

تأثیر کاربرد کمپوست زباله شهری بر غلظت آهن و منگنز در خاک و گیاه ذرت (*Zea Mays L.*)

مریم فلاحی مطلق و عبدالامیر بستانی¹

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شاهد؛ m.falahi9013@gmail.com

استادیار دانشگاه شاهد؛ bostani@shahed.ac.ir

دریافت: 92/8/26 و پذیرش: 93/2/21

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد کمپوست زباله شهری بر غلظت آهن و منگنز در خاک تحت کشت ذرت علوفه‌ای، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با دو عامل الف) مقادیر مختلف کمپوست زباله شهری در چهار سطح صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ تن بر هکتار و ب) زمان مصرف در دو سطح اعمال یک ساله و دو ساله کمپوست در سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد کمپوست زباله شهری تأثیر معنی‌داری بر کاهش pH و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و کربن آلی خاک داشت ($p \leq 0.01$). کمپوست زباله شهری باعث افزایش معنی‌دار آهن و منگنز کل خاک و قابل استخراج با DTPA گردید ($p \leq 0.01$). بیش‌ترین مقدار آهن و منگنز قابل جذب به ترتیب برابر با 12/03 و 18/52 میلی‌گرم در کیلوگرم، مربوط به تیمار 60 تن درهکتار سال دوم بدست آمد به طوری که در مقایسه با تیمار شاهد برای آهن 275/89% و برای منگنز 45/75 درصد افزایش نشان داد. نتایج نشان داد کمپوست زباله شهری اثر معنی‌داری بر افزایش غلظت آهن و منگنز در ریشه و اندام هوایی داشت ($p \leq 0.01$). بیشترین مقدار جذب آهن و منگنز در تیمار سال دوم 60 تن بر هکتار مشاهده شد که در مقایسه با شاهد برای عنصر آهن در ریشه و اندام هوایی به ترتیب 69/59 و 81/48 درصد و برای عنصر منگنز در ریشه و اندام هوایی به ترتیب 46% و 37/52 درصد افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار عامل دسترسی زیستی برای آهن و منگنز، مربوط به تیمار 60 تن درهکتار سال دوم بدست آمد به طوری که در مقایسه با تیمار شاهد برای آهن 280% و برای منگنز 33/33 درصد افزایش نشان داد. همچنین بیش‌ترین مقدار عامل انتقال از خاک به اندام هوایی برای آهن و منگنز، مربوط به تیمار 60 تن درهکتار سال دوم بدست آمد که در مقایسه با تیمار شاهد برای آهن 70 و برای منگنز 30/18 درصد افزایش نشان داد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین آهن و منگنز کل و قابل استخراج با DTPA در خاک و غلظت این عناصر در ریشه و اندام هوایی گیاه مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: آهن و منگنز کل و قابل استخراج با DTPA، مقدار جذب آهن و منگنز

¹ نویسنده مسئول، آدرس: تهران، بزرگراه خلیج فارس، روبروی حرم مطهر امام خمینی (ره)، دانشگاه شاهد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی علوم خاک

مقدمه

لامب⁶، (2003). ماده آلی شامل اجزا هوموسی و غیرهوموسی می باشد که جزء هوموس تأثیرات بلند مدتی بر روی خاکها دارد. اسید هومیک از اجزا اصلی هوموس می باشد (مک براید⁷، 1982). که به همراه اسید فلوویک باعث کیلیت عناصر غذایی کم مصرف و تسهیل در جذب به وسیله ریشه گیاه می شود (کولیکووا⁸ و همکاران، 2005). مواد آلی، عوامل کیلیت کننده دیگری نظیر آلیفاتیک اسیدهای ساده، فنلها و فنولیک اسید و ترکیبات پلیمری فنلها تولید می کند (کلاتری و همکاران، 1386). کیلیت شدن آهن توسط فلوویک اسید و سایر اسید هومیکهای با وزن مولکولی کم، که در تجزیه مواد آلی خاک تولید می شوند نقش مهمی در حلالیت آهن و نگهداری آن در محلول خاک ایفا می کند (معز اردلان و ثوابقی، 1388). مک براید⁹ (1982) اظهار می دارد که اجزاء ماده آلی مثل هومیک اسید و فلوویک اسید با آهن و مس کمپلکسهای درون کره ای¹⁰ (کمپلکسهای پایدار) و با روی و منگنز کمپلکسهای برون کره ای¹¹ (کمپلکسهای ضعیف) تشکیل می دهند. تشکیل پیوند یونهای فلزی با مواد هومیکی به pH، نوع و مقدار گروههای عاملی اسیدی، طول پیوند و وزن مولکولی آنها بستگی دارد. با افزایش pH و افزایش طول پیوند، کاتیونهای سه ظرفیتی نسبت به کاتیونهای دو ظرفیتی پیوند بیشتری تشکیل می دهند (مورتودت¹² و همکاران، 1991). استونسون¹³ (1991) اظهار می دارد که عنصر آهن کمپلکسهای پایدارتری نسبت به منگنز تشکیل می دهد. وارمن¹⁴ و همکاران (2009) بیان کردند که با افزایش سطوح کمپوست زباله شهری، مقدار آهن و منگنز قابل دسترس خاک، به طور معنی داری افزایش یافت. ارتیز و آلکانیز¹⁵ (2006) گزارش کردند که حضور مواد آلی میزان فلزات قابل جذب خاک از قبیل آهن و منگنز را افزایش می دهد. شاهیان و سماوات (1382) نیز نشان دادند که مصرف کمپوست باعث افزایش معنی دار میانگین غلظت عناصر غذایی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، آهن، روی و مس در برگهای خیار گردید.

آهن حدود 50 گرم در کیلوگرم (5 درصد) و منگنز حدود یک گرم در کیلوگرم (0/1 درصد) پسته زمین را تشکیل می دهند (معز اردلان و ثوابقی، 1388). با وجود آنکه آهن و منگنز از فراوانترین عناصر کم مصرف در زمین هستند (میرزاپور و خوش گفتار منش، 1387). اما کمبود این عناصر از مهم ترین مشکلات تغذیه گیاهان در خاکهای آهکی می باشد (شریفی و همکاران، 1390). آهن در این خاکها به شکل اکسید، هیدرواکسید و اکسی هیدرواکسید آهن حضور دارد که به آسانی برای گیاه قابل دسترس نیست (آریابد و همکاران، 1387). این عنصر برای رشد گیاه ضروری بوده و فعال کننده چندین آنزیم گیاهی است که در سنتز RNA و تثبیت بیولوژیک نیتروژن مشارکت داشته و در فتوسنتز نقش کلیدی ایفا می کند (لوسینا¹، 2000). مقدار قابل جذب این عنصر برای گیاه به ویژگیهای خاک و ژنوتیپ گیاهی بستگی دارد (میلر و پوشنیک²، 1984). آهن در واکنشهای اکسایش و کاهش خاک در درجه دوم نسبت به منگنز قرار دارد. شرایط اکسایشی-کاهش منگنز اغلب کمتر از آهن برگشت پذیر است. بنابراین منگنز نسبت به تغییرات اکسایشی-کاهش عکس العمل کندتری از خود نشان می دهد (بوئن³ و همکاران، 1985). با ایجاد شرایط کاهش منگنز به فرم اسیدی و موجود در فاز آلی آزاد شده و به فرمهای قابل دسترس برای گیاه از قبیل منگنز محلول در آب و منگنز تبدالی تبدیل می شود (سیمز و پاتریک⁴، 1978).

روزانه به طور متوسط 5000 تن زباله خانگی از سطح شهر تهران جمع آوری می شود که حدود 65 تا 75 درصد مواد متشکله آن را مواد آلی قابل تجزیه تشکیل می دهد. بنابراین با تبدیل این زبالهها به کمپوست و اضافه کردن آنها به خاک می توان کمبود مواد آلی را برطرف کرد (اله دادی و همکاران، 1390). باستا⁵ و همکاران (2007) بیان کردند که کمپوست، باعث افزایش تبادل کاتیونی و آزاد کننده تدریجی عناصر غذایی می باشد. مطالعات مختلف نشان می دهد که مصرف کمپوست زباله شهری در خاکهای آهکی بطور معنی دار باعث کاهش pH و افزایش کربن آلی خاک می شود (لابوسکی و

