلی-گرم در کیلوگرم ماده آلی بود (شکل ۳-ب). این نتیجه با نتایج تحقیق (Hseu (2004)، همخوانی دارد. مس تمایل بسیار



شکل ۳- میانگین غلظت عناصر منگنز (الف) و مس (ب) استخراج شده از نمونه‌های آلی با استفاده از روش‌های مختلف هضم

Fig. 3- Mean concentrations of manganese (a) and copper (b) extracted from organic samples using different digestion methods

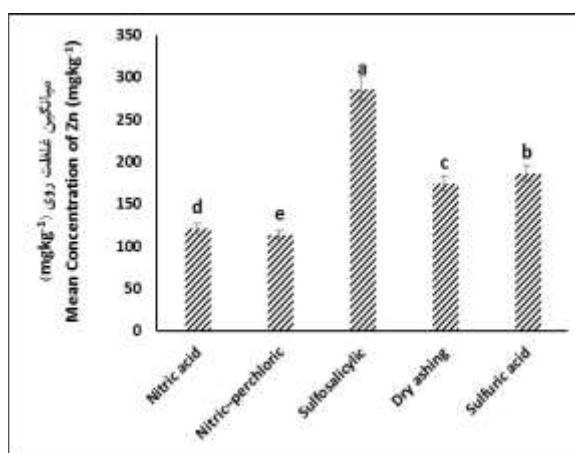
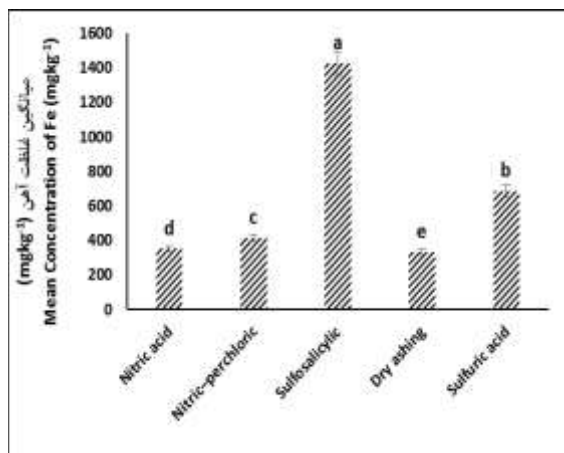
(شکل ۴-الف). احتمالاً وجود اسید سالیسیلیک در کنار اسید سولفوریک قدرت اکسیدکنندگی محلول عصاره‌گیر را افزایش می‌دهد. (Shaofeng et al. (2000) گزارش نمودند که آهن بیشتر به صورت ترکیبات سیلیکاتی در منابع مختلف وجود دارد و ترکیباتی نظیر اسید سولفوریک قادر به شکستن این پیوند و آزاد کردن آهن می‌باشد.

بیشترین میانگین روی استخراج شده از طریق پنج روش هضم مورد استفاده، در نمونه‌های کمپوست زباله لنگان و کمپوست زباله اصفهان مشاهده شد (به ترتیب ۲۵۰ و ۲۴۷/۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک). در همه روش‌ها به جز روش هضم با اسید سولفوریک، کمترین میزان روی استخراج شده مربوط به کود شتری بود و در روش هضم با اسید سولفوریک کمترین میزان روی در کود گوسفندی اندازه‌گیری شد. ترتیب روش‌های هضم مورد آزمایش در استخراج روی از نمونه‌های مواد آلی، به صورت اسید سولفوسالیسیلیک (۲۸۵/۹۶ میلی‌گرم در

