Archive of SID

نشریه علمی ـ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد نهم، شماره ۴(۳۶)، زمستان ۱۳۹۴، صفحه ۵۸۲-۵۶۱

# تغییرات غلظت برخی عناصر در علوفه ذرت (*Zea mays* L.) تحت تأثیر منبع و مقدار کودهای آلی و فشردگی خاک

نصرت اله نجفی [۱*] و آرش محمدنژاد [۲]


## چکیده

فشردگی خاک یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های رشد گیاهان زراعی است که باعث کاهش جذب عناصر غذایی به‌وسیله گیاه می‌شود. استفاده از کودهای آلی در خاک‌های کشاورزی می‌تواند اثرهای مضر فشردگی خاک بر رشد گیاه را کاهش داده و بخشی از مواد غذایی مورد نیاز گیاه را نیز تأمین کند. برای بررسی اثر تلفیقی مواد آلی و فشردگی خاک بر جذب برخی عناصر به‌وسیله ذرت، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل و سه تکرار انجام شد. عامل اول منبع و مقدار کود آلی شامل شاهد، کود دامی، کمپوست لجن فاضلاب و کمپوست پسماند شهری و هر یک از کودهای آلی در دو سطح ۱۵ و ۳۰ گرم در کیلوگرم خاک و عامل دوم فشردگی خاک (چگالی ظاهری خاک) در دو سطح ۱/۲ و ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب بودند. برای انجام آزمایش، ۱۰ کیلوگرم خاک داخل گلدان‌های ویژه‌ای از جنس پی‌وی‌سی ریخته و سپس بذرهای ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ کاشته شد. در پایان دوره رشد، شاخساره (اندام‌های هوایی) برداشت و غلظت‌های فسفر، پتاسیم، سدیم، آهن، روی، منگنز، کادمیم و سرب آن به‌روش خشک‌سوزانی تعیین شدند. نتایج نشان داد که غلظت‌های کادمیم و سرب شاخساره ذرت در تیمارهای مختلف ناچیز بودند. غلظت‌های فسفر، پتاسیم، آهن، روی و منگنز شاخساره ذرت با مصرف کود دامی، کمپوست لجن فاضلاب و کمپوست پسماند شهری در هر دو سطح فشردگی خاک به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند ولی غلظت سدیم شاخساره تغییر معنی‌داری نکرد. فشرده شدن خاک غلظت فسفر، آهن، روی و منگنز شاخساره ذرت را به‌طور معنی‌داری کاهش داد ولی بر غلظت سدیم و پتاسیم شاخساره اثر معنی‌داری نداشت. مصرف کودهای آلی و افزایش مقدار مصرف آنها سبب کاهش اثرهای منفی فشردگی خاک بر جذب عناصر غذایی به‌وسیله ذرت شد. نتایج این تحقیق نشان داد که برای بهبود تغذیه ذرت علوفه‌ای، مصرف ۱۵ یا ۳۰ گرم کمپوست لجن فاضلاب یا کود دامی یا کمپوست پسماند شهری بر کیلوگرم خاک می‌تواند در شرایط مشابه (فشرده و غیرفشرده) توصیه شود.


**واژگان کلیدی**: تراکم خاک، ذرت، عناصر غذایی، کمپوست پسماند شهری، لجن فاضلاب، کود دامی.

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز (* نگارنده‌ی مسئول) nanajafi@yahoo.com
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
تاریخ دریافت: ۹۳/۵/۴
تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۲۰

www.SID.ir

Archive of SID



**مقدمه**

تراکم (فشردگی) خاک یکی از عامل‌های تخریب خاک بوده و به فرآیندی گفته می‌شود که سبب افزایش چگالی ظاهری خاک، کاهش تخلخل و هدایت آبی خاک، افزایش مقاومت مکانیکی و تغییر ساختمان خاک می‌شود. فشردگی خاک موجب تغییر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک، افزایش استهلاک ماشین‌های کشاورزی و توان مورد نیاز برای خاک‌ورزی و کاهش عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی می‌شود (Soan *et al.*, 1990). این در حالی است که میزان تخریب خاک و از بین رفتن خاکدانه‌ها به مقدار مواد آلی خاک بستگی دارد (Zeytin and Baran, 2003). مواد آلی ذرات خاک را به هم پیوند داده، خاک را نرم و متخلخل کرده و موجب اصلاح ساختمان خاک و بهبود تهویه آن می‌شود؛ در نتیجه، رشد ریشه و شاخساره گیاهان افزایش می‌یابد (Malakouti, 1997). عدم مصرف کودهای آلی مانند کمپوست‌ها، کود حیوانی، کود سبز و نداشتن تناوب زراعی مناسب و مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی مانند کودهای نیتروژنی، از عامل‌های تخریب ساختمان خاک، کاهش نفوذپذیری و افزایش چگالی ظاهری خاک‌های زراعی می‌باشند (Javaheri *et al.*, 2005). بنابراین، یکی از راه‌کارهای کاهش اثر فشردگی خاک بر رشد و تغذیه گیاه افزودن کودهای آلی به خاک است. مصرف پسماندهای آلی و کود دامی سبب افزایش سرعت نفوذ و ظرفیت نگه‌داری آب در خاک، کاهش چگالی ظاهری خاک، تعدیل دمای خاک، افزایش حجم منافذ خاک، افزایش رشد ریشه‌ها و جذب مواد غذایی به‌وسیله گیاه می‌شود (Akanni and Ojeniyi, 2007). بررسی‌ها نشان داده است که پسماندهای آلی مانند کمپوست لجن فاضلاب، کمپوست پسماند شهری و کود دامی حاوی مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای از عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف بوده و از طریق سازوکارهای مختلف مانند تشکیل کی‌لیت فراهمی عناصر غذایی را افزایش می‌دهند (Najafi *et al.*, 2012). کمپوست لجن فاضلاب نوعی از پسماندهای آلی است که مصرف آن در خاک سبب افزایش غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف مانند نیتروژن، فسفر، آهن، منگنز، مس و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و رشد گیاه می‌شود (Baran *et al.*, 2001; Coker *et al.*, 1983). کود دامی به‌طور وسیع به‌عنوان کود برای محصول و برای اصلاح خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد و شامل عناصر غذایی پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر کم‌مصرف بوده که باعث بهبود رشد گیاه می‌شود. مصرف کود دامی از طریق افزایش مواد آلی، کاهش فشردگی و افزایش ظرفیت نگه‌داری آب باعث بهبود کیفیت خاک می‌شود. افزایش مواد غذایی و مواد آلی خاک پس از مصرف کود دامی می‌تواند اثر باقی‌مانده طولانی‌مدت در تولید محصول و ویژگی‌های خاک داشته باشد (Eghball *et al.*, 2004). کمپوست پسماند شهری به‌عنوان یک کود آلی مقرون به‌صرفه و با ارزش می‌تواند در کشاورزی پایدار از جایگاه ویژه‌ای برخوردار باشد (Sumner, 2000). مصرف کمپوست پسماند شهری در خاک‌های کشاورزی می‌تواند مشکلات شهری و شهرداری را از نظر بهداشت محیط برطرف کرده و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌ها را بهبود بخشد. با توجه به کمبود مواد آلی در خاک‌های کشور، آتش زدن بقایای محصولات کشاورزی و ناکافی بودن کودهای دامی، استفاده از کمپوست حاصل از پسماندهای مختلف در خاک‌های کشاورزی با توجه به ارزان بودن قیمت آنها رایج شده است. بنابراین، لازم است اثرهای آنها بر کیفیت محصولات کشاورزی مطالعه شود.