6. Laboski and Lamb

7. McBride

8. Kulikova

9. McBride

10. Inner Sphere

11. Outer Sphere

12. Mortvedt

13. Stevenson

14. Warman

15. Ortiz and Alkaniz

1. Lucena

2. Miller and pushnik

3. Bohn

4. Sims and Patrick

5. Basta

صورت گرفت. ابعاد کرت در سال اول 12 و در سال دوم 6 متر مربع تعیین شد. تعداد بوته در واحد متر مربع 10 عدد، فاصله کاشت بین بوته‌ها 20 سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها 50 سانتی‌متر انتخاب شد. کشت به صورت دستی و طبق اصول به زراعی و آبیاری به صورت منظم انجام شد. عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک به خاک اضافه شدند. در پایان فصل رشد نمونه مرکب خاک (30-0 سانتی‌متر) از کرت‌های مختلف تهیه و پس از هوا خشک شدن و عبور از الک 2 میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن شامل درصد اشباع، هدایت الکتریکی و pH به روش رودز² (1982)، بافت خاک با روش هیدرومتر (بایوکاس³، 1962)، ماده آلی به روش اکسایش تر (نلسون و سامرز⁴، 1982)، کربنات کلسیم به روش کلسیمتر فشاری (نلسون⁵، 1982) و گنجایش تبادل کاتیونی به روش استات سدیم در pH= 8/2 (باور⁶، 1952) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری آهن و منگنز قابل دسترس و کل خاک به ترتیب از روش DTPA (لیندسی و نورول⁷، 1978) و روش اسیدنیتریک، آب اکسیژنه و اسید کلریدریک (گوپتا⁸، 2000) استفاده شد. برای اندازه‌گیری غلظت این عناصر در گیاه نیز از هر کرت یک نمونه مرکب از سه نمونه بعد از پایان یافتن دوره کامل رشد رویشی و زایشی از اندام هوایی و ریشه برداشته و پس از آماده‌سازی به روش هضم تر (هضم با اسید نیتریک و پرکلریک) عصاره‌گیری شد (گوپتا، 2000). در نهایت غلظت عناصر با دستگاه جذب اتمی مدل Analytic Jena Contra AA300 قرائت گردید. محاسبات آماری با نرم‌افزار SAS و نمودارها با Excel ترسیم شد.

نتایج و بحث

جدول 1 برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اعمال تیمار را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این جدول مشخص است بافت خاک نسبتاً سبک، دارای کربن آلی کم بوده و خاک آهکی می‌باشد.

مفتون¹ و همکاران (2004) نیز گزارش کردند که با افزایش کمپوست زباله شهری مقدار جذب منگنز در اسفناج در خاک‌های آهکی افزایش یافت. عباسی‌زاده (1386) گزارش کرد که غلظت آهن در بافت گیاهی ذرت در خاک‌های تیمار شده با کمپوست و لجن فاضلاب، به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. بخش عمده‌ای از خاک‌های کشاورزی ایران به دلیل کمبود ماده آلی، pH قلیایی، کربنات کلسیم معادل بالا و... دارای کمبود عناصر آهن، منگنز، روی و مس هستند (ملکوتی و همکاران، 1387). یزدانی و همکاران (1391) با مطالعه وضعیت آهن، منگنز، روی و مس در اراضی کشاورزی جنوب تهران به وسعت 20000 هکتار متوسط غلظت قابل استخراج با DTPA این عناصر را به ترتیب 2/6، 3/34، 2/1 و 1/16 میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آوردند. این درحالی است که لیندسی و نورول (1978) حد آستانه آهن قابل استخراج با DTPA برای ذرات در خاک‌های آهکی را 4/5 میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آوردند. همچنین در مطالعه‌ای توسط غفاری‌نژاد و کریمیان (1377)، حد آستانه منگنز در خاک‌های آهکی شیراز برای سویا 13 میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آمد. با توجه به کمبود غلظت این عناصر در اراضی جنوب تهران و وجود کارخانه کمپوست زباله شهری در این منطقه هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر کمپوست زباله شهری و دفعات کاربرد بر غلظت عناصر آهن و منگنز در خاک و گیاه ذرت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف کمپوست زباله شهری تهران بر غلظت آهن و منگنز در خاک و گیاه ذرت (*Zea Mays L.*)، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی 90-89 و 91-90 انجام شد. عامل اول چهار سطح تیمار کمپوست شامل صفر (شاهد)، 15، 30 و 60 تن بر هکتار و عامل دوم کاربرد یکساله و دو ساله در نظر گرفته شد. به این صورت که کرت‌ها در سال اول مشخص و سطوح مختلف تیمار به آن افزوده شد و در سال دوم هر کرت به دو قسمت مساوی تقسیم شد و تنها به یک قسمت آن همان تیمار سال قبل افزوده شد. عملیات آماده‌سازی و افزودن کمپوست در اردیبهشت و کشت ذرت (سینگل گراس 704) در تیرماه

2. Rhoades

3. Bowyoucos

4. Nelson and Sommers

5. Nelson

6. Bower

7. Lindsay and Norvell

8. Gupta

1. Mafton

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی قبل از اعمال تیمارها

بافت	pH	EC	رس	سیلت	شن	SP	OC	CCE*	CEC	آهن	منگنز	روی	مس
	-	dS m ⁻¹			درصد			Cmol _c kg ⁻¹	DTPA (mg kg ⁻¹)				
لوم	8/28	10/06	24	40	36	31	1/17	11/5	12/13	2/78	11/89	4/86	4/17

* کربنات کلسیم معادل

جدول 2 برخی از ویژگی‌های کمپوست زباله شهری مورد استفاده را نشان می‌دهد. با توجه به استانداردهای WHO ارائه شده برای کمپوست توسط مراجعی همچون EPA (آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا) بجز شوری، سایر پارامترها در شرایط مطلوبی قرار دارند (ابراهیمی و همکاران، 1387).

جدول 2- برخی از ویژگی‌های کمپوست زباله شهری مورد استفاده

مس	روی	منگنز	آهن	K	P	N	C/N	OC	EC (1:2)	pH (1:2)
						درصد			dS m ⁻¹	-
312/7	609/5	426/65	16200	0/58	0/68	2/05	12/1	25	10	7/2

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر کمپوست زباله شهری بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد که سطوح کمپوست زباله شهری و دفعات اعمال

تأثیر معنی‌داری بر pH، کربن آلی، کربنات کلسیم معادل، درصد اشباع و شوری خاک دارد (جدول 3).

جدول 3- تجزیه واریانس pH، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی، درصد اشباع خاک و شوری در خاک در سطوح

کمپوست زباله شهری

EC	SP	OC	CCE	pH	درجه آزادی	منابع تغییرات
dS m ⁻¹		درصد		-		
0/81*	0/041 ^{ns}	0/015 ^{ns}	0/006 ^{ns}	0/05 ^{ns}	2	تکرار
51/28**	11/49**	0/34**	0/21**	1/10**	3	کمپوست زباله شهری
5/41**	7/49 ^{ns}	0/13**	0/001 ^{ns}	0/15*	1	دفعات کاربرد
0/69 ^{ns}	2/39 ^{ns}	0/01*	0/016 ^{ns}	0/021 ^{ns}	3	کمپوست × دفعات
0/22	2/33	0/004	0/015	0/033	14	خطا
3/52	4/74	4/42	1/10	2/41		ضریب تغییرات

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد و غیرمعنی‌دار

10/32 و 67/49 درصد افزایش یافت. در مقابل میزان pH و کربنات کلسیم معادل در تیمار 60 تن بر هکتار در مقایسه با شاهد به ترتیب 11/78 و 3/48 درصد کاهش یافت.

جدول 4 نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر سطوح کمپوست زباله شهری بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که میزان کربن آلی، درصد اشباع و شوری خاک در تیمار 60 تن بر هکتار در مقایسه با شاهد به ترتیب 46/66،

جدول 4- مقایسه میانگین اثر سطوح کمپوست زباله شهری بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک پس از برداشت محصول (1391)

EC	SP	OC	CCE ⁷	pH	کمپوست زباله شهری (تن در هکتار)
dS m ⁻¹		درصد		-	
10/06 ^d	31/00 ^b	1/20 ^d	11/48 ^a	8/23 ^a	شاهد
12/48 ^c	31/33 ^b	1/46 ^c	11/08 ^c	7/58 ^b	15
14/76 ^b	32/57 ^{ab}	1/60 ^b	11/28 ^b	7/40 ^{bc}	30
16/85 ^a	34/20 ^a	1/76 ^a	11/08 ^c	7/26 ^d	60

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون از نظر آماری با توجه به آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5 درصد معنی‌دار نیستند.

همکاران (2005)، مایناردز⁵ (1995) و بروزینی و دلزان⁶ (1992) نیز به افزایش ماده آلی در نتیجه افزودن کمپوست زباله شهری اشاره کرده‌اند. همچنین نتایج نشان داد که pH در تیمارهای 15، 30 و 60 تن بر هکتار در مقایسه با شاهد در کرت‌هایی که یک‌بار کمپوست دریافت نمودند به ترتیب 6/43، 9/35 و 10/08 درصد و برای کرت‌های با اعمال دو مرتبه کمپوست زباله شهری، به ترتیب 9/35، 10/93 و 13/36 درصد کاهش یافت ($p \leq 0.05$).