در همه روش‌های هضم مورد استفاده، کمترین میزان آهن استخراج شده مربوط به نمونه کود بلدرچین بوده است (۱۹۸/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک). بیشترین مقدار آهن استخراج شده مربوط به نمونه فاضلاب شاهین‌شهر بود که از طریق هضم با اسید سولفوسالیسیلیک و اسید سولفوریک استخراج شد. به طور کلی ترتیب قرارگیری روش‌های هضم بر اساس میزان استخراج آهن از نمونه‌های ترکیبات آلی مورد آزمایش به صورت زیر بوده است: اسید سولفوسالیسیلیک < اسید سولفوریک < اسید نیتریک+پرکلریک < اسید نیتریک < هضم خشک. میانگین غلظت آهن استخراج شده در این روش‌ها به ترتیب معادل ۱۴۲۳/۶، ۶۸۳/۱۴، ۴۱۱/۱۱، ۳۴۹/۰۶ و ۳۳۰/۸۶ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده آلی بود. نکته جالب توجه دیگر در مورد عنصر آهن این بود که میزان آهن استخراج شده در روش هضم با اسید سولفوسالیسیلیک دارای اختلاف بسیار زیاد (بین ۲ تا ۴ برابر) نسبت به سایر روش‌های هضم دیگر بوده است

توسط (Hseu (2004)، اسید نیتریک و اسید سولفوریک بیشترین مقدار روی را از نمونه‌های کمپوست استخراج نمودند. (Morillo *et al.* (2004) دلیل این امر را تحرک و حلالیت بالای روی در این ترکیبات اسیدی معرفی نمودند.

کیلوگرم) < اسید سولفوریک (۱۷۶/۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) < هضم خشک (۱۷۴/۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) < اسید نیتریک (۱۲۱/۸۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) < اسید نیتریک + پرکلریک بود (۱۱۸ / ۰۴ میلی-گرم در کیلوگرم) (شکل ۴- ب). در پژوهش انجام گرفته

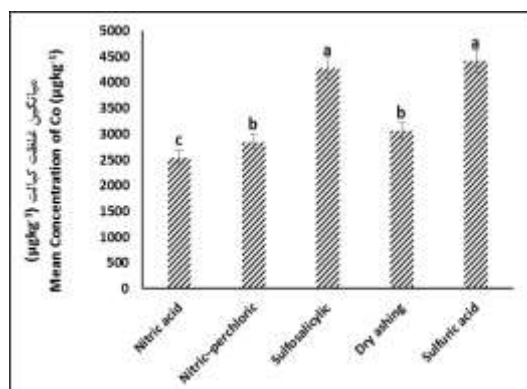


شکل ۴- میانگین غلظت عناصر روی (الف) و آهن (ب) استخراج شده از نمونه‌های آلی با استفاده از روش‌های مختلف هضم

Fig. 4- Mean concentrations of iron (a) and zinc (b) extracted from organic samples using different digestion methods

وزن خشک) < اسید نیتریک + پرکلریک (۲۸۳۸/۷ میکرو-گرم بر کیلوگرم وزن خشک) < اسید نیتریک (۲۵۴۷/۳ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک). به نظر می‌رسد در ارتباط با کبالت نیز مانند سایر موارد گفته شده ترکیبات حاوی اسید سولفوریک قدرت تاثیرگذاری بیشتری بر روی پیوندهای کبالت با گروه‌های عاملی موجود در مواد آلی داشته و در استخراج این عنصر از عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار بوده است.

بیشترین میزان کبالت استخراج شده مربوط به کمپوست زباله زرین‌شهر (میانگین ۶۱۰۸/۲) و کمترین آن مربوط به نمونه کود کبک (میانگین ۳۱۴/۳۲ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک) بوده است. از بین روش‌های مختلف هضم مورد استفاده در این پژوهش، روش هضم با اسید سولفوسالیسیلیک بیشترین کارایی را در استخراج کبالت از نمونه‌های مورد آزمایش داشت. رتبه دوم کارایی در استخراج کبالت مربوط به روش هضم با اسید سولفوسالیسیلیک تفاوت معنی‌داری نداشته و در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۵). سایر روش‌های مورد مطالعه هیچکدام از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشته و در یک گروه قرار گرفتند. در کل ترتیب قرارگیری روش‌های هضم مختلف از نظر میزان استخراج عنصر کبالت از نمونه‌های مورد آزمایش به صورت زیر بود: سولفوسالیسیلیک (میانگین ۴۱۲۳/۳ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک) < اسید سولفوریک (میانگین ۳۶۷۵/۲ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک) < هضم خشک (۳۰۶۰/۱ میکروگرم بر کیلوگرم