www.SID.ir

Archive of SID



ذرت پس از گندم و برنج، مهم‌ترین ماده غذایی دنیا محسوب می‌شود. به‌دلیل استعداد زیاد در تولید دانه، ذرت را پادشاه غلات نامیده‌اند. در بین غلات، ذرت بیش‌ترین تنوع مصرف‌کننده را دارد، زیرا افزون بر مصرف به‌عنوان غذای انسان و علوفه دام‌ها، در صنایع تخمیر و تهیه فرآورده‌های متنوع صنعتی از جمله اتانول نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Emam, 2004). از مشکلات جدی خاک‌های کشاورزی به‌ویژه در ایران کمبود مواد آلی و تراکم آنها می‌باشد که باعث کاهش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی می‌شود. لذا، هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر متقابل نوع و مقدار کودهای آلی و فشردگی خاک بر وضعیت تغذیه‌ای گیاه ذرت در راستای کشاورزی پایدار و تولید محصولات ارگانیک بود.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۱ در ایستگاه تحقیقاتی کرکج دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در شرایط مزرعه‌ای انجام شد. قبل از کشت گیاه از خاک مزرعه نمونه مرکب تهیه و بعد از هواخشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک شامل بافت خاک به‌روش هیدرومتر با چهار قرائت (Gee and Or, 2002)، pH خاک در سوسپانسیون ۱:۱ آب به خاک (Mclean, 1982)، EC آن در سوسپانسیون ۱:۱ آب به خاک (Gupta, 2000)، کربن آلی خاک به‌روش اکسایش تر (Nelson and Sommers, 1982) و کربنات کلسیم معادل خاک به‌روش خنثی‌سازی با اسید و تیتر کردن با سود (Richards, 1954) تعیین شد. سپس فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک با عصاره‌گیر اولسن (Olsen and Sommers, 1982)، پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم قابل‌استخراج با عصاره‌گیر استات آمونیم (Knudsen *et al.*, 1982)، آهن، روی، مس و منگنز قابل‌جذب با عصاره‌گیر DTPA (Lindsay and Norvell, 1978) اندازه‌گیری شد. کودهای آلی مورد استفاده شامل کمپوست لجن فاضلاب، کود دامی و کمپوست پسماند شهری بودند که به‌ترتیب از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر میانه، ایستگاه تحقیقاتی خلعت‌پوشان دانشکده کشاورزی و کارخانه تولید کود آلی شهرداری تبریز تهیه شدند و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس ویژگی‌های شیمیایی و میزان عناصر موجود در هر سه نوع کود آلی با روش‌های مرسوم اندازه‌گیری شد (Wolf *et al.*, 2003). سپس آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۴ تیمار و ۳ تکرار به‌صورت گلدانی در مزرعه انجام شد که عامل اول منبع و مقدار کود آلی شامل (شاهد بدون کود، کود دامی، کمپوست لجن فاضلاب و کمپوست پسماند شهری و هر کود آلی در دو سطح ۱۵ و ۳۰ گرم در کیلوگرم خاک) و عامل دوم چگالی ظاهری به‌عنوان شاخصی از فشردگی خاک در دو سطح ۱/۲ و ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. گلدان‌های ویژه‌ای از جنس پلیکا با قطر داخلی ۱۵/۲ و طول ۵۰ سانتی‌متر تهیه شد. برای جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید به گلدان‌ها و گرم شدن آنها، ابتدا چاله‌هایی در خاک مزرعه ایجاد و لوله‌های پلیکا در داخل آنها قرار داده شد. خاک مورد نظر از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری برداشته و از الک ۵ میلی‌متری عبور داده شد. سپس درصد رطوبت هواخشک آن تعیین شد و معادل ۱۰ کیلوگرم خاک آون خشک (از همان مزرعه) توزین و با سطوح مختلف کودهای آلی مذکور مخلوط گردید و رطوبت آن به حدود ظرفیت مزرعه‌ای رسانده شد. سپس نمونه‌های خاک در داخل لوله‌های پلیکا تا ارتفاع ۳۵ و ۴۵ سانتی‌متری به‌ترتیب برای چگالی ظاهری ۱/۷ و ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب در سه مرحله ریخته شد. در واقع در خاک متراکم عمق خاک ۱۰ سانتی‌متر نسبت به خاک

www.SID.ir

Archive of SID



غیرمتراکم کاهش یافت. در چگالی ظاهری ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب پس از متراکم کردن خاک پنج سانتی‌متر خاک نرم روی آن ریخته شد تا بذرها بتوانند جوانه زده و رشد کنند. آنگاه در هر گلدان ۸ بذر ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل کراس ۷۰۴ کاشته شد و پس از استقرار گیاهان تعداد سه بوته ذرت در هر گلدان نگه‌داری شد. آبیاری گلدان‌ها با استفاده از استوانه مدرج و به‌طور یکسان برای تمام تیمارها انجام شد. برای تعیین آب آبیاری مورد نیاز از تشت تبخیر و وضعیت ظاهری گیاه و رطوبت خاک گلدان‌ها استفاده شد (Allen *et al.*, 1998). پس از حدود چهار ماه رشد، شاخساره گیاه از محل طوقه برداشت و پس از شستشو در آون فن‌دار در دمای ۷۵ درجه سلسیوس خشک و وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌های خشک شده آسیاب و تمام آنها از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند. برای اندازه‌گیری غلظت فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و سدیم از روش خشک‌سوزانی استفاده شد. در این روش، خاکستر تهیه شده در مخلوط دو اسید (اسید کلریدریک و اسید نیتریک) حل و صاف شد (Westerman, 2005). سپس در عصاره‌های تهیه شده غلظت آهن، روی، منگنز، کادمیم و سرب به‌وسیله دستگاه جذب اتمی مدل AA-6200 شرکت شیمادزو ژاپن (Waling *et al.*, 1989)، پتاسیم و سدیم به‌وسیله دستگاه فلیم‌فتومتر مدل ۴۱۰ ساخت شرکت کورنینگ انگلستان (Jones, 2001) و فسفر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR/2000 ساخت شرکت Hach ژاپن اندازه‌گیری شد. تحلیل آماری داده‌ها شامل آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتـــمال پنج درصـد) با نرم‌افزار MSTATC و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

## نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارایه شده است. pH خاک در محدوده خنثی تا قلیایی قرار داشت. بافت خاک نیز شن لومی بود. این خاک غیرشور و آهکی بود و میزان مواد آلی، نیتروژن و فسفر آن کم بود (Hazelton and Murphy, 2007). برخی ویژگی‌های شیمیایی کود دامی، کمپوست لجن فاضلاب و کمپوست پسماند شهری مورد استفاده در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. ماده آلی زیاد این کودها بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اثر مطلوبی داشته و برای خاک مورد استفاده در این بررسی که با کمبود مواد آلی مواجه بود، دارای اهمیت می‌باشد. کود دامی نسبت به دو کمپوست مورد استفاده ماده آلی و pH بیش‌تری داشت (جدول ۲)؛ ولی غلظت عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم‌مصرف در کمپوست لجن فاضلاب و کمپوست پسماند شهری بیش‌تر از کود دامی بود (جدول ۳). غلظت سرب و کادمیم در هر سه کود آلی مورد استفاده در این مطالعه، از غلظت مجاز برای استفاده در زمین‌های کشاورزی کمتر بود (Smith, 1992). نسبت C/N کودها یکی از ویژگی‌های مهم در سرعت تجزیه آنها و جذب نیتروژن به‌وسیله گیاه می‌باشد. با توجه به جدول ۲ کمتر بودن نسبت C/N کمپوست لجن فاضلاب از دو کود دیگر به زیادی نیتروژن آن مربوط بود.

### غلظت فسفر علوفه ذرت

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی فشردگی خاک و کودهای آلی بر غلظت فسفر شاخساره ذرت معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های غلظت فسفر شاخساره ذرت برای کودهای آلی نشان داد که با مصرف ۳۰ گرم از هر سه نوع کود آلی در کیلوگرم خاک غلظت فسفر شاخساره ذرت نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ولی بین دو سطح ۱۵

www.SID.ir

Archive of SID



و ۳۰ گرم کودهای آلی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۱). احمدی‌نژاد (Ahmadinezhad, 2013) گزارش داد که با مصرف ۳۰ و ۶۰ تن کود دامی، کمپوست پسماند شهری و کمپوست لجن فاضلاب در هکتار، غلظت فسفر شاخساره گندم افزایش یافت. کاظم‌زاده و همکاران (Kazemzadeh *et al.*, 2014) نیز گزارش دادند که با مصرف کود دامی، کمپوست پسماند شهری و کمپوست لجن فاضلاب غلظت فسفر آرد گندم افزایش یافت. نجفی و عباسی (Najafi and Abbasi, 2013) نیز افزایش غلظت فسفر شاخساره برنج را با مصرف لجن فاضلاب و کود مرغی گزارش دادند. رسولی و مفتون (Rasouli and Maftoun, 2010) مشاهده کردند که با مصرف کود دامی و کمپوست پسماند شهری غلظت فسفر شاخساره گندم نسبت به شاهد افزایش یافت. نجفی و همکاران (Najafi *et al.*, 2013) افزایش غلظت فسفر شاخساره آفتابگردان را با مصرف لجن فاضلاب و کود دامی گزارش دادند. مصرف کودهای آلی باعث افزایش جمعیت میکروبی خاک به‌ویژه در رایزوسفر شده که سبب افزایش حل شدن ترکیب‌های مختلف فسفر مانند فسفات‌های آهن، آلومینیم و کلسیم و معدنی شدن مواد آلی شده و فراهمی عناصر از جمله فسفر را افزایش می‌دهد (Marschner, 1995; Pinton, 2007).

مقایسه میانگین‌های غلظت فسفر علوفه ذرت برای فشردگی خاک نشان داد که فشردگی خاک باعث کاهش معنی‌دار (حدود ۹/۵ درصد) غلظت فسفر شاخساره ذرت شد (شکل ۲) که با نتایج میرانصاری و همکاران (Miransari *et al.*, 2009) و بهبود و همکاران (Behbood *et al.*, 2012) مطابقت داشت. رحمان و همکاران (Rahman *et al.*, 1999) کاهش جذب فسفر به‌وسیله گندم بر اثر متراکم شدن خاک را مشاهده کردند. میرانصاری و همکاران (Miransari *et al.*, 2009) کاهش غلظت فسفر برگ‌های ذرت بر اثر متراکم شدن خاک را گزارش دادند. بهبود و همکاران (Behbood *et al.*, 2012) مشاهده کردند که بر اثر فشردگی خاک (افزایش چگالی ظاهری خاک از ۱/۳ به ۱/۵۶ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، غلظت فسفر برگ و غده سیب‌زمینی، نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طور کلی، از غلظت عنصر غذایی در شاخساره گیاه به‌عنوان یک شاخص برای شناسایی کمبود یا کفایت عنصر غذایی در طی دوره رشد گیاه زراعی استفاده می‌شود. همچنین، در مورد گیاهان علوفه‌ای مثل ذرت غلظت عنصر غذایی در آن برای ارزیابی کیفیت علوفه مصرفی در تغذیه دام و در نهایت در زنجیره غذایی در تغذیه انسان مورد استفاده قرار می‌گیرد. غلظت بالای عناصر غذایی مختلف در علوفه کیفیت آن را از نظر ارزش غذایی در تغذیه دام افزایش می‌دهد و به‌عنوان یک راه مناسب برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز دام و انسان محسوب می‌شود (Fageria, 2009).