هاولین⁷ و همکاران (2005) بیان کردند که مواد آلی افزوده شده به خاک، به وسیله میکروارگانیسم‌ها تجزیه شده و با تولید اسیدهای آلی و آزاد کردن CO₂، موجب کاهش pH خاک می‌گردند. مطالعات آتیه⁸ و همکاران (2001) نشان داد که افزایش کمپوست در خاک، منجر به کاهش pH خاک می‌گردد همچنان که ماریناری⁹ و همکاران (2000) نیز به کاهش pH خاک با افزودن میزان کمپوست اشاره کرده‌اند. علاوه بر کربن آلی و pH، شوری نیز تحت تأثیر افزودن کمپوست زباله شهری قرار گرفت. اصلی‌ترین عیب کاربرد کمپوست زباله شهری، افزایش شوری آن می‌باشد. به طوری که برای کرت‌های با اعمال یک مرتبه کمپوست، در تیمارهای شاهد، 15، 30 و 60 تن بر هکتار، به ترتیب مقادیر 10/06، 12، 14/13 و 16/06 دسی‌زیمنس بر متر و برای کرت‌های با اعمال دو مرتبه کمپوست، به ترتیب مقادیر 10/06، 12/96، 15/40 و 17/67 دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. افزایش شوری در خاک‌های تیمار شده با کمپوست زباله شهری توسط هارگریوز¹⁰ و همکاران (2008) گزارش شده است. با توجه به این که EC کمپوست زباله شهری 10 دسی-

جدول 5 نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح و دفعات اعمال کمپوست زباله شهری بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که میزان کربن آلی در تیمارهای 15، 30 و 60 تن بر هکتار در کرت‌هایی که یک‌بار کمپوست دریافت نمودند به ترتیب 16/1، 27/11 و 36/44 درصد افزایش داشت. این افزایش برای کرت‌های با اعمال دو مرتبه کمپوست زباله شهری، به ترتیب 29/66، 44/06 و 61/01 درصد بود ($p \leq 0.05$). این نتایج بیانگر تأثیر حدود دو برابری کمپوست زباله شهری بر کربن آلی در سال دوم در مقایسه با سال اول می‌باشد. مطالعات مختلف نشان می‌دهد مواد آلی با داشتن وزن مولکولی پایین، از طریق تشکیل لیگاندهای آلی محلول، کربوکسیلیک اسیدها، اسیدهای آمینه و فلویک اسید، جذب فلزات توسط گیاهان را افزایش می‌دهند (آچیب¹ و همکاران، 2009).

نتایج نشان داد مقدار کربن آلی در تیمارهای 30 تن بر هکتار سال دوم و 60 تن بر هکتار سال اول و همچنین 15 تن بر هکتار سال دوم و 30 تن بر هکتار سال اول، با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند. این مسئله ابقاء و اثر بخشی کمپوست زباله شهری بر ویژگی‌های مختلف خاک را برای چند سال متوالی نشان می‌دهد. برون و کتون² (2011) گزارش کردند که با افزایش کمپوست زباله شهری، میانگین کربن آلی در عمق صفر تا 15 سانتی متری به طور معنی‌داری افزایش یافت. مطالعات همت³ و همکاران (2010) نیز نشان داد که میزان کربن آلی، با افزایش کمپوست زباله شهری افزایش یافت. دلاز⁴ و

5. Maynards
6. Baruzzini and Delzan
7. Havlin
8. Atiyeh
9. Marinari
10. Hargreaves

1. Achiba
2. Brown and Cotton
3. Hemmat
4. De Las

مواد منجر به تشکیل اسیدهای آلی و گاز دی اکسید کربن شده و در نهایت با کاهش pH خاک، قابلیت دسترسی عناصر مذکور را افزایش می‌دهد (شریفی و همکاران، 1390). لی² و همکاران (2007) گزارش کردند که غلظت غلظت آهن و منگنز قابل استخراج با DTPA با افزایش مواد آلی در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین محمت³ و همکاران (2006) بیان کردند که که کاربرد لیجن فاضلاب، منجر به افزایش مقدار آهن قابل استخراج با DTPA گردید. زلجازکو و وارمن⁴ (2004) نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که افزودن کمپوست زباله شهری در خاک‌های لوم شنی، منجر به افزایش منگنز کل خاک در مقایسه با تیمار شاهد گردید. مطالعات روغنیان (1384) نشان داد که کمپوست زباله شهری و شیرابه آن، غلظت آهن و منگنز قابل جذب خاک را افزایش داد. مرجوی و جهاد اکبر (1381)، نیز در مطالعه‌ای که انجام دادند به این نتیجه رسیدند که میزان عناصر غذایی مثل آهن، روی و مس به صورت معنی‌داری در خاک تیمار شده با کمپوست زباله شهری بیشتر گردید. همچنین مطالعات وی⁵ و همکاران (2006) نشان داد که قابلیت دسترسی آهن، منگنز و روی با افزایش مواد آلی افزایش یافت.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین مربوط به اثر دفعات اعمال کمپوست بر غلظت آهن و منگنز قابل استخراج با DTPA نشان داد که غلظت این دو عنصر در تیمارهایی که دو مرتبه کمپوست دریافت نموده بودند (96/11 درصد افزایش نسبت به شاهد) به طور معنی‌داری در مقایسه با کرت‌هایی که یک بار کمپوست دریافت کردند (19/21 درصد افزایش نسبت به شاهد) بالاتر بود ($p \leq 0.01$). این در حالی است که اثر دفعات اعمال کمپوست بر غلظت آهن و منگنز کل معنی‌دار نشد (شکل 1).

نتایج نشان داد که غلظت آهن کل در مقایسه با شاهد در تیمارهای 15، 30 و 60 تن بر هکتار در کرت-هایی که یک‌بار کمپوست دریافت نمودند به ترتیب 0/11، 3/08 و 4/46 درصد و برای کرت‌های با اعمال دو مرتبه کمپوست زباله شهری، به ترتیب 0/25، 3/83 و 5/48 درصد افزایش داشت.

زیمنس بر متر می‌باشد افزایش شوری خاک‌های تیمار شده با کمپوست زباله شهری را می‌توان به املاح موجود در کمپوست نسبت داد. نتایج نشان داد اثر کمپوست زباله شهری بر درصد اشباع خاک (SP) محدودتر بوده به گونه‌ای که درصد اشباع از 31 برای تیمار شاهد به 33 و 35/3 برای تیمار 60 تن بر هکتار به ترتیب در سال اول و دوم افزایش یافت ($p \leq 0.05$). این افزایش بین تیمارهای شاهد، 15 و 30 تن بر هکتار معنی‌دار نشد. ظرفیت تبادل کاتیونی نیز با افزایش کمپوست زباله شهری، افزایش یافت به طوری که در تیمارهای 15، 30 و 60 تن بر هکتار نسبت به تیمار شاهد در کرت‌هایی که یک‌بار کمپوست دریافت نمودند به ترتیب 4/45، 12/03 و 15/58 درصد افزایش داشت. این مقادیر برای کرت‌های با اعمال دو مرتبه کمپوست زباله شهری، به ترتیب 19/12، 25/63 و 29/67 درصد افزایش داشت. بولدانتونی¹ و همکاران (2010) گزارش کردند که افزودن کمپوست زباله شهری به یک خاک آهکی با بافت لوم شنی، ظرفیت تبادل کاتیونی افزایش یافت.

اثر کمپوست زباله شهری بر غلظت آهن و منگنز در خاک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر سطوح کمپوست زباله شهری بر غلظت آهن و منگنز کل و قابل استخراج با DTPA در جدول 6 آمده است. نتایج نشان داد که کمپوست زباله شهری تأثیر معنی‌داری بر میزان آهن و منگنز کل و قابل استخراج با DTPA داشته است ($p \leq 0.01$).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر سطوح کمپوست زباله شهری بر غلظت آهن و منگنز کل و قابل استخراج با DTPA در جدول 7 ارائه شده است. نتایج نشان داد که غلظت آهن کل و قابل دسترس در تیمار 60 تن بر هکتار در مقایسه با شاهد به ترتیب 4/97، 178/06 درصد افزایش یافت. این افزایش برای منگنز کل و قابل-دسترس به ترتیب 6/33، 32/04 درصد بدست آمد. شریفی و همکاران (1390) بیان کردند که کاربرد کمپوست زباله شهری در مقایسه با شاهد، سبب افزایش معنی‌دار آهن قابل جذب خاک شد. مطالعات نشان می‌دهد که ماده آلی اضافه شده به خاک با تشکیل کمپلکس با آهن، از رسوب آن جلوگیری کرده و حلالیت آن را در خاک بالا می‌برد. کود آلی علاوه بر اینکه حاوی عناصر کم مصرف از جمله آهن و روی می‌باشد تجزیه آن

2. Li

3. Mehmet

4. Zheljzakov and Warman

5. Wei

1. Baldantoni

جدول 5- نتایج مقایسه میانگین ویژگی‌های خاک پس از کاربرد سطوح مختلف کمپوست

SP	OC	CCE*	pH	EC	دفعات تیمار
درصد			-	dS m ⁻¹	Ton ha ⁻¹
31/0 ^{b30/}	1/18 ^f	11/50 ^a	8/23 ^a	10/06 ^f	0
30/66 ^b	1/37 ^e	11/03 ^c	7/70 ^b	12/00 ^e	15
31/66 ^b	1/50 ^d	11/35 ^{ab}	7/46 ^{bc}	14/13 ^c	30
33/0 ^{ab}	1/61 ^{bc}	11/13 ^{bc}	7/40 ^{bcd}	16/06 ^b	60
31/0 ^b	1/18 ^f	11/46 ^a	8/23 ^a	10/06 ^f	0
32/0 ^b	1/53 ^{dc}	11/13 ^{bc}	7/46 ^{bc}	12/96 ^d	15
33/0 ^{ab}	1/70 ^b	11/17 ^{cb}	7/33 ^{dc}	15/40 ^b	30
35/33 ^a	1/90 ^a	11/10 ^c	7/13 ^d	17/63 ^a	60