شکل ۵- میانگین غلظت عنصر کبالت استخراج شده از نمونه‌های

آلی با استفاده از روش‌های مختلف هضم

Fig. 5- Mean concentrations of Cobalt extracted from organic samples using different digestion methods

نتیجه گیری

ترکیب آلی نیز بر عملکرد روش‌های هضم، موثر بوده است؛ به گونه‌ای که در مورد نمونه‌های کمپوست زباله و لجن فاضلاب اسید نیتریک و در نمونه‌های کمپوست کودهای دامی و طیور روش هضم خشک موفق‌تر عمل کرده است. در مورد عناصر کروم و نیکل، روش هضم خشک بهترین کارایی را در استخراج این عناصر از همه ترکیبات آلی مورد مطالعه داشت. بنابراین با توجه به سمیت بسیار زیاد عامل پرکلریک در حین انجام آزمایش، روش هضم خشک برای استخراج عناصر سرب، کادمیوم، نیکل و کروم از ترکیبات آلی توصیه می‌شود. بقیه عناصر شامل کبالت، مس، منگنز، روی و آهن اسید سولفوسالسیلیک بیشترین کارایی را در استخراج این عناصر از نمونه‌های کمپوست داشته است که در مورد نمونه‌های کمپوست زباله و لجن فاضلاب با بقیه تیمارها به صورت یکسان عمل نموده است.

پی‌نوشت

¹ Electerical Conductivity

Abreu, M.F., Berton, R.S. and Andrade, J.C., 1996. Comparison of methods to evaluate heavy metals in organic wastes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 27, 1125-1135.

Agemian, H. and Chau, A.S.Y., 1976. Evaluation of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments. *Analyst*. 101, 761-767.

Akram Qazi, M., Akram, M., Ahmad, N., Artiola, J.F. and Tuller, M., 2009. Economical and environmental implications of solid waste compost applications to agricultural fields in Punjab, Pakistan. *Waste Management*. 29, 2437-2445.

Ammons, J.T., Essington, M.E., Lewis, R.J., Gallagher, A.O. and Lessman, G.M., 1995. An application of a modified microwave total dissolution technique for soils. *Communications in*

روش‌های مختلف هضم به کار گرفته شده در این پژوهش و نیز منابع مختلف آلی که مورد آزمون قرار گرفتند تاثیر معنی‌داری در سطح ۰/۱ درصد، بر استخراج کلیه عناصر مورد نظر داشتند. علیرغم این که ترکیبات آلی مورد استفاده در این آزمایش از دامنه نسبتاً گسترده‌ای از نظر ویژگی‌های مختلف ساختاری و شیمیایی برخوردار بودند؛ اما روش‌های هضم مورد استفاده برای عناصر سنگین و ریز مغذی موجود در این ترکیبات نسبتاً روند مشخصی از نظر پتانسیل استخراج این عناصر را داشتند. به طور کلی در مورد عناصر سنگین کادمیوم و سرب، روش هضم با اسید نیتریک+پرکلریک بهترین کارایی را در استخراج این عناصر داشت. در هر دو مورد بعد از مخلوط اسید نیتریک+پرکلریک، روش هضم خشک بیشترین میزان این سه عنصر را از نمونه‌های مورد آزمایش استخراج نمود (میانگین کادمیوم و سرب استخراج شده از همه نمونه‌های مورد آزمایش). در مورد عناصر سرب و کادمیوم، نوع

منابع

Soil Science and Plant Analysis. 25, 831-842.

AOAC, 1990. AOAC Official Methods of Analysis. (15th eds.), Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, pp. 84-85.

Azcue, J. and Mudroch, A., 1994. Comparison of different washing, ashing and digestion methods for the analysis of trace elements in vegetation. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 12, 211-221.

Chen, M. and Ma, L.Q., 1998. Comparison of four USEPA digestion methods for trace metal analysis using certified and Florida soils. *Journal of Environmental Quality*. 27, 1294-1300.