ایشاک و همکاران (Ishaq *et al.*, 2001) گزارش دادند که با افزایش چگالی ظاهری خاک به ۱/۹۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب، جذب فسفر به‌وسیله گندم حدود ۲۷ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. متراکم شدن خاک باعث کاهش انتشار اکسیژن در آن می‌شود. بنابراین، اگر در خاک فشرده سرعت مصرف اکسیژن بیش‌تر از سرعت انتشار آن باشد، ممکن است شرایط کم‌اکسیژنی یا بی‌هوازی در پیرامون ریشه گیاه ایجاد شود (Schnurr-Putz *et al.*, 2006). تنش کمبود اکسیژن و افزایش مقاومت مکانیکی خاک در برابر رشد و نفوذ ریشه سبب کاهش رشد ریشه، مختل شدن سوخت‌وساز آن و در نتیجه مختل شدن جذب فعال عناصری مانند فسفر می‌شود. لذا، غلظت فسفر در شاخساره گیاه کاهش می‌یابد. کاهش غلظت فسفر در شاخساره گیاه بر اثر تراکم خاک نشان می‌دهد که

www.SID.ir

Archive of SID



فشرده شدن خاک سرعت جذب و انتقال فسفر به شاخساره را بیش‌تر از سرعت رشد گیاه کاهش می‌دهد (Marschner, 1995). محمودی و همکاران (Mahmoudi *et al.*, 2015) گزارش دادند که افزایش سطح لجن فاضلاب در خاک باعث افزایش معنی‌دار غلظت فسفر شاخساره یونجه نسبت به شاهد شد. تأثیر فشردگی خاک بر جذب فسفر اغلب به وضعیت سیستم ریشه مربوط است. به‌طور کلی، محدود شدن سیستم ریشه‌ای و دسترسی کم به فسفر در خاک فشرده باعث جذب کمتر فسفر به‌وسیله گیاه می‌شود (Lipiec *et al.*, 1996). کاهش جذب نیتروژن و فسفر به‌وسیله گیاه با افزایش فشردگی خاک و کاهش غلظت این عنصر در بافت‌های گیاه به‌وسیله سایر محققان از جمله رینتام و کوت (Reintam *et al.*, 2003) و وسیم و همکاران (Waseem *et al.*, 2005) گزارش شده است. کودهای آلی به‌علت داشتن مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای از عناصر غذایی مانند فسفر (جدول ۳)، باعث افزایش غلظت این عناصر در خاک و جذب آنها به‌وسیله گیاه شده و در نتیجه غلظت آنها در شاخساره را افزایش می‌دهند (Najafi *et al.*, 2013). به‌طور کلی، برخی دلایل احتمالی افزایش قابلیت جذب فسفر به‌وسیله گیاه در حضور مواد آلی شامل تولید اسید کربنیک طی تجزیه مواد آلی در خاک و کاهش pH، تشکیل ترکیب‌های فسفر هومیک که با سهولت بیش‌تری جذب گیاه می‌شوند، جایگزینی آنیون‌های آلی مثل هومات به‌جای فسفات جذب سطحی شده و آزادسازی یون‌های فسفات، رقابت آنیون‌های آلی با یون فسفات برای جذب در مکان‌های جذبی مانند کربنات کلسیم، اکسیدهای آهن و آلومینیم می‌باشد (Marschner, 1995; Havlin *et al.*, 1999). سطح بحرانی غلظت فسفر شاخساره ذرت ۲/۵ میلی‌گرم بر گرم گزارش شده است (Reuter and Robinson, 2008). با توجه به شکل‌های ۱ و ۲ در تمامی تیمارها غلظت فسفر شاخساره ذرت کمتر از سطح بحرانی بود و نشان می‌دهد که مصرف کودهای آلی به‌تنهایی قادر به تأمین همه فسفر مورد نیاز گیاه نبوده و لازم بوده است مقداری کود شیمیایی فسفر نیز همراه کودهای آلی مصرف شود. به عبارت دیگر، این نتایج اهمیت مصرف تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی را در تغذیه فسفر گیاه درت نشان می‌دهد.

**غلظت پتاسیم علوفه ذرت**

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی کود آلی بر غلظت پتاسیم شاخساره ذرت معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های غلظت پتاسیم شاخساره ذرت برای اثر اصلی کودهای آلی نشان داد که مصرف هر دو سطح کود دامی و کمپوست پسماند شهری افزایش معنی‌داری در غلظت پتاسیم علوفه ذرت ایجاد نکرد ولی با مصرف ۱۵ و ۳۰ گرم کمپوست لجن فاضلاب در کیلوگرم خاک، غلظت پتاسیم علوفه ذرت نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۳). این افزایش را می‌توان به بیش‌تر بودن غلظت پتاسیم در کود آلی مورد استفاده نسبت به خاک (جدول‌های ۱ و ۳) و افزایش فراهمی پتاسیم در خاک، کاهش pH خاک و افزایش حل‌پذیری کانی‌های پتاسیم‌دار، معدنی شدن مواد آلی و آزادسازی پتاسیم نسبت داد (Havlin *et al.*, 1999; Mahmoudi *et al.*, 2015). رسولی و مفتون (Rasouli and Maftoun, 2010) مشاهده گردند که با مصرف کود دامی و کمپوست پسماند شهری غلظت فسفر شاخساره گندم نسبت به شاهد افزایش یافت. احمدی‌نژاد (Ahmadinezhad, 2013) گزارش داد که با مصرف ۳۰ و ۶۰ تن کود دامی، کمپوست پسماند شهری و کمپوست لجن فاضلاب غلظت پتاسیم شاخساره گندم افزایش یافت. کاظم‌زاده و همکاران (Kazemzadeh *et al.*, 2014) نیز گزارش دادند که با مصرف ۳۰ و ۶۰ تن کود دامی تن در هکتار، کمپوست پسماند شهری و کمپوست

www.SID.ir

Archive of SID



لجن فاضلاب غلظت پتاسیم آرد گندم افزایش یافت. محمودی و همکاران (Mahmoudi *et al.*, 2015) گزارش دادند که افزایش سطح لجن فاضلاب در خاک باعث افزایش معنادار غلظت فسفر شاخساره یونجه نسبت به شاهد شد. نجفی و همکاران (Najafi *et al.*, 2013) افزایش غلظت پتاسیم شاخساره آفتابگردان را با مصرف کود دامی و لجن فاضلاب گزارش کردند. رضایی‌نژاد و افیونی (Rezaenejad and Afyuni, 2001) مشاهده کردند که با مصرف کود دامی، کمپوست لجن فاضلاب و کمپوست پسماند شهری میزان پتاسیم قابل‌جذب گیاه خاک و غلظت پتاسیم شاخساره ذرت به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت و برای تأمین پتاسیم گیاه ذرت می‌توان از این کودها استفاده کرد.

افزایش فشردگی خاک تغییر معنی‌داری در غلظت پتاسیم شاخساره ذرت ایجاد نکرد (جدول ۵). معنی‌دار نبودن اثر فشرده شدن خاک بر غلظت پتاسیم شاخساره ذرت با نتایج میرانصاری و همکاران (Miransari *et al.*, 2009) و حسن‌پور (Hasanpour, 2013) مطابقت داشت. حسن‌پور (Hasanpour, 2013) اثر توأم شوری و تراکم خاک را بر برخی شاخص‌های رشد ذرت بررسی و مشاهده کرد که با افزایش چگالی ظاهری از ۱/۳ به ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، غلظت پتاسیم شاخساره ذرت تغییر معنی‌داری نکرد. با متراکم شدن خاک، از یک طرف بر اثر افزایش مقاومت مکانیکی خاک و کمبود اکسیژن رشد ریشه کاهش یافته و سبب کاهش جذب پتاسیم می‌شود و از طرف دیگر با متراکم شدن خاک سطح تماس ریشه با خاک افزایش یافته (به‌ویژه خاک‌های با بافت سبک مورد استفاده در این پژوهش) و جذب پتاسیم به‌وسیله ریشه افزایش می‌یابد (Marschner, 1995). بنابراین، برآیند دو عامل مذکور، عدم تغییر معنی‌دار غلظت پتاسیم شاخساره ذرت می‌باشد. با این حال، رحمان و همکاران (Rahman *et al.*, 1999) کاهش جذب پتاسیم به‌وسیله گندم بر اثر متراکم شدن خاک را مشاهده کردند. بهبود و همکاران (Behbood *et al.*, 2012) نیز گزارش کردند که بر اثر فشردگی خاک (افزایش چگالی ظاهری خاک از ۱/۳ به ۱/۵۶ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، غلظت پتاسیم برگ و غده سیب‌زمینی، نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. رحمان و همکاران (Rahman *et al.*, 2005) مشاهده کردند با متراکم شدن خاک، مقدار پتاسیم شاخساره سویا ابتدا تغییر معنی‌داری نکرد ولی سپس کاهش یافت. شاید یک دلیل برای این نتایج متفاوت، تغییر بافت خاک مورد استفاده و متفاوت بودن شرایط آزمایش مانند سطوح فشردگی خاک می‌باشد.