*کربنات کلسیم معادل

جدول 6- تجزیه واریانس اثر کمپوست زیاله و دفعات اعمال بر غلظت آهن و منگنز کل و قابل استخراج با DTPA

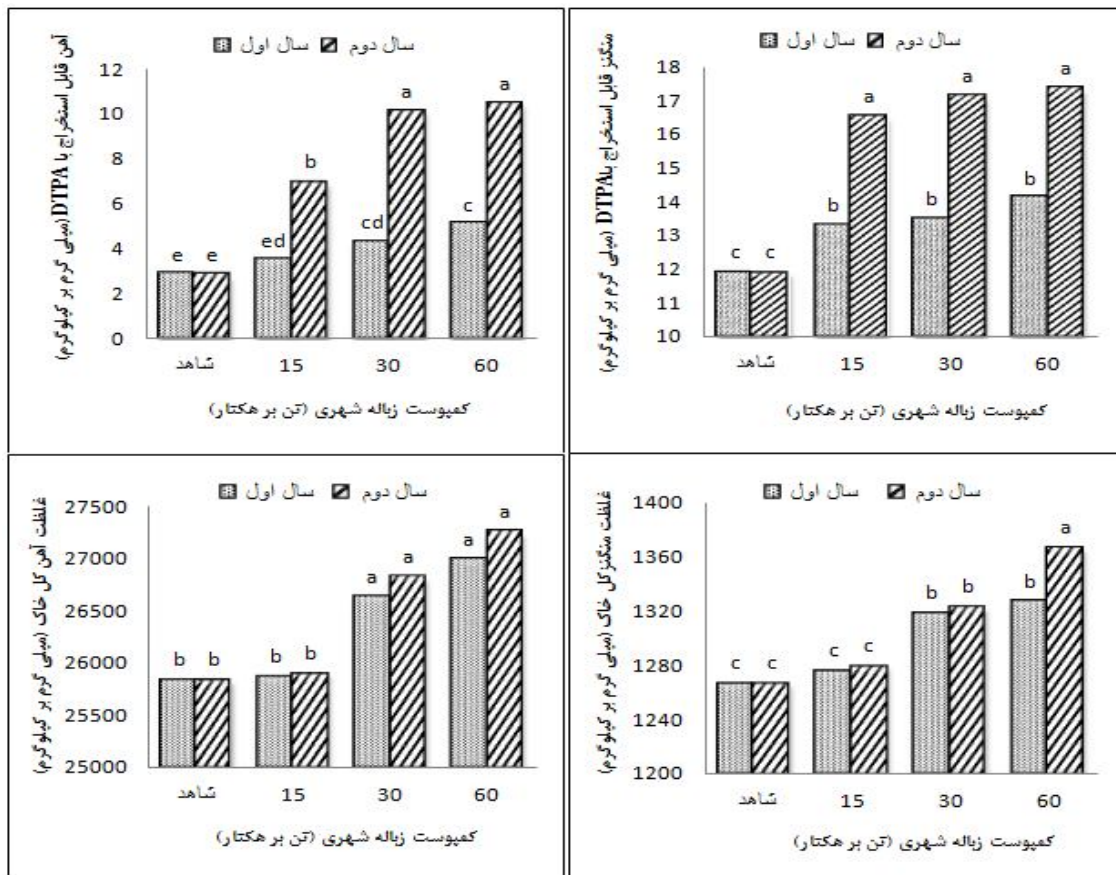
منگنز	آهن	منگنز	آهن	درجه آزادی	منابع تغییرات
قابل استخراج با DTPA		کل			
0/05 ^{ns}	0/02 ^{ns}	310/88 ^{ns}	275786/5 ^{ns}	2	تکرار
54/008 ^{**}	90/49 ^{**}	25223/9 ^{**}	726800/6 ^{**}	3	کمپوست زیاله شهری
115/41 ^{**}	246/86 ^{**}	2559/1 ^{ns}	273491/7 ^{ns}	1	دفعات کاربرد
12/98 ^{**}	32/18 ^{**}	1565/23 ^{ns}	70327/17 ^{ns}	3	کمپوست × دفعات
1/3	0/76	1198/88	517911/37	14	خطا
7/9	15/3	2/66	2/73		ضریب تغییرات

جدول 7- مقایسه میانگین غلظت عناصر آهن و منگنز کل و استخراج شده با DTPA از خاک در

سطوح کمپوست زیاله شهری

منگنز	آهن	منگنز	آهن	کمپوست زیاله شهری (تن در هکتار)
DTPA (mg kg ⁻¹)		Total (mg kg ⁻¹)		
11/89 ^c	2/78 ^c	1266/19 ^c	25833/6 ^b	شاهد
14/89 ^b	5/18 ^b	1277/0 ^c	25879/9 ^b	15
15/27 ^{ab}	7/17 ^a	1320/19 ^b	26726/0 ^a	30
15/70 ^a	7/73 ^a	1346/35 ^a	27117/1 ^a	60

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون از نظر آماری با توجه به آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 8 درصد معنی دار نیستند



شکل 1- اثر سطوح کمپوست زباله شهری و تعداد دفعات مصرف بر غلظت آهن و منگنز قابل دسترس و کل در خاک (اعداد دارای حروف مشترک از نظر آماری با توجه به آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5 درصد معنی‌دار نیستند)

آنتونیادیس و آلوی² (2003) نیز افزایش غلظت منگنز قابل جذب خاک را با استفاده از تیمار 60 تن در هکتار کمپوست از 2 میلی‌گرم بر کیلوگرم به 4 میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کرده‌اند. تأثیر کمپوست زباله شهری بر عملکرد و غلظت آهن و منگنز در گیاه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر سطوح کمپوست زباله شهری بر عملکرد و غلظت آهن و منگنز در ریشه و اندام هوایی ذرت در جدول 8 نشان داده شده است. نتایج نشان داد که کمپوست زباله شهری و دفعات کاربرد تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و غلظت آهن و منگنز در ریشه و اندام هوایی داشته است.

این افزایش برای منگنز کل در مقایسه با شاهد در تیمارهای 15، 30 و 60 تن بر هکتار در سال اول به ترتیب 0/72، 4/09، 4/76 درصد و برای سال دوم، به ترتیب 0/99، 4/44، 7/9 درصد به دست آمد. همچنین غلظت آهن قابل استخراج با DTPA در تیمارهای 15، 30 و 60 تن بر هکتار در مقایسه با شاهد در کرت‌هایی که یکبار کمپوست دریافت نمودند به ترتیب 23/38، 52/16 و 80/22 درصد و برای کرت‌های با اعمال دو مرتبه کمپوست زباله شهری، به ترتیب 149/28، 263/31 و 275/9 درصد افزایش داشت. این افزایش برای منگنز قابل استخراج با DTPA در تیمارهای 15، 30 و 60 تن بر هکتار در مقایسه با تیمار شاهد در سال اول به ترتیب 11/69، 13/12، 18/42 درصد و برای سال دوم، به ترتیب 38/86، 43/73، 45/75 درصد به دست آمد. این نتایج با مطالعات وی¹ و همکاران (2006) مطابقت دارد.

² Antoniadis and Alloway

¹ Wei

جدول 8- تجزیه واریانس عملکرد و غلظت آهن و منگنز در ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد تر (t ha ⁻¹)	آهن ریشه	منگنز ریشه	آهن اندام هوایی	منگنز اندام هوایی
تکرار	2	1/77 ^{ns}	931389/76 ^{**}	41/44 ^{ns}	3/0 ^{ns}	59/45 ^{ns}
کمپوست زباله شهری	3	698/56 ^{**}	7051605/09 ^{**}	6125/68 ^{**}	4701/57 ^{**}	1418/79 ^{**}
دفعات کاربرد	1	66/89 ^{**}	671447/35 [*]	6272/93 ^{**}	1630/81 ^{**}	729/87 [*]
کمپوست × دفعات	3	13/08 ^{**}	161749/35 ^{ns}	1140/74 ^{**}	300/07 ^{**}	83/43 ^{ns}
خطا	14	0/709	128361/63	79/33	26/76	196/76
ضریب تغییرات		1/71	12/21	5/49	7/02	18/25

ns، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد و غیرمعنی‌دار

با دو بار اعمال کمپوست نسبت به یک مرتبه اعمال آن به ترتیب 6/81 و 13/80 درصد افزایش یافت ($p \leq 0.01$). این افزایش برای عنصر منگنز فقط در ریشه معنی‌دار و غلظت آن در ریشه برای تیمارهای با دوبرار اعمال کمپوست نسبت به یک مرتبه اعمال آن 12/21 درصد افزایش یافت ($p \leq 0.01$). روغنیان (1384) با مطالعه تأثیر کمپوست زباله شهری و شیرابه آن بر غلظت برخی عناصر کم مصرف در گیاه ذرت به این نتیجه رسید که با افزایش سطوح کمپوست زباله شهری، غلظت آهن، منگنز، روی و مس در گیاه ذرت افزایش یافت.