Davoodi, M.H., Shahbazi, K., Ardebili, M. and Rezaee, H., 2015. Methods of organic fertilizer

- analysis. Soil and Water Institute publication. 531, 154p. (In Persian with English abstract).
- Gorsuch, T.T., 1959. Radiochemical investigations on the recovery for analysis of trace elements in organic and biological materials. *Analyst*. 84,135–173.
- Hoenig, M., 1995. Critical discussion of trace element analysis of plant matrices. *Science of the Total Environment*. 176, 85–91.
- Hossner, L.R., 1996. Dissolution for total elemental analysis. In: Sparks, Bigham, J.M. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*: Madison, Wisconsin, pp. 49–64.
- Hseu, Z.Y., 2004. Evaluating heavy metal contents in nine composts using four digestion methods. *Bioresource Technology*. 95, 53–59.
- Ingelmo, F., José Molina, M., Desamparados S.M., Gallardo, A. and Lapeña, L., 2012. Influence of organic matter transformations on the bioavailability of heavy metals in a sludge based compost. *Journal of Environmental Management*. 95, 104-109.
- Inhat, M. and Fernandes, L., 1996. Trace element characterization of composted poultry manure. *Bioresource Technology*. 57, 143–156.
- Issac, R.A. and Kerber, J.D., 1971. Atomic absorption and flame photometry: techniques and uses in soil, plant and water analysis. In: *Instrumental Methods for Analysis of Soil and Plant Tissue*. Soil Science Society of America–Agronomy Society of America, Inc, Madison, Wisconsin, pp. 17–37.
- Jones, J.B. and Case, V.W., 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. In: Westerman, R.L. (Ed.), *Soil Testing and Plant Analysis*. Third ed., Soil Science Society of America, Book Series No. 3, Madison, Wisconsin, pp. 389–427.
- McBride, M.B. 1989. Reactions controlling heavy metal solubility in soils. *Advances in Soil Science*, 10, 1–57.
- McGrath, S.P. and Smith, S., 1990. Chromium and nickel. In: Alloway, B.J. (Ed.), *Heavy Metals in Soils*. John Wiley and Sons, Inc, NewYork, pp. 125–150.
- McLean, E.O., 1982. Soil pH and lime requirement. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*, Agron. Monogr. Madison, Wisconsin, pp. 199–224.
- Morillo, J., Usero, J. and Gracia, I., 2004. Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest coast of Spain. *Chemosphere*. 55, 431-442.
- Nelson, D.W. and Sommers, L.E., 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*, Agron. Monogr. Madison, WI, pp. 539–577.
- Núñez, R. P., Rey, R. D., Menduña, A. B. M. and Silva, M. T. B., 2007. Physiologically based extraction of heavy metals in compost: Preliminary results. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 21 (1), 83-85.
- Özbaş, E. E. and Balkaya, N., 2012. Extraction of heavy metals from compost using a mixture of Na₂EDTA and Na₂S₂O₅: column studies. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 12 (3), 525-534
- Rodushkin, I., Ruth, T. and Huhtasaari, A., 1999. Comparison of two digestion methods for elemental determinations in plant material by ICP techniques. *Analytical Chimica Acta*. 378, 191–200.

Sastre, J., Sahuquillo, A., Vidal, M. and Rauret, G., 2002. Determination of Cd, Cu, Pb and Zn in environmental samples: microwave-assisted total digestion versus aqua regia and nitric acid extraction. *Analytica Chimica Acta*. 462, 59–72.

Simpson, S.L., Apte and, S.C. and Batley, G.E., 2000. Effect of short term re-suspension events on the oxidation of cadmium, lead and zinc sulphide phases in anoxic estuarine sediments. *Environmental Science and Technology*. 34, 4533–4537.

Shaofeng, W., Yongfeng, J., Shuying, W., Xin, W., Wang, H., Zhao, Z. and Liu, B., 2010. Fractionation of heavy metals in shallow marine sediments from Jin Zhou bay, China. *Journal of Environmental Sciences*. 22(1), 23-31.

Waling, I., Van.Vark, W., Houba, V.J. and Vanderlrr, J.J., 1989. Soil and plant analysis, a series of syllabi. Part 7, Plant analysis procedures. Wageningen Agricultural University, Department of Soil Science and Plant Nutrition

Zarcinas, B.A., Cartwright, B. and Spouncer, L.R., 1987. Nitric acid digestion and multi-element analysis of plant material by inductively coupled plasma spectrometry. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 18, 131–146.