لیپیک و همکاران (Lipiec *et al.*, 1996) گزارش کردند که متراکم شدن خاک بر اثر کاهش سطح ریشه باعث کاهش جذب پتاسیم به‌وسیله ذرت می‌شود. آنان بیان داشتند که در خاک‌های فشرده شده بدون مصرف کود پتاسیم، جذب پتاسیم در واحد سطح ریشه نمی‌تواند برای جبران کمبود پتاسیم ناشی از محدودیت رشد ریشه، کافی باشد. با این حال، میرانصاری و همکاران (Miransari *et al.*, 2009) اعلام کردند که فشردگی خاک (چگالی ظاهری ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) سبب افزایش جذب عناصر غذایی مثل پتاسیم می‌شود. با توجه به اینکه غلظت بحرانی پتاسیم در خاک برای کشت ذرت حدود ۲۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (Malakouti and Gheybi, 1997) و غلظت پتاسیم قابل‌جذب گیاه در خاک مورد مطالعه حدود ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (جدول ۱)، بنابراین، خاک مورد مطالعه کمبود پتاسیم نداشت. سطح بحرانی غلظت پتاسیم شاخساره ذرت ۱۹ میلی‌گرم بر گرم

www.SID.ir

Archive of SID



گزارش شده است (Reuter and Robinson, 2008)؛ با توجه به این سطح، در هیچ‌یک از تیمارها کمبود پتاسیم در شاخساره ذرت مشاهده نشد (شکل ۳) که ناشی از کافی بودن مقدار پتاسیم خاک می‌باشد.

**غلظت سدیم علوفه ذرت**

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی کودهای آلی و فشردگی خاک و اثر متقابل آنها بر غلظت سدیم شاخساره ذرت معنی‌دار نبودند (جدول ۵). معنی‌دار نبودن اثر فشرده شدن خاک بر غلظت سدیم شاخساره ذرت با نتایج حسن‌پور (Hasanpour, 2013) مطابقت داشت. وی اثر توأم شوری و تراکم خاک را بر برخی شاخص‌های رشد ذرت بررسی و مشاهده کرد که با افزایش چگالی ظاهری از ۱/۳ به ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب غلظت سدیم شاخساره ذرت تغییر معنی‌داری نکرد. هر چند سدیم از عناصر ضروری برای تغذیه انسان و دام بوده و وجود مقادیر کافی از آن در علوفه مصرفی دام برای سلامتی و رشد آن ضروری است، ولی عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که در شرایط آزمایش مصرف کود دامی، کمپوست لجن فاضلاب و کمپوست پسماند مصـرفی نتوانسته است تغییر معنی‌داری در غلظت سدیم شاخساره ذرت ایجاد نماید و این از مزیت‌های این مواد آلی می‌باشد؛ زیرا برخی بررسی‌ها نشان داده است مصرف بیش از حد کودهای آلی از جمله کود مرغی در خاک باعث افزایش سدیم خاک شده و با تجمع این عنصر در خاک، گیاه دچار تنش شوری شده و رشد آن کاهش می‌یابد (Abbasi *et al.*, 2012). با توجه به بیش‌تر بودن غلظت سدیم در کودهای آلی مورد استفاده نسبت به خاک (جدول‌های ۱ تا ۳)، انتظار این بود که غلظت سدیم شاخساره ذرت با مصرف این کودهای آلی افزایش یابد. بنابراین، این عدم تغییر معنی‌دار غلظت سدیم شاخساره ذرت در تیمارهای مختلف را اینگونه می‌توان توجیه کرد که از یک طرف بر اثر مصرف کودهای آلی رشد گیاه افزایش یافته و با وقوع پدیده اثر رقت غلظت سدیم کاهش یافته است (Marschner, 1995) و از طرف دیگر، با افزایش غلظت سدیم در خاک پس از مصرف کودهای آلی جذب سدیم و انتقال آن به شاخساره ذرت افزایش یافته است. به‌نظر می‌رسد برآیند این دو پدیده سبب شده است که غلظت سدیم شاخساره ذرت تغییر معنی‌داری نکند. اسمتورست و همکاران (Smethurst *et al.*, 2005) گزارش کردند که با مصرف کود دامی غلظت سدیم ریشه یونجه کاهش یافت. آنان این کاهش را به افزایش ماده خشک ریشه و وقوع پدیده اثر رقت نسبت دادند. کاظم‌زاده و همکاران (Kazemzadeh *et al.*, 2014) گزارش کردند که با مصرف کود دامی، کمپوست پسماند شهری و کمپوست لجن فاضلاب غلظت سدیم آرد گندم در برخی تیمارها تغییر معنی‌داری نکرد ولی در برخی دیگر از تیمارها افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد معنی‌دار نشدن اثر فشردگی خاک بر غلظت سدیم شاخساره ذرت به همان دلایلی است که در پیش در مورد پتاسیم ذکر شد. میانگین غلظت سدیم شاخساره ذرت ۵۰۹ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک بود.

**غلظت آهن علوفه ذرت**

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی کودهای آلی و فشردگی خاک بر غلظت آهن شاخساره ذرت معنی‌دار بود ولی اثر متقابل آنها معنی‌دار نبود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های غلظت آهن شاخساره ذرت برای اثر اصلی کودهای آلی نشان داد که با مصرف هر دو سطح ۱۵ و ۳۰ گرم کمپوست پسماند شهری و کمپوست لجن فاضلاب در کیلوگرم خاک غلظت آهن شاخساره ذرت به‌طور معنی‌دار افزایش یافت ولی مصرف هر دو سطح کود دامی افزایش معنی‌داری در غلظت آهن شاخساره ذرت ایجاد نکرد (شکل ۴). این

www.SID.ir

Archive of SID



نتایج با گزارش شریفی و همکاران (Sharifi *et al.*, 2011) مطابقت داشت. کاظم‌زاده و همکاران (Kazemzadeh *et al.*, 2014) گزارش دادند که با مصرف ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار کود دامی، کمپوست پسماند شهری و کمپوست لجن فاضلاب غلظت آهن آرد گندم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. نظری و همکاران (Nazari *et al.*, 2006) نیز افزایش غلظت آهن شاخساره گیاهان گندم، جو و ذرت را با مصرف لجن فاضلاب در خاک گزارش نمودند. طبق شکل ۴، بین دو سطح ۱۵ و ۳۰ گرم کودهای آلی نیز تفاوت معنی‌داری از نظر غلظت آهن شاخساره ذرت مشاهده نشد که با گزارش نجفی و همکاران (Najafi *et al.*, 2012) مطابقت داشت. آنان افزایش غلظت آهن شاخساره آفتابگردان را با مصرف کود دامی و لجن فاضلاب گزارش کردند. افزایش مقدار آهن قابل‌جذب گیاه در خاک‌های تیمار شده با کمپوست لجن فاضلاب و کمپوست پسماند شهری را می‌توان به افزایش مقدار ماده آلی خاک ربط داد (جدول‌های ۱ و ۳) (Najafi *et al.*, 2012). با مصرف کودهای آلی در خاک و افزایش سطح مصرف آن، از یک طرف pH خاک کاهش یافته و از طرف دیگر مقدار ترکیب‌های کیلیت کننده آهن و سایر عناصر غذایی کم‌مصرف افزایش یافته و موجب افزایش زیست‌فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و جذب آنها به‌وسیله گیاه شده در نتیجه رشد گیاه افزایش می‌یابد (Najafi *et al.*, 2013). نظری و همکاران (Nazari *et al.*, 2006) گزارش کردند که مصرف لجن فاضلاب موجب افزایش آهن قابل‌جذب گیاه در خاک شد. افزایش مقدار آهن قابل‌جذب گیاه در خاک، به‌ویژه در خاک‌های آهکی، از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا کمبود آهن از مهم‌ترین مشکلات تغذیه‌ای گیاهان در این خاک‌ها می‌باشد (Malakouti, 1997). افزایش مقدار آهن قابل‌جذب گیاه با مصرف کمپوست لجن فاضلاب، کمپوست پسماند شهری و کود دامی نشان‌دهنده توانایی این کودها در کاهش مشکل کمبود آهن در گیاهان رشد یافته در خاک‌های آهکی و قلیایی می‌باشد.

مقایسه میانگین‌های غلظت آهن شاخساره ذرت برای اثر اصلی فشردگی خاک نشان داد که فشرده شدن خاک باعث کاهش معنی‌دار (حدود ۱۶ درصد) غلظت آهن گیاه نسبت به شاهد شد (شکل ۵) و این نتایج با گزارش‌های میرانصاری و همکاران (Miransari *et al.*, 2009) و بهبود و همکاران (Behbood *et al.*, 2012) مطابقت داشت. میرانصاری و همکاران (Miransari *et al.*, 2009) کاهش غلظت آهن برگ‌های ذرت بر اثر متراکم شدن خاک را گزارش دادند. بهبود و همکاران (Behbood *et al.*, 2012) مشاهده کردند که بر اثر فشردگی خاک (افزایش چگالی ظاهری خاک از ۱/۳ به ۱/۵۶ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، غلظت آهن برگ و غده سیب‌زمینی، نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Behbood *et al.*, 2012). رحمان و همکاران (Rahman *et al.*, 2005) گزارش کردند که فشرده شدن خاک، باعث کاهش معنی‌دار غلظت آهن شاخساره سویا نسبت به شاهد شد. به‌نظر می‌رسد دلایل کاهش غلظت آهن با فشرده خاک همان‌هایی است که در پیش و در مورد فسفر بیان شد.