شکل 2 نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کمپوست زباله شهری و دفعات اعمال آن بر عملکرد و غلظت آهن و منگنز در ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار عملکرد در تیمار سال دوم 60 تن بر هکتار مشاهده شد که در مقایسه با شاهد 40/55 درصد افزایش یافت. نتایج نشان داد که در مجموع غلظت این عناصر در ریشه بیش از اندام هوایی و در سال دوم بیش از سال اول است. بیشترین مقدار جذب آهن و منگنز در تیمار سال دوم 60 تن بر هکتار مشاهده شد که در مقایسه با شاهد برای عنصر آهن در ریشه و اندام هوایی به ترتیب 69/6 و 81/48 درصد و برای عنصر منگنز در ریشه و اندام هوایی به ترتیب 46 و 37/52 درصد افزایش یافت.

وانگ² و همکاران (2007) گزارش کردند که غلظت آهن و منگنز در بافت گیاهی ذرت در خاک‌های تیمار شده با کمپوست و لجن فاضلاب به طور معنی‌داری افزایش یافت. گیاهان در خاک‌های آهکی اغلب دارای کمبود عناصر کم مصرف از جمله آهن می‌باشند.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر سطوح کمپوست زباله شهری بر عملکرد و غلظت آهن و منگنز در ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت در جدول 9 نشان داده شده است. نتایج نشان داد که کاربرد کمپوست زباله شهری به دلیل تأثیرات مثبتی که بر خواص فیزیکی و عناصر غذایی موجود در خاک و گیاه داشت موجب افزایش عملکرد گردید، به طوری که بیش‌ترین عملکرد مربوط به تیمار 60 تن بر هکتار کمپوست زباله شهری بود که در مقایسه با شاهد 35/41 درصد افزایش داشت. این نتایج با نتایج اله‌دادی و همکاران (1390) و علی‌دوست (1380) مطابقت دارد. نتایج نشان داد که غلظت آهن و منگنز در ریشه گیاه ذرت بیش از اندام هوایی بود ($p \leq 0.01$). بین غلظت عناصر در ریشه و اندام هوایی اختلاف زیادی وجود داشت. این اختلاف در آهن مشهودتر از منگنز بود.

غلظت آهن در ریشه و اندام هوایی در تیمار 60 تن بر هکتار کمپوست زباله شهری در مقایسه با شاهد به ترتیب 64/44 و 73/89 درصد افزایش داشت. این افزایش برای منگنز در ریشه و اندام هوایی، به ترتیب 32/11 و 30/59 درصد بدست آمد. این نتایج با نتایج گالاردو-لارا¹ و همکاران (2006) مطابقت دارد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر دفعات اعمال کمپوست زباله شهری بر عملکرد نشان داد که میزان عملکرد برای تیمارهای با دو بار اعمال کمپوست نسبت به یک مرتبه اعمال آن 4/01 درصد افزایش یافت ($p \leq 0.01$). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر دفعات اعمال کمپوست زباله شهری بر غلظت آهن در ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت نشان داد که غلظت این عنصر در ریشه و اندام هوایی برای تیمارهای

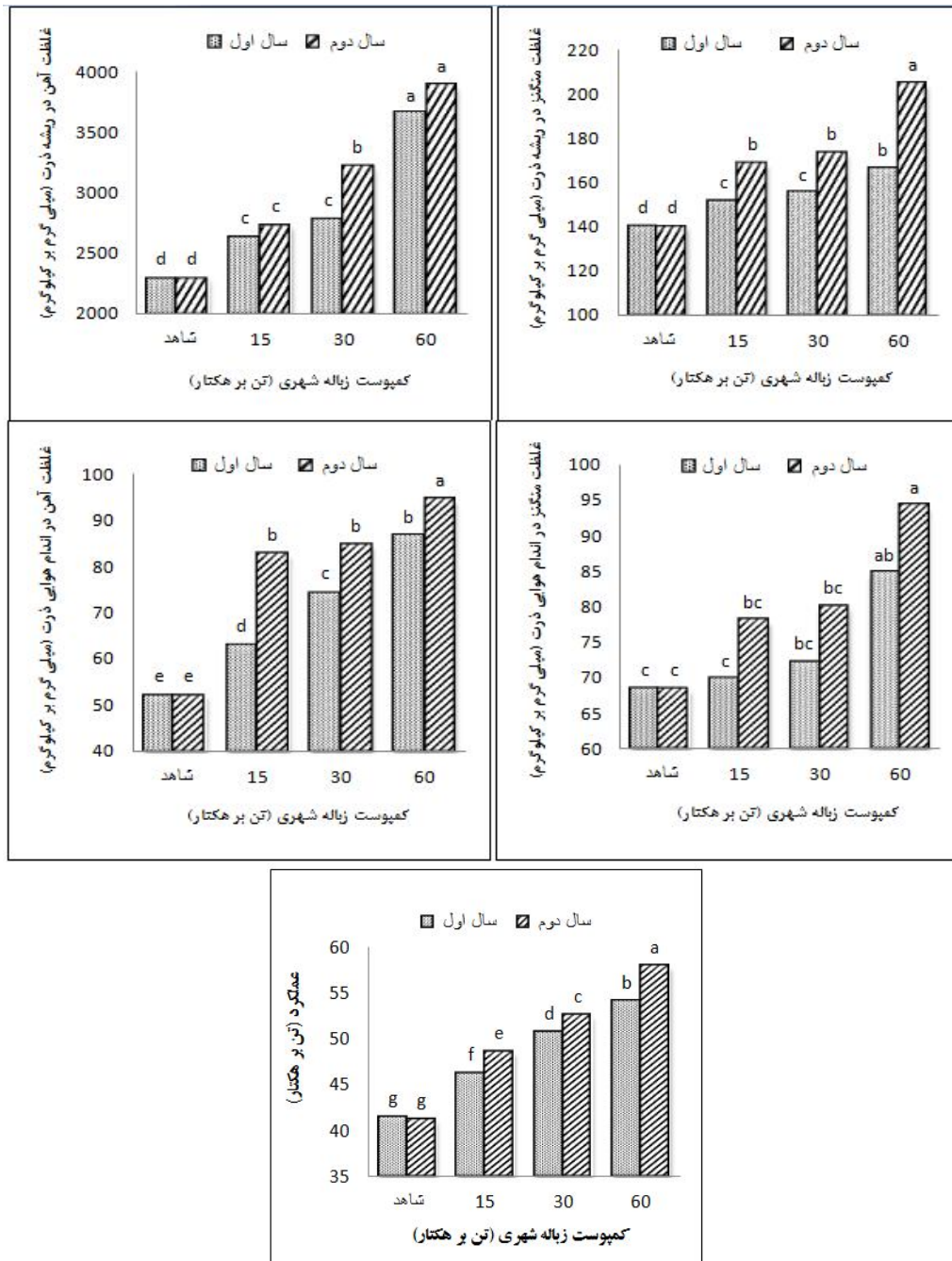
² Wonge

¹ Gallardo-Lara

جدول 9- مقایسه میانگین اثر سطوح کمپوست زیاله شهری بر عملکرد و غلظت آهن و منگنز در ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت

منگنز	آهن	منگنز	آهن	عملکرد تر	کمپوست زیاله شهری
اندام هوایی (mg kg^{-1})		ریشه (mg kg^{-1})		(t ha^{-1})	(تن در هکتار)
68/36 ^b	52/01 ^d	140/06 ^c	2290/1 ^d	41/28 ^d	شاهد
73/79 ^b	72/79 ^c	159/81 ^b	2680/1 ^c	47/33 ^c	15
75/97 ^b	79/37 ^b	164/09 ^b	2999/3 ^b	51/55 ^b	30
89/27 ^a	90/44 ^a	185/04 ^a	3765/8 ^a	55/90 ^a	60

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون از نظر آماری با توجه به آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5 درصد معنی‌دار نیستند.



شکل 2- اثر سطوح کمپوست زیاله شهری و تعداد دفعات مصرف بر عملکرد و غلظت آهن و منگنز در ریشه و اندام هوایی ذرت (اعداد دارای حروف مشترک از نظر آماری با توجه به آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5 درصد معنی‌دار نیستند)

مرتب‌ه کمپوست زباله شهری، به ترتیب 55، 55 و 70 درصد افزایش داشت. این افزایش برای منگنز در تیمارهای 15، 30 و 60 تن بر هکتار در سال اول به ترتیب 1/88، 1/88، 18/86 درصد و برای سال دوم، به ترتیب 15/09، 13/20، 30/18 درصد به دست آمد. نتایج به دست آمده در مورد عامل انتقال متفاوت می‌باشد. زلجازکو و وارمن⁶ (2004) بیان کردند که عامل انتقال در خاک‌های تیمار شده با کمپوست زباله شهری برای منگنز، در چغندر و ریحان کاهش یافت. به نظر می‌رسد نوع و غلظت عنصر در خاک و میزان نیاز گیاه نقش اساسی در روند عامل انتقال به عهده دارند. اوپالووا⁷ و همکاران (2012) در مطالعات خود، افزایش عامل انتقال آهن، روی و مس را از خاک به برگ اسفناج گزارش کردند.