Zarcinas, B.A. and Cartwright, B., 1983. Analysis of soil and plant material by inductively coupled

plasma-optical emission spectrometry. CSIRO Aust. Division of Soils Technology. 45, 1–36.

Zhao, S., Lian, F. and Duo, L., 2011. EDTA-assisted phytoextraction of heavy metals by turfgrass from municipal solid waste compost using permeable barriers and associated potential leaching risk. *Bioresource Technology*. 102, 621–626.

Zheljazkov, V.D. and Nielson, N.E., 1996. Effect of heavy metals on peppermint and cornmint. *Plant Soil*. 178, 59–66.

Zheljazkov, V.D. and Warman, P.R., 2002. Comparison of three digestion methods for the recovery of 17 plant essential nutrients and trace elements from six composts. *Compost Science. Utilization*, 10, 197–203.

Zorpas, A. A., Vassilis, I., Loizidou, M. and Grigoropoulou, H., 2002. Particle size effects on uptake of heavy metals from sewage sludge compost using natural zeolite clinoptilolite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 250, 1-4.





Environmental Sciences Vol.20 / No.3 / Autumn 2022

17-34

Original Article

Evaluation of several digestion methods in the extraction of heavy elements from different organic sources

Parisa Mashayekhi* and Hosein Sharifi

Department of Soil and Water Research, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran

Received: 2021.06.21 Accepted: 2021.09.06

Mashayekhi, P. and Sharifi, H., 2022. Evaluation of several digestion methods in the extraction of heavy elements from different organic sources. *Environmental Sciences*. 20(3): 17-34.

Introduction: In recent years, the increased water, soil, and environmental degradation, due to the excessive use of chemicals, has encouraged researchers into organic farming. Despite all the positive effects associated with the consumption of sewage sludge and municipal compost on the soil physical and chemical properties, there is still a great concern in terms of the environment, agriculture and health. Depending on the source, composts often contain relatively large amounts of heavy metals, and thus accurate measurement of heavy metal contents in these compounds is important.

Material and methods: In this study, 20 compost samples from different sources, including manure, municipal waste and sewage sludge sources were selected. Five methods of digestion in three replicates were used to extract the heavy metals of the compost samples, including nitric acid, dry ashing, nitric–perchloric acid, sulfuric acid and sulfosalicylic acid methods. The elements were Cd, Pb, Ni, Cr, Co, Cu, Zn, Mn, and Fe.

Results and discussion: Analytical results indicated that the nitric–perchloric acid procedure was the most efficient for recovering Cd, Pb and Cr from the organic samples. After that, dry ashing method extracted the highest amount of Cd, Pb and Cr from all compost samples (on average). Since perchloric acid is potentially hazardous during digestion procedure, dry ashing was recommended as an alternative method. The recovery of Cd and Pb in the organic compounds is affected not only by the digestion method, but also by the type of compost. For example, the nitric–perchloric acid procedure recovered more Cd and Pb from municipal waste and sewage sludge than manure and poultry fertilizers. In the case of other elements including Ni, Co, Cu, Mn,

* Corresponding Author: *Email Address.* mashayekhi_enj@yahoo.com

<http://dx.doi.org/10.52547/envs.2021.1071>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.3.3.6>

Zn and Fe, sulfosalicylic acid has the highest efficiency in extracting these elements from compost samples. Extraction of these elements was only affected by the type of extraction method and the type of organic composition had no effect on it.

Conclusion: Different digestion methods and also different compost sources that were tested had a very significant effect on the extraction of all heavy metals. Despite the fact that the organic compounds used in this experiment had a relatively wide range in terms of various structural and chemical properties, the digestion methods used for the heavy and micronutrient elements in these compounds had a relatively specific trend in terms of the extraction potential of these elements. In general, in the case of heavy metals, Cd, Pb and Cr, nitric acid + perchloric acid and then dry digestion method, had the best efficiency in extracting these elements. For the other elements including Ni, Co, Cu, Mn, Zn and Fe, sulfosalicylic acid was the most effective in extracting these elements from compost samples.

Keywords: Organic compounds, Digestion method, Heavy metals, Compost.