گستره غلظت مناسب آهن در شاخساره ذرت ۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک (Malakouti and Gheybi, 1997) و غلظت بحرانی آن ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (Reuter and Robinson, 2008) گزارش شده است. بنابراین، در هیچ‌یک از تیمارها کمبود آهن در شاخساره ذرت مشاهده نشد (شکل‌های ۴ و ۵). میزان آهن قابل‌جذب گیاه در خاک مورد مطالعه حدود ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود (جدول ۱) که با توجه

www.SID.ir

Archive of SID



به سطح بحرانی آهن در خاک برای کشت ذرت، خاک مذکور کمبود آهن داشت (Malakouti and Gheybi, 1997) در حالی‌که با توجه به شکل‌های ۴ و ۵، غلظت آهن شاخساره ذرت در همه تیمارها در حد کفایت بود و کمبود آهن در هیچ‌یک از تیمارها حتی تیمار شاهد وجود نداشت و نیازی به مصرف کود شیمیایی آهن نبود. این نتیجه را می‌توان به اثر رایزوسفر ذرت و کودهای آلی در افزایش زیست‌فراهمی آهن در خاک نسبت داد. ترشح پروتون و اسیدهای آلی به‌وسیله ریشه ذرت از یک طرف pH خاک رایزوسفر را کاهش داده و از طرف دیگر با حل کردن ترکیب‌های آهن و کیلیت کردن آهن فراهمی آهن را افزایش می‌دهد. سازوکار چرخه کیلیت-آهن در رایزوسفر نیز در این افزایش نقش دارد. به‌دلیل بیش‌تر بودن غلظت ترکیب‌های آلی در خاک رایزوسفر، این ترکیب‌ها به جایگاه‌های دور از ریشه انتشار یافته و در آنجا با آهن کیلیت تشکیل می‌دهند. چون غلظت این کمپلکس‌های کیلیت-آهن در ناحیه دور از ریشه بیش‌تر از سطح ریشه می‌باشد، به سمت ریشه انتشار یافته و آهن آن به‌وسیله ریشه جذب شده و بخش کیلیت کننده آن به سطح ریشه آزاد می‌شود که می‌تواند مجدداً به ناحیه دور از ریشه انتشار یافته و با آهن دیگری کمپلکس یابد. این چرخه فراهمی آهن در خاک رایزوسفر را افزایش می‌دهد (Marschner, 1995; Havlin *et al.*, 1999). همچنین، آهن موجود در آب آبیاری مورد استفاده نیز می‌تواند در تأمین بخشی از آهن مورد نیاز گیاه مؤثر باشد (جدول ۴).

**غلظت روی علوفه ذرت**

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی کودهای آلی و فشردگی خاک بر غلظت روی شاخساره ذرت معنی‌دار بود ولی اثر متقابل آنها معنی‌دار نبود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های غلظت روی شاخساره ذرت برای اثر اصلی کودهای آلی نشان داد که استفاده از هر دو سطح ۱۵ و ۳۰ گرم کمپوست لجن فاضلاب در کیلوگرم خاک باعث افزایش معنی‌دار غلظت روی علوفه ذرت شد ولی اثر کود دامی و کمپوست پسماند شهری معنی‌دار نبود (شکل ۶). نجفی و همکاران (Najafi *et al.*, 2012) افزایش غلظت روی شاخساره آفتابگردان را با مصرف کود دامی و لجن فاضلاب گزارش کردند. کاظم‌زاده و همکاران (Kazemzadeh *et al.*, 2014) گزارش دادند که با مصرف ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار کود دامی، کمپوست پسماند شهری و کمپوست لجن فاضلاب غلظت روی آرد گندم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. افزایش سطح کودهای آلی از ۱۵ گرم به ۳۰ گرم تغییر معنی‌داری در غلظت روی شاخساره ذرت ایجاد نکرد (شکل ۶). مصرف کمپوست لجن فاضلاب در برخی موارد در برطرف کردن نیاز گیاهان به عناصر کم‌مصرف بسیار مؤثرتر از سایر منابع عمل کرده است، برای مثال رفع کمبود روی در ذرت با مصرف لجن فاضلاب بسیار مؤثرتر از سولفات روی بوده است (Sommers, 1977). همچنین کاهش pH خاک بر اثر تجزیه کودهای آلی به‌ویژه لجن فاضلاب و نیز تشکیل کیلیت روی به‌وسیله ترکیب‌های آلی اضافه شده، در افزایش فراهمی روی مؤثر می‌باشد. مواد آلی کوتاه‌زنجیر از طریق پیوند یافتن با روی، تحرک و حل‌پذیری روی در خاک و فراهمی آن را برای گیاه افزایش می‌دهد (Marschner, 1995; Vaseghi *et al.*, 2005).

مقایسه میانگین‌های غلظت روی شاخساره ذرت برای اثر اصلی فشردگی خاک نشان داد که فشردگی خاک باعث کاهش معنی‌دار (حدود ۱۷ درصد) غلظت روی شاخساره ذرت شد (شکل ۷) که با نتایج رحمان و همکاران (Rahman *et al.*, 2005)، میرانصاری و همکاران (Miransari *et al.*, 2009) و بهبود و همکاران (Behbood *et al.*, 2012) مطابقت داشت. میرانصاری و همکاران (Miransari *et al.*, 2009)

www.SID.ir

Archive of SID



کاهش غلظت روی برگ‌های ذرت بر اثر متراکم شدن خاک را گزارش دادند. بهبود و همکاران (Behbood *et al.*, 2012) مشاهده کردند که بر اثر فشردگی خاک (افزایش چگالی ظاهری خاک از ۱/۳ به ۱/۵۶ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، غلظت روی برگ و غده سیب‌زمینی، نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کمبود اکسیژن به‌دلیل تراکم بیش‌تر خاک باعث کاهش تنفس ریشه شده و سوخت‌وساز آنرا مختل کرده و باعث کاهش جذب مواد غذایی به‌وسیله گیاه می‌شود (Nadian, 1998).

افزودن مواد آلی به خاک و افزایش کربن آلی خاک با اثرهای بسیار مفیدی از قبیل بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت نگه‌داری و نفوذ آب، افزایش کشت‌پذیری و کاهش فرسایش خاک همراه است که در نهایت باعث کاهش اثرهای منفی فشردگی خاک بر تغذیه و رشد گیاه می‌شود (Khaleel, 1991). نظری و همکاران (Nazari *et al.*, 2006) نیز افزایش غلظت روی شاخساره گیاهان گندم، جو و ذرت را با مصرف لجن فاضلاب گزارش نمودند. بر اساس مشاهدات مرجوی (Marjovi, 2011) بیش‌ترین مقدار روی در ریشه چغندرقند در کوتاه‌مدت مربوط به تیمارهای کمپوست لجن فاضلاب و بعد از گذشت دو سال مربوط به تیمارهای کمپوست پسماند شهری بود. در پژوهشی دیگر، مصرف کمپوست پسماند شهری در خاک موجب افزایش جذب روی به‌وسیله ذرت شد (Rahimi, 1992). کلباسی و همکاران (Kalbasi *et al.*, 1978) نشان دادند که در خاک‌های آهکی، روی به‌صورت کربنات روی رسوب کرده و از دسترس ریشه گیاه خارج می‌شود. به‌همین دلیل، کمبود روی قابل‌جذب یکی از مشکلات اصلی تغذیه گیاه در این خاک‌ها بوده و به‌نظر می‌رسد مصرف کودهای آلی با افزایش ماده آلی خاک (جدول ۲) بتواند تا حد زیادی در رفع این کمبود مؤثر باشد (Najafi *et al.*, 2012). غلظت روی قابل‌جذب گیاه در خاک مورد مطالعه حدود یک میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود (جدول ۱) که با توجه به سطح بحرانی روی در خاک برای کشت ذرت (Malakouti and Gheybi, 1997)، میزان روی قابل‌جذب گیاه در خاک مورد مطالعه در مرز قرار داشت. با توجه به شکل‌های ۶ و ۷ و با توجه به اینکه غلظت بحرانی روی در شاخساره ذرت، ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Reuter and Robinson, 2008)، غلظت روی شاخساره ذرت در همه تیمارها بیش‌تر از سطح بحرانی بود و کمبود روی در هیچ‌یک از تیمارها حتی تیمار شاهد وجود نداشت که به‌نظر می‌رسد ناشی از اثر رایزوسفر و کودهای آلی در افزایش فراهمی روی در خاک بود (Marschner, 1995; Havlin *et al.*, 1999). همچنین، روی موجود در آب آبیاری مورد استفاده نیز می‌تواند در تأمین بخشی از روی مورد نیاز گیاه ذرت نقش داشته باشد (جدول ۴).