شکل 4 نتایج مربوط به عامل دسترسی زیستی برای آهن و منگنز را نشان می‌دهد. عامل دسترسی زیستی از تقسیم غلظت قابل دسترس عنصر به غلظت کل آن حاصل می‌گردد (بالدانتونی⁸ و همکاران، 2010). کمپوست زباله شهری در مجموع برای هر دو عنصر آهن و منگنز سبب افزایش عامل دسترسی زیستی شد. البته این مسئله برای آهن مشهودتر از منگنز بود. همچنین نتایج نشان داد عامل دسترسی زیستی در سال دوم بطور معنی‌داری بیش از سال اول است ($p \leq 0.01$). نتایج نشان داد که عامل دسترسی زیستی برای آهن از 0/0001 تا 0/0003 و برای منگنز از 0/009 تا 0/012 متغیر می‌باشد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح کمپوست و دفعات اعمال آن نشان داد که عامل دسترسی زیستی برای آهن و منگنز، در تیمار 60 تن بر هکتار نسبت به شاهد در کرت‌هایی که یک بار کمپوست دریافت نمودند به ترتیب 80 و 11/11 درصد و برای کرت‌های با اعمال دو مرتبه کمپوست زباله شهری، به ترتیب 280 و 33/33 درصد افزایش داشت.

خان و اسکولین¹ (2002) گزارش کردند که اسید هومیک می‌تواند با عناصر کم مصرف خاک، کمپلکس تشکیل دهد و قابلیت دسترسی عناصر را برای گیاه افزایش دهد. پژوهش‌های سنتیاگو و دلگادو² (2007) نشان داد که ترکیب‌های آلی نقش مهمی در فراهمی آهن گیاه دارند، مواد هومیکی با تشکیل کمپلکس‌های آلی محلول از رسوب اکسیدهای آهن جلوگیری کرده و موجب افزایش پخشیدگی آهن به سمت ریشه گیاه می‌شوند. بر اساس اطلاعات ارائه شده توسط حاتم و رونقی (1390) گستره بسندگی منگنز در برگ ذرت 50-100 میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. بنابراین بر طبق اطلاعات ارائه شده می‌توان گفت که غلظت منگنز در اندام هوایی در حد مطلوب قرار دارد. این نتایج نشان می‌دهد که کمپوست زباله شهری، کود مناسبی برای تامین منگنز مورد نیاز گیاه، در خاک‌های آهکی می‌باشد.

تأثیر کمپوست زباله شهری بر عامل انتقال و دسترسی زیستی آهن و منگنز

شکل 3 نتایج مربوط به عامل انتقال عناصر آهن و منگنز از خاک به اندام هوایی گیاه ذرت را نشان می‌دهد. عامل انتقال به صورت نسبت غلظت عنصر در اندام هوایی گیاه به غلظت کل عنصر در خاک در تعریف می‌شود (اسمیت³، 2009) که توانایی گیاهان برای انتقال فلزات از خاک به اندام هوایی را نشان می‌دهد (سینگ و آگراول⁴، 2007). نتایج نشان داد که عامل انتقال برای آهن حدود 10 برابر کمتر از منگنز است به گونه‌ای که دامنه تغییر عامل انتقال برای آهن از 0/002 تا 0/003 و برای منگنز از 0/053 تا 0/069 می‌باشد. معمولاً غلظت فلزات بافت گیاه تابعی از غلظت آن‌ها در محلول خاک می‌باشد اما این همبستگی مطابق با گونه و بافت گیاه متفاوت می‌باشد (حسین‌پور و قاجار، 1391). چن⁵ و همکاران (2006) در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیدند که توانایی کمپلکس شدن کاتیون‌های دو ظرفیتی با مواد هومیکی به ترتیب زیر کاهش می‌یابد: $\text{Cu}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Mn}^{2+}$. نتایج نشان داد که عامل انتقال آهن در تیمارهای 15، 30 و 60 تن بر هکتار در کرت‌هایی که یک‌بار کمپوست دریافت نمودند به ترتیب 20، 35 و 60 درصد و برای کرت‌های با اعمال دو

1. Khan and Scullion

2. Santiyago and Delgado

3. Smith

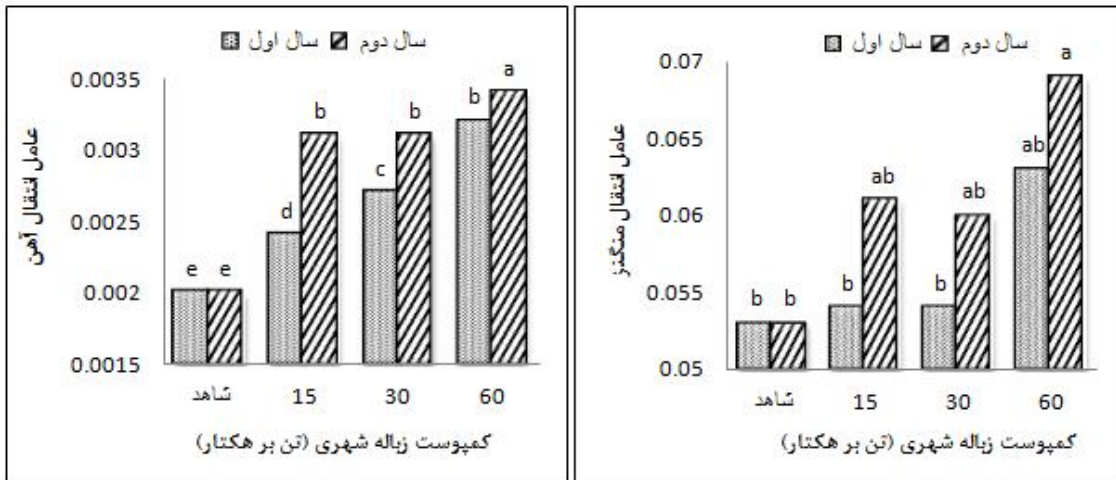
4. Singh and Agrawal

5. Chen

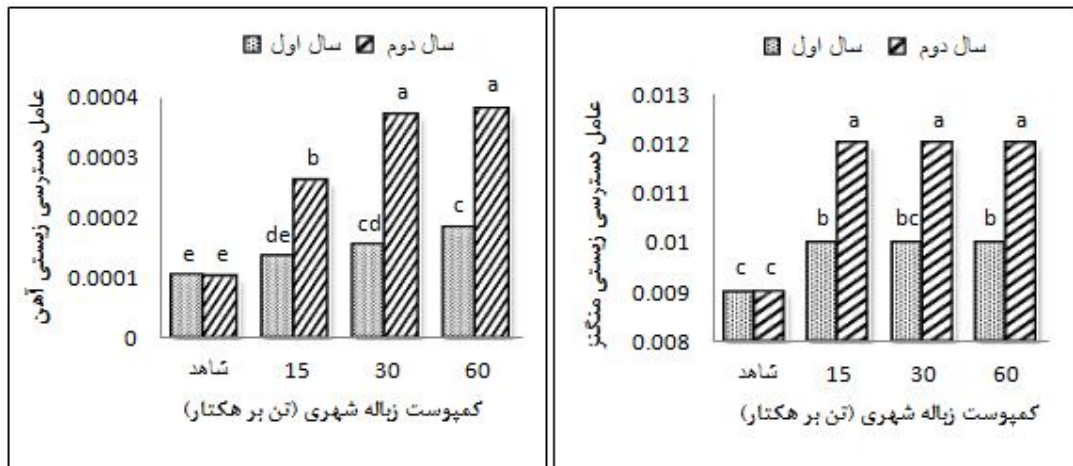
6. Zheljzakov and Warman

7. Opaluwa

8. Baldantoni



شکل 3- اثر سطوح کمپوست زیاله شهری و تعداد دفعات مصرف بر عامل انتقال آهن و منگنز از خاک به اندام هوایی ذرت (اعداد دارای حروف مشترک از نظر آماری با توجه به آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5 درصد معنی‌دار نیستند)



شکل 4- اثر سطوح کمپوست زیاله شهری و تعداد دفعات مصرف بر عامل دسترسی زیستی آهن و منگنز (اعداد دارای حروف مشترک از نظر آماری با توجه به آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5 درصد معنی‌دار نیستند)

آهن و منگنز کل و قابل استخراج با DTPA با کربن آلی و درصد اشباع مشاهده شد که این نتایج نیز با یافته‌های آبادیا و همکاران (1980) همخوانی دارد. وی³ و همکاران همکاران (2006) بیان کردند که منگنز قابل دسترس خاک همبستگی مثبت با مواد آلی خاک داشت. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین آهن و منگنز کل و قابل استخراج با DTPA و غلظت این عناصر در ریشه و اندام هوایی گیاه مشاهده شد.

جدول 10 همبستگی آهن و منگنز قابل استخراج با DTPA و کل با غلظت آن‌ها در ریشه و اندام هوایی گیاه ذرت و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که بین آهن و منگنز قابل استخراج با DTPA و کل با pH و کربنات کلسیم معادل همبستگی منفی و معنی‌داری وجود دارد. این نتایج با مطالعات آبادیا¹ و همکاران (1980)، در خاک‌های آهکی هم‌خوانی دارد. لیندسی² (1992) اظهار می‌دارد که به ازای هر واحد کاهش در pH خاک، حلالیت آهن 1000 برابر افزایش می‌یابد. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین

¹. Abadia
². Lindsay

³. Wei

جدول 10- همبستگی آهن و منگنز قابل استخراج با DTPA و کل با غلظت آن‌ها در گیاه و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک

	pH	OC	CCE*	SP	Root	Root	Shoot	Shoot	
					Fe	Mn	Fe	Mn	
					mg kg ⁻¹				
					درصد				
mg kg ⁻¹	DTPA-Fe	-0/71**	0/87**	-0/40**	0/72**	0/60**	0/82**	0/78**	0/44**
	DTPA-Mn	-0/71**	0/80**	-0/46**	0/57**	0/48**	0/77**	0/74**	0/25*
	TOTAL-Fe	-0/45**	0/53**	-0/23*	0/49**	0/45**	0/44**	0/44**	0/25*
	TOTAL-Mn	-0/64**	0/62**	-0/33**	0/54**	0/66**	0/56**	0/61**	0/25*

*کربنات کلسیم معادل

نتیجه‌گیری

غلظت آهن و منگنز کل معنی‌دار نشد. نتایج نشان داد که غلظت آهن و منگنز در ریشه بیش از اندام هوایی بوده و مقدار این جذب (برخلاف غلظت قابل استخراج با DTPA در خاک) در مورد آهن بیش از منگنز بود ($p \leq 0.01$). نتایج نشان داد که کمپوست زباله شهری، دفعات کاربرد و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر افزایش عملکرد داشت. بیش‌ترین غلظت آهن و منگنز در تیمار 60 تن بر هکتار سال دوم مشاهده شد که در ریشه و اندام هوایی در مقایسه با تیمار شاهد غلظت آهن به میزان 69/59 و 81/48 درصد و غلظت منگنز به میزان 46 و 37/52 درصد افزایش یافت. افزودن کمپوست زباله شهری، سبب افزایش عامل دسترسی زیستی و عامل انتقال برای هر دو عنصر آهن و منگنز شد. بنظر می‌رسد در صورت حل مشکل شوری از طریق آبیاری قبل از اضافه نمودن به خاک، کمپوست زباله شهری می‌تواند به عنوان یک منبع ارزشمند جهت بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و تغذیه‌ای بویژه عناصر کم مصرف در خاک‌های آهکی و فقیر از مواد آلی مطرح باشد.

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سطوح کمپوست زباله شهری و دفعات مصرف بر عملکرد و غلظت آهن و منگنز در خاک و گیاه ذرت در قالب آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی صورت پذیرفت. نتایج نشان داد در مجموع کمپوست زباله شهری سبب کاهش pH خاک و افزایش هدایت الکتریکی و کربن آلی خاک شد ($p < 0.01$). غلظت آهن و منگنز کل و قابل استخراج با DTPA متناسب با سطوح کمپوست زباله شهری افزایش یافت. این افزایش برای سطوح 15، 30 و 60 تن بر هکتار کمپوست زباله شهری در مقایسه با شاهد برای آهن کل به ترتیب 0/17، 3/45، 4/96 و منگنز کل به ترتیب 0/85، 4/26، 6/33 آهن قابل استخراج با DTPA به ترتیب 0/87، 158/48، 179/06 و منگنز قابل استخراج با DTPA به ترتیب 25/33، 28/53 و 32/15 درصد بدست آمد. عامل دفعات اعمال نیز بر افزایش غلظت آهن و منگنز قابل استخراج با DTPA در خاک معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$) ولی برای

فهرست منابع:

1. ابراهیمی، ا. ح. پورعلاقه‌بندان، ش. خزائلی، ع. شهبواری، و ا. صالحی، 1387. اولین مرجع کامل مدیریت کیفیت تولید کود آلی، سازمان بازیافت و تبدیل مواد زائد شهرداری اصفهان. صفحه 102.
2. آریابد، ث. ا. فتوت، ا. لکزیان، و غ. ح. حق‌نیا، 1387. اثر شیرابه کمپوست زباله شهری بر قابلیت جذب برخی عناصر کم مصرف در ذرت و کاهو. مجله علوم خاک و آب. جلد 22. شماره 1. صفحه 47-57.
3. اله‌دادی، ا. ع. معماری، غ. ع. اکبری، و ا. لطفی فر، 1390. تأثیر کاربرد مقادیر مختلف کمپوست زباله شهری بر خصوصیات و غلظت عناصر غذایی خاک و رشد و عملکرد ذرت علوفه‌ای. فن آوری تولیدات گیاهی. جلد یازدهم، شماره اول.
4. حاتم، ز. و ع. رونقی، 1390. رشد و عدم تعادل عناصر غذایی در ذرت علوفه‌ای در اثر کاربرد مس و منگنز در یک خاک آهکی. مجله پژوهش‌های خاک. جلد 25. شماره 3. 197-206.

۵. حسین پور، ر. و م. قاجار سپانلو، 1391. بررسی اثرات تلفیقی کمپوست زباله شهری و کودهای شیمیایی بر قابلیت جذب عناصر میکرو در خاک و کاهو (*Lactuca sativa L.*). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد 19. شماره 3. صفحه 123-140.
۶. روغنیان، س. 1384. بررسی تأثیر شیرابه زباله و کود کمپوست بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و پاسخ‌های گیاه ذرت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
۷. شاهیان، ر. و س. سماوات، 1382. بررسی اثرات کمپوست غنی شده با کودهای شیمیایی بر رشد، عملکرد و ترکیب شیمیایی خیار گلخانه‌ای. مجموعه مقالات سومین همایش ملی توسعه کاربرد مواد بیولوژیک و استفاده بهینه از کود و سم در کشاورزی، 274 صفحه.
۸. شریفی، م. م. افیونی، و ا. ح. خوشگفتارمنش، 1390. اثر کاربرد لجن فاضلاب کارخانه پلی‌اکریل، کمپوست زباله شهری و کود گاوی بر قابلیت جذب آهن و روی در خاک و جذب آن‌ها توسط ذرت، یونجه و گل جعفری در شرایط گلخانه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال 15. شماره 56. صفحه 141-152.
۹. عباسی‌زاده، ا. 1386. اثر لجن فاضلاب و کمپوست بر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، عملکرد ذرت و آلودگی خاک به عناصر سنگین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۱۰. علیدوست، ر. 1380. مطالعه اثر کاربرد مقادیر متفاوت کمپوست شهری، نیتروژن و فسفر بر رشد و تغذیه معدنی ذرت علوفه‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه تهران.
۱۱. غفاری‌نژاد شهربابکی، ع. و ن. ع. کریمیان، 1377. همبستگی بین منگنز عصاره‌گیری شده بوسیله پنج روش با خصوصیات خاک و پاسخ‌های گیاه سویا در خاک‌های آهکی استان فارس. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 2. شماره 4. صفحه 65-75.
۱۲. کلانتری، س. م. معزاردلان، م. شرفا، و ح. ع. علیخانی، 1386. مقایسه تأثیر کمپوست و ورمی کمپوست مخلوط کود گاوی و برگ چنار در جذب آهن از یک خاک آهکی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.
۱۳. مرجوی، ع. ر. و م. ر. جهاد اکبر، 1381. بررسی اثرات کمپوست شهری بر خصوصیات شیمیایی خاک و صفات کمی و کیفی چغندر قند، جلد 18، شماره 1، صفحه 3-21.
۱۴. معزاردلان، م. و غ. ر. ثوابقی فیروزآبادی، 1388. مدیریت حاصلخیزی خاک برای کشاورزی پایدار، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم. صفحه 291-305.
۱۵. ملکوتی، م. ج. پ. کشاورز، و ن. ع. کریمیان، 1387. روش‌های جامع تشخیص و توسعه بهینه کودی برای کشاورزی پایدار. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.
۱۶. میرزاپور، م. ه. و ا. خوشگفتارمنش، 1387. تأثیر کوددهی آهن بر رشد، عملکرد و مقدار روغن دانه آفتابگردان در یک خاک آهکی شور-سدیمی. پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی، جلد 8. شماره 4. صفحه 61-74.
۱۷. یزدانی‌نژاد، ف. ح. ترابی، ع. ا. بستانی، و ن. دواتگر، 1391. تهیه نقشه پراکنش آهن، روی، مس و منگنز در اراضی کشاورزی جنوب تهران با استفاده از زمین‌آمار و GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه شاهد.
18. Abadia, J., E. Millan, L. Montanes and L. Heras. 1980. DTPA and NH_4HCO_3 -DTPA extractable Fe, Mn and Zn Levels in the Ebro Valley. Estacion Experimental de Aula Dei, Zaragoza. 181-193.
19. Achiba, W. B., N. Gabteni, A. Lakhdar, G. D. Laing, M. Verloo, N. Jedidi and T. Gallali. 2009. Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. Agriculture, ecosystems and environment. 130: 156-163.