**غلظت منگنز علوفه ذرت**

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی فشردگی خاک بر غلظت منگنز شاخساره ذرت معنی‌دار بود ولی اثر اصلی کودهای آلی و اثر متقابل کودهای آلی و فشردگی خاک معنی‌دار نبود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های غلظت منگنز برای اثر اصلی کودهای آلی نشان داد که مصرف ۳۰ گرم کود دامی و کمپوست پسماند شهری در کیلوگرم خاک باعث افزایش معنی‌دار غلظت منگنز شاخساره ذرت نسبت به شاهد شد ولی اثر سایر سطوح و منابع کود دامی نسبت به شاهد معنی‌دار نبود (شکل ۸) که با نتایج شریفی و همکاران (Sharifi *et al.*, 2011) در گیاه جعفری و کاظم‌زاده و همکاران (Kazemzadeh *et al.*, 2014) در گندم مطابقت داشت. کاظم‌زاده و همکاران (Kazemzadeh *et al.*, 2014) گزارش دادند که با مصرف کود دامی، کمپوست پسماند شهری و کمپوست لجن فاضلاب

www.SID.ir

Archive of SID



غلظت منگنز آرد گندم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بین دو سطح ۱۵ و ۳۰ گرم در کیلوگرم خاک هر یک از کودهای آلی نیز تفاوت معنی‌داری از نظر غلظت منگنز شاخساره ذرت مشاهده نشد.

مقایسه میانگین‌های غلظت منگنز برای اثر اصلی فشردگی خاک نشان داد که متراکم شدن خاک موجب کاهش معنی‌دار (حدود ۱۲/۶ درصد) غلظت منگنز شاخساره ذرت شد (شکل ۹)، که با نتایج رحمان و همکاران (Rahman *et al.*, 2005)، میرانصاری و همکاران (Miransari *et al.*, 2009) و بهبود و همکاران (Behbood *et al.*, 2012) مطابقت داشت. میرانصاری و همکاران (Miransari *et al.*, 2009) کاهش غلظت منگنز برگ‌های ذرت را بر اثر متراکم شدن خاک مشاهده کردند. بهبود و همکاران (Behbood *et al.*, 2012) گزارش کردند که بر اثر فشردگی خاک (افزایش چگالی ظاهری خاک از ۱/۳ به ۱/۵۶ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، غلظت منگنز برگ و غده سیب‌زمینی، نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. رشد و توسعه ریشه در جذب آب و مواد غذایی عامل بسیار مهمی به‌شمار می‌رود و با افزایش چگالی ظاهری خاک این امر میسر نمی‌شود (Grzesiak, 2009).

افزایش مقدار منگنز قابل‌جذب گیاه در خاک بر اثر مصرف کودهای آلی، علاوه بر این‌که به بیش‌تر بودن این عنصر در کودهای آلی نسبت به خاک مربوط می‌شود (جدول‌های ۱ و ۳)، به تجزیه مواد آلی کودها، تشکیل اسیدهای آلی و افزایش اسید کربنیک خاک نیز ربط دارد که می‌تواند سبب کاهش pH خاک شده و در نهایت سبب افزایش جذب عناصر کم‌مصرف از جمله منگنز شود (Marschner, 1995; Havlin *et al.*, 1999). به‌نظر می‌رسد دلایلی که در مورد آهن و روی قبلاً ذکر شد، در مورد منگنز نیز صادق باشد. غلظت منگنز شاخساره ذرت در همه تیمارهای مورد مطالعه از سطح بحرانی ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (Reuter and Robinson, 2008) بیش‌تر بود. بنابراین، در شرایط آزمایش نیازی به مصرف کود شیمیایی منگنز نبود.

### غلظت سرب و کادمیم علوفه ذرت

غلظت سرب و کادمیم علوفه ذرت در تیمارهای مختلف به‌حدی کم بود که با دستگاه جذب اتمی قابل‌اندازه‌گیری نبود. لذا، یکبار مصرف کود دامی، لجن فاضلاب و کمپوست پسماند شهری در سطوح مورد استفاده در این تحقیق از نظر آلودگی علوفه ذرت به فلزات سنگین مذکور مشکلی نداشت. این نتایج از مزیت‌های کمپوست پسماند شهری و کمپوست لجن فاضلاب مورد استفاده در این بررسی می‌باشد؛ با این حال، باید توجه داشت که مصرف مکرر و طولانی‌مدت این مواد آلی به‌ویژه در مقادیر زیاد ممکن است مشکلاتی از نظر آلودگی به فلزات سنگین در خاک و گیاه ذرت ایجاد نماید. لذا، پیشنهاد می‌شود در مورد اثر مصرف طولانی‌مدت این کودهای آلی بر غلظت فلزات سنگین ذرت بررسی‌های بیش‌تری در آینده انجام شود تا از بروز مشکلات احتمالی زیست‌محیطی و آلودگی ذرت به فلزات سنگین جلوگیری شود.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که مصرف کودهای آلی در خاک غلظت فسفر، پتاسیم، آهن، روی و منگنز علوفه ذرت را افزایش داد ولی بر غلظت سدیم آن تأثیر معنی‌داری نداشت. با افزایش سطح فشردگی خاک (افزایش چگالی ظاهری خاک از ۱/۲ به ۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب) غلظت فسفر، آهن، روی و منگنز شاخساره ذرت کاهش یافت ولی غلظت پتاسیم و سدیم آن تغییر معنی‌داری نکرد. همچنین با مصرف کودهای آلی در خاک فشرده شده، تأثیر تراکم خاک بر رشد گیاه کاهش و تغذیه گیاه بهبود یافت. غلظت

www.SID.ir

Archive of SID



سرب و کادمیم علوفه ذرت در تیمارهای مختلف به‌حدی کم بود که با دستگاه جذب اتمی قابل‌اندازه‌گیری نبود که یکی دیگر از ویژگی‌های مثبت کودهای آلی مصرف شده در این مطالعه می‌باشد. برای افزایش رشد و بهبود تغذیه و کیفیت ذرت علوفه‌ای در خاک‌های فشرده و غیرفشرده، مصرف ۱۵ یا ۳۰ گرم کمپوست لجن فاضلاب یا کود دامی یا کمپوست پسماند شهری بر کیلوگرم خاک (به‌ترتیب معادل ۳۰ و ۶۰ تن بر هکتار) می‌تواند توصیه شود. با توجه به کمبود مواد آلی در اغلب خاک‌های ایران پیشنهاد می‌شود اثر مواد آلی دیگر مانند بقایای گیاهان مختلف و سایر انواع کمپوست نیز بر غلظت عناصر در علوفه ذرت بررسی گردد. همچنین، با توجه به این‌که در این بررسی از یک خاک سبک‌بافت استفاده شده بود، پیشنهاد می‌شود اثر متقابل کودهای آلی و سطوح فشردگی خاک بر جذب عناصر غذایی و رشد گیاهان در یک خاک سنگین بافت نیز بررسی شود. با توجه به اینکه در خاک سنگین بافت اثر تراکم خاک بر کاهش تهویه خاک شدیدتر از خاک سبک بافت بوده و احتمالاً در مورد جذب عناصر و رشد گیاه نتایج متفاوتی مشاهده خواهد شد.

**جدول ۱**- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

**Table 1-** Some chemical and physical characteristics of studied soil

| Zn | Cu | Mn | Fe | P | K | Na | $EC_{(1:1)}$ | $pH_{(1:1)}$ | OM | CCE | Clay | Sand | بافت Texture |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (mg/kg)* | | | | | | | (dS/m) | | (٪) | | | | |
| 1 | 1.8 | 9 | 3 | 8 | 400 | 195 | 1.1 | 7.85 | 0.8 | 15.8 | 10.3 | 73.2 | شن لومی Loamy sand |

CCE: کربنات کلسیم معادل، OM: مواد آلی، EC: قابلیت هدایت الکتریکی، *عناصر قابل‌جذب گیاه در خاک

**جدول۲**- برخی ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده

**Table 2-** Some chemical characteristics of studied organic fertilizers

| | N | OC | OM | $EC_{(1:2)}$ | $pH_{(1:2)}$ | C/N |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | (%) | | | (dS/m) (v/v) | (v/v) | |
| کود دامی Farmyard manure | 0.95 | 17.8 | 30.7 | 13.5 | 8.5 | 18.7 |
| کمپوست لجن فاضلاب Sewage sludge compost | 1.2 | 11.2 | 19.3 | 12.4 | 7.0 | 9.3 |
| کمپوست پسماند شهری Municipal waste compost | 0.6 | 10.5 | 18.1 | 17.2 | 7.4 | 17.5 |

**جدول۳**- غلظت کل عناصر در کودهای آلی مورد استفاده

**Table 3-** Total concentrations of elements in organic fertilizers

| | Cd | Mn | Zn | Cu | Pb | Fe | Na | K | Ca | Mg | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (mg/kg dw) | | | | | | (mg/g dw) | | | | |
| کود دامی Farmyard manure | 9.7 | 148 | 101 | 38.9 | 94.3 | 5149 | 6.9 | 22.5 | 12.8 | 21.4 | 9.6 |
| کمپوست لجن فاضلاب Sewage sludge compost | 13.2 | 322 | 3276 | 303.9 | 163 | 11972 | 2.9 | 5.6 | 28.0 | 56.2 | 8.7 |
| کمپوست پسماند شهری Municipal waste compost | 10.5 | 262 | 245 | 306.9 | 130.7 | 13621 | 7.7 | 7.0 | 6.8 | 13.4 | 6.5 |

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۴**- نتایج تجزیه شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده

**Table 4**- Chemical analysis of used irrigation water

| عناصر Elements | pH | Na | Cu | Zn | Mn | Fe | Mg | Ca | P | K | EC (dS/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| غلظت (mg/L) Concentration | 7.7 | 3.5 | 0.0 | 0.6 | 0.0 | 0.1 | 11 | 42 | 0.05 | 4.3 | 0.49 |

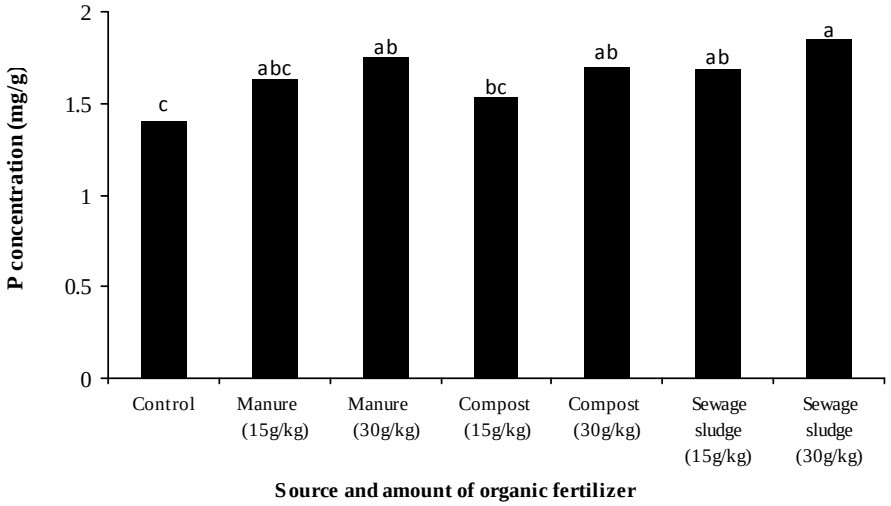
**جدول ۵**- تجزیه واریانس اثر فشردگی خاک، منبع و مقدار کود آلی بر غلظت عناصر در ذرت

**Table 5-** Analysis of variance of the effects of soil compaction, source and amount of organic fertilizers on the concentrations of elements in the corn shoot

| منبع تغییر S.O.V. | درجه آزادی df | میانگین مربعات (Mean squares) Mn | Zn | Fe | Na | K | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تکرار Replication | 2 | $27.4^{ns}$ | $10.16^{ns}$ | $1738^{*}$ | $3974^{ns}$ | $0.587^{ns}$ | $0.001^{ns}$ |
| فشردگی Compaction | 1 | $336.6^{**}$ | $215.71^{**}$ | $6942^{**}$ | $10.7^{ns}$ | $0.01^{ns}$ | $0.77^{**}$ |
| کودآلی Organic fertilizer | 6 | $47.7^{**}$ | $38.05^{**}$ | $1460^{*}$ | $3617^{ns}$ | $16.65^{*}$ | $0.12^{*}$ |
| کود آلی× فشردگی Organic fertilizer× compaction | 6 | $18.1^{ns}$ | $9.72^{ns}$ | $248^{ns}$ | $1129^{ns}$ | $0.712^{ns}$ | $0.008^{ns}$ |
| خطای آزمایشی Error | 26 | 11.347 | 7.9 | 428.3 | 3718 | 5.113 | 0.042 |
| ضریب تغییرات C.V(٪) | | 7.14 | 9.71 | 11.83 | 11.59 | 9.52 | 12.39 |

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

ns, * and **: non-significant and significant at the 5% and 1% probability level, respectively