20. Antoniadis, V., and B. J. Alloway. 2003. The role of dissolved organic carbon in the mobility of Cd, Ni and Zn in sewage sludge- amended soils. *Environ. Pollut.* 117: 515- 521.
21. Atiyeh, R. M., C. A. Lee Edward, S. Sulbar and T. Metzger. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium. Effects on physiochemical properties and plant growth. *Bioresour Techno.* 78: 11–20.
22. Baldantoni, D., A. Leone, P. Iovieno, L. Morra, M. Zaccardelli and A. Alfani. 2010. Total and available soil trace element concentrations in two Mediterranean agricultural systems treated with municipal waste compost or conventional mineral fertilizers. *Chemosphere.* 80: 1006-1013.
23. Baruzzini, L., and F. Delzan. 1992. Soil fertility improvement and pollution risks from the use of municipal solid waste referred to N, P, K and C balance. *Soil International Symposium on municipal solid waste Recycling of Wastes.* Athens, Greece. *Acta Hort.* 302: 51-62.
24. Basta, N. T., R. Gradwohl, K. L. Snethen and J. L. Schroder. 2007. Chemical immobilization of lead, zinc and cadmium in smelter-contaminated soils using biosolids and rock phosphate. *J. Environ. Qual.* 30: 1222-1230.
25. Bohn, H. L., B. L. McNeal and G. A. Oconner. 1985. *Soil chemistry*, 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc. NY.
26. Bower, C. A., R. F. Reitemeier and M. Fireman. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Sci.* 73:251–261.
27. Bowyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 56: 464-465.
28. Brown, S., and M. Cotton. 2011. Changes in Soil Properties and Carbon Content Following Compost Application: Results of On-farm Sampling. *Compost Science and Utilization.* 19(2): 87-96.
29. Chen, Y., P. Gat, F. H. Frimmel and G. Abbt-Braun. 2006. Metal binding by humic substances and dissolved organic matter derived from compost. *Soil and pollution monitoring, Protection and Remediation.* 3-23. Pp: 275-297.
30. De Las Heras, J., P. Manas and J. Labrador. 2005. Effects of several application of digested sewage sludge on soils and plants. *J. Environ. Sci. Health A.* 40: 437-451.
31. Gallardo-Lara, F., M. Azcon and A. Polo. 2006. Phytoavailability and fractions of iron and manganese in calcareous soil amended with composted urban waste. *J. Environ. Sci. Health B* 41: 1187-1201.
32. Gupta, P. K., Ed. 2000. *Soil, plant, Water and Fertilizer Analysis.* New Delhi, India.
33. Hargreaves, J. C., M. S. Adl and P. R. Warman. 2008. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, ecosystems and environment.* 123: 1-14.
34. Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale and W. L. Nelson. 2005. *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*, 7th edn. Prentice Hall, NewYork.
35. Hemmat, A., N. Aghilinategh, Y. Rezaiejad and M. Sadeghi. 2010. Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. *Soil and Tillage Research.* 108: 43–50.
36. Khan, M., and J. Scullion. 2002. Effect of metal (Cd, Cu, Ni, Pb or Zn) enrichment of sewage sludge on soil micro-organism and their activities. *Applied Soil Ecology Journal.* 20: 145-155.
37. Kulikova, N. A., E.V. Stepanova and O.V. Koroleva. 2005. Mitigating activity of humic substances direct influence on biota, Use of humic substances to remediate polluted

- environments: From theory to practice, Perminova, I.V.; Hatfeld, K. and Hertkorn, N.; Springer, Netherlands, pp. 285-310.
38. Laboski, C. A. M., and J. A. Lamb. 2003. Change in soil test phosphorous concentration after application of manure of fertilizer. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.* 67:544-554.
 39. Li, B. Y., D. M. Zhou, L. Cange, H. L. Zhang, X. W. Fane and S. W. Qin. 2007. Soil micronutrient availability to crops as affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications. *Soil and Tillage Research.* 96: 166-173.
 40. Lindsay, W. L., and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
 41. Lindsay, W. L. 1992. *Chemical Equilibria in soil.* John Wiley and sons, New York.
 42. Liu, C., R. J. Cooper and D. C. Bowman. 1998. Humic acid application affects photosynthesis, root development, and nutrient content of creeping bentgrass. *Hort Science.* 33(6): 1023-1025.
 43. Lucena, J. 2000. Effects of bicarbonate, nitrate and other environmental factors on iron deficiency A review. *J. Plant Nutr.* 23:1591-1606.
 44. Mafton, M., F. Moshiri, N. Karimian and A. Ronaghi. 2004. Effect of two organic wastes in combination with phosphorus on growth and chemical composition of spinach soil properties. *J. Plant Nutr.* 27(9): 1635-1651.
 45. Marinari, S., G. Masciandaro, B. Ceccanti and S. Grego. 2000. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology.* 72(1): 9-17.
 46. Maynard, A. A. 1995. Cumulative effect of annual additions of municipal solid waste municipal solid waste on the yield of field growth tomatoes. *Munic. Solid Waste Sci. Util.* 3: 47-52.
 47. McBride, M. B. 1982. Electron spin resonance investigation of Mn^{2+} complexation in natural and synthetic organics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 1137-1143.
 48. Mehmet, A. B., H. Akdeniz and B. K. H. Yilmaz. 2006. Possibilities of using sewage sludge as nitrogen fertilizer for maize. *Acta Agriculture Scandinavica, Section B-PlantSoil Science.* 56:143-149.
 49. Miller, G., and J. pushnik. 1984. Iron chlorosis, a worldwide problem: the relation of chlorophyll biosynthesis to iron. *J. Plant Nutr.* 7:1-22.
 50. Mortvedt, J. J., F. R. Cox, L. M. Shuman and R. M. Welch. 1991. *Micronutrients in agriculture, Second Edition.* Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. Pp 145-186.
 51. Nelson, R. E. 1982. Carbonat and gypsum. p. 181-196. In: A. L. Page et al. (ed.). *Methods of soil analysis, part 2, 2nd ed.* ASA, SSSA, Madison, WI.
 52. Nelson, D. W., and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 539-579. In: A. L. Page et al. (ed.). *Methods of soil analysis, part 2, 2nd ed.* ASA, SSSA, Madison, WI.
 53. Opaluwa, O. D., M. O. Aremu, L. O. Ogbo, K. A. Abiola, I. E. Odiba, M. M. Abubakar and N. O. Nweze. 2012. Heavy metal concentrations in soils, plant leaves and crops grown around dump sites in Lafia Metropolis, Nasarawa State, Nigeria. *Advances in Applied Science Research.* 3(2): 780-784.
 54. Ortiz, O., and J. M. Alkaniz. 2006. Bioaccumulation of heavy metals in *Dactylis glomerata L.* growing in a calcareous soil amended with sewage sludge. *J. of Bioresource Technology* 97: 545-552.
 55. Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. P.167-179. In: A.L. page(ed.). *Method of soil analysis. part2. Chemical and microbiological Properties.* Agronomy monograph no. 9. 2nd ed. SSSA and ASA, Madison, WI.

56. Santiyago, A., and A. Delgado. 2007. Effects of humic substances on iron nutrition of lupin. *Journal of Biology and Fertility of Soils*. 43: 829-836.
57. Sims, J. L., and W. H. Patrick. 1978. The distribution of micronutrient cations in soil under conditions of varying redox potential and pH. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:258-262.
58. Singh, R.P., and M. Agrawal. 2007. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* plants. *Chemosphere*. 67: 2229–2240.
59. Smith, R. 2009. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environment International*. 35: 142-156.
60. Stevenson, F. J. 1991. Organic matter-micronutrient reactions in soil. *Micronutrients in agriculture*, 2nd-SSSA book Series, no. 4.
61. Warman, P. R., J. C. Burnham and L. J. Eaton. 2009. Effect of repeated applications of municipal solid waste compost and fertilizers to three lowbush blueberry fields. *Scientia Horticulture* 122: 393-398.
62. Wei, X., M. Hao, M. Shao and W. J. Gale. 2006. Changes in soil properties and the availability of soil micronutrients after 18 years of cropping and fertilization. *Soil and Tillage Research*. 91: 120-130.
63. Wonge, J.W.C., L. Lik, X. Zhou and A. Selvam. 2007. The sorption of Cd and Zn by different soils in the presence of dissolved organic matter from sludge. *Geoderma*. 137: 310-317.
64. Zheljzakov, V. D., and P. R. Warman. 2004. Phytoavailability and fractionation of copper, manganese, and zinc in soil following application of two composts to four crops. *Environmental Pollution*. 131: 187-195.