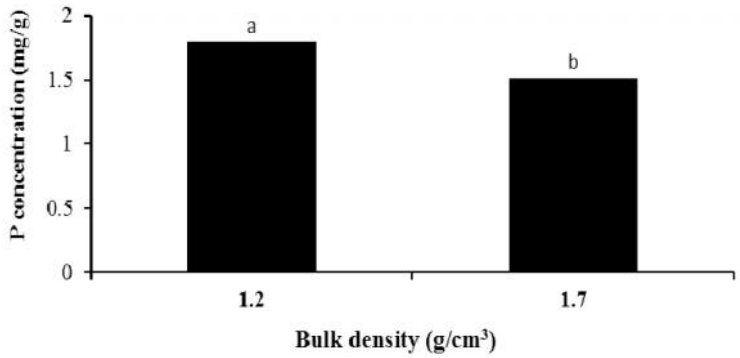

**شکل ۱**- تأثیر منبع و مقدار کود آلی بر غلظت فسفر شاخساره ذرت

**Figure 1-** The effect of source and amount of organic fertilize on the corn shoot P concentration

www.SID.ir

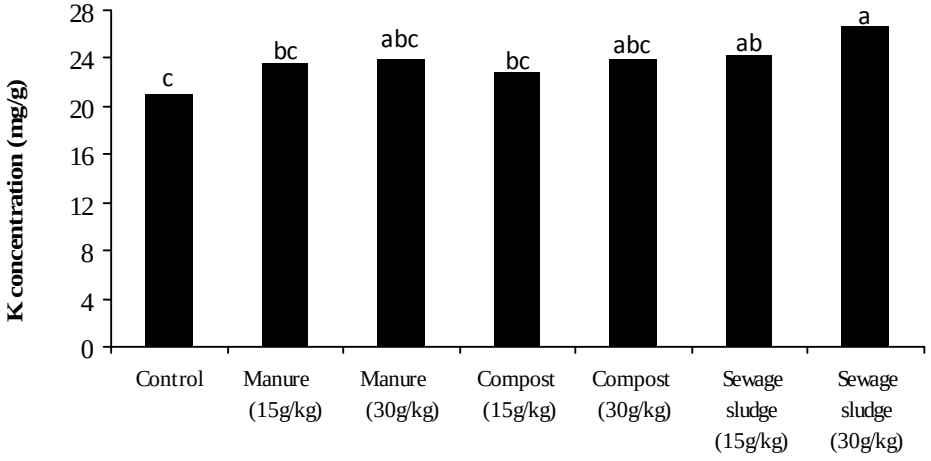
Archive of SID





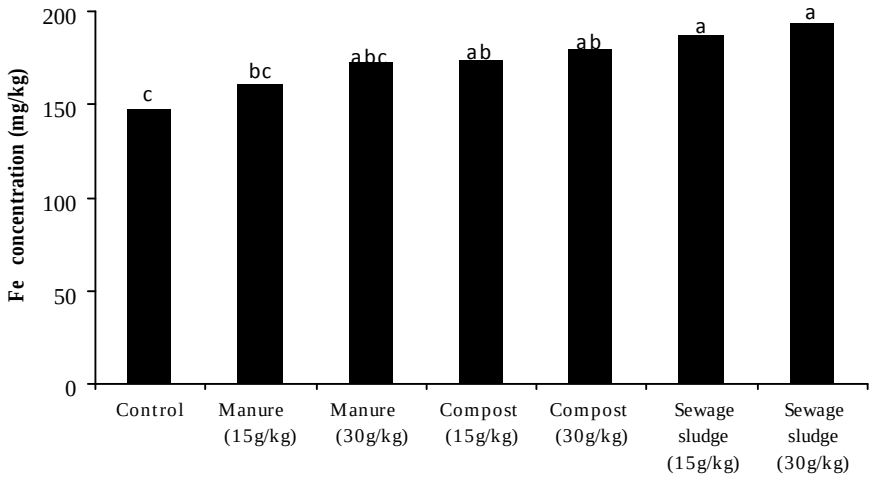

**شکل ۲**- تأثیر فشرده شدن خاک بر غلظت فسفر شاخساره ذرت

**Figure 2-** The effect of soil compaction on the corn shoot P concentration




**شکل ۳**- تأثیر منبع و مقدار کود آلی بر غلظت پتاسیم شاخساره ذرت

**Figure 3-** The effect of source and amount of organic fertilize on the corn shoot K concentration



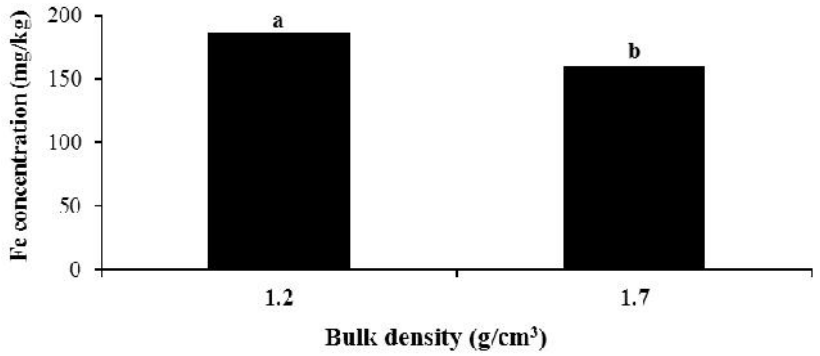

**شکل ۴**- تأثیر منبع و مقدار کود آلی بر غلظت آهن شاخساره ذرت

**Figure 4-** The effect of source and amount of organic fertilize on the corn shoot Fe concentration

www.SID.ir

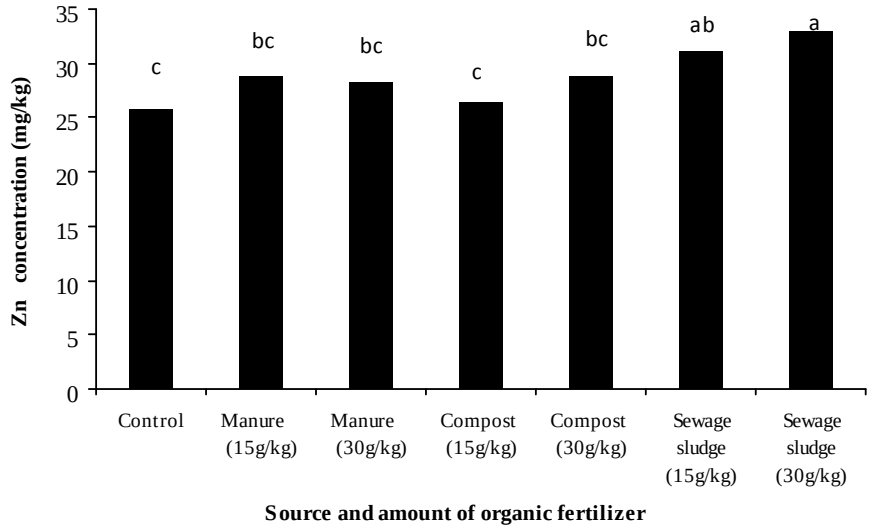
Archive of SID





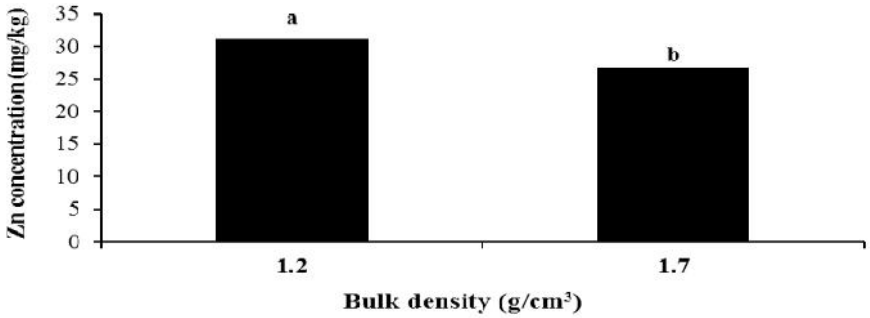

**شکل ۵**- تأثیر فشرده شدن خاک بر غلظت آهن شاخساره ذرت

**Figure 5-** The effect of soil compaction on the corn shoot Fe concentration




**شکل ۶**- تأثیر منبع و مقدار کود آلی بر غلظت روی شاخساره ذرت

**Figure 6-** The effect of source and amount of organic fertilize on the corn shoot Zn concentration



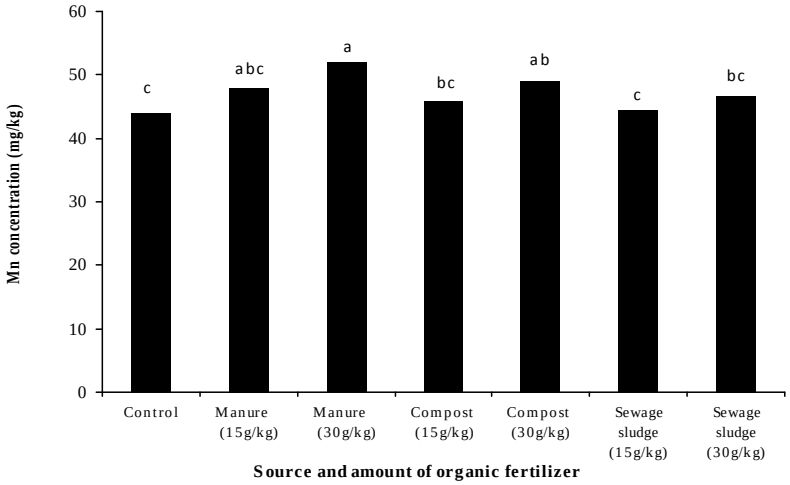

**شکل ۷**- تأثیر فشرده شدن خاک بر غلظت روی شاخساره ذرت

**Figure 7-** The effect of soil compaction on the corn shoot Zn concentration

www.SID.ir

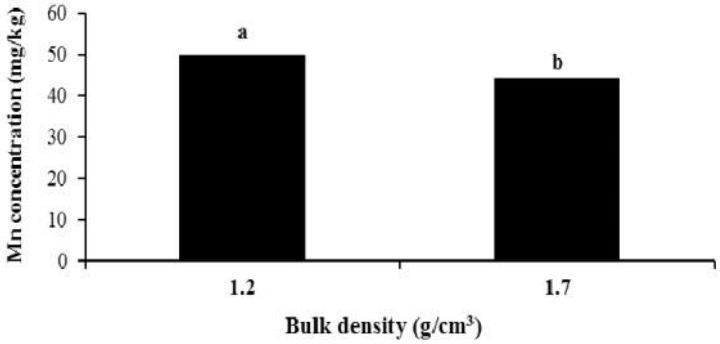
Archive of SID






**شکل ۸**- تأثیر منبع و مقدار کود آلی بر غلظت منگنز شاخساره ذرت

**Figure 8-** The effect of source and amount of organic fertilize on the corn shoot Mn concentration




**شکل ۹**- تأثیر فشرده شدن خاک بر غلظت منگنز شاخساره ذرت

**Figure 9-** The effect of soil compaction on the corn shoot Mn concentration

## References

## منابع مورد استفاده


- Abbasi, M., N. Najafi, N. Aliasgharzad, and S. Oustan. 2012. Effects of soil water conditions and organic and chemical fertilizers on growth characteristics and water use efficiency of rice in an alkaline non-calcareous soil. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture.* 3(11): 1-17. (In Persian).
- Ahmadinezhad, R. 2012. Integrated effect of organic fertilizers and nitrogen on nutrition, growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* cv. Alvand). M.Sc. Thesis, University of Tabriz. 121 Pages**.**
- Akanni, D.I., and S.O. Ojeniyi. 2007. Effect of different levels of poultry manure on soil physical properties, nutrients status, growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Research Journal of Agronomy.* 1(1): 1-4.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration guideline for computing crop water requirements, irrigation and drainage. FAO, Rome, Italy, 300 Pages.
- Baran, A., G. Cayci, C. Kutuk, and R. Hartman. 2001. The effect of grape marc as growing medium on growth of hypostases plant. *Bioresource Technology.* 78: 103-106.


www.SID.ir

Archive of SID




- Behbood, M., A. Golchin, and H. Besharati. 2012. The Effect of soil compaction on tuber yield and quality and uptake of nutrients by potato plant (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Water and Soil*, Ferdowsi University of Mashhad. 26(1): 11-19. (In Persian).
- Coker, E.J., and P.J. Matthews. 1983. Metals in sewage sludge and their potential effects in agriculture. Water Science, complexing of zinc and copper in displaced solution from calcareous soils. *Soil Science Society of American Proceeding.* 30: 723-726.
- Eghball, B., D. Ginting, and J.E. Gilley. 2004. Residual effect of manure and compost application on maize production and soil properties. *Agronomy Journal*. 96: 442-447.
- Fageria, N.K. 2009. The use of nutrients in crop plants. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
- Gee, G.W., and D. Or. 2002. Particle-size analysis. pp. 255-295. In: Dane, J.H. and G.C. Topp (eds). Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods. Soil Science Society of America. Madison, WI. USA.
- Grzesiak, M.T. 2009. Impact of soil compaction on root architecture, leaf water status, gas exchange and growth of maize and triticale seedlings. *Plant Root.* 3: 10-16.
- Gupta, P.K. 2000. Soil, plant, water, and fertilizer analysis. Agrobios. New Delhi, India.
- Hasanpour, R. 2013. Combined effect of soil salinity and compaction on some corn growth indices. M. Sci. Thesis, University of Tabriz, Tabriz, Iran. (In Persian).
- Havlin J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. Sixth Ed. Prentice Hall, New Jersey. USA.
- Hazelton, P.A., and B.W. Murphy. 2007. Interpreting soil test results: what do all the numbers mean? CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
- Imam, Y. 2004. Grain farming. Second Edition, Shiraz University Press, Iran. (In Persian).
- Ishaq, M., A. Hassan, M. Saeed, M. Ibrahim, and R. Lal. 2001. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: 1. Soil physical properties and crop yield. *Soil and Tillage Research.* 1570: 1-9.
- Javaheri, M.A., N. Rashidi, and A. Baghizadeh. 2005. Influence of organic farm yard manure, potassium and boron on quantity and quality of sugar beet in Bardsir region. *Journal of Sugar Beet.* 21(1): 43-56. (In Persian).
- Jones, B.J. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press, USA.
- Kalbasi, M., G.J. Racz, and L.A. Lewen-Rudgers. 1978. Reaction products and solubility of applied zinc compounds in some Manitoba soils. *Canadian Journal of Soil Science.* 125: 55-64.
- Kazemzadeh, M., S.H. Peighambardoust, and N. Najafi. 2014. Improving the nutrients concentrations of wheat flour cv. Alvand by integrated application of organic and nitrogen fertilizers. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 44(4): 405-420. (In


www.SID.ir

Archive of SID



Persian).

- Khaleel, R., K.R. Reddy, and M.R. Overcash. 1991. Changes in soil physical properties due to organic waste applications: A review. *Journal of Environmental Quality*. 10: 133-141.
- Knudsen, D., G.A. Peterson, and P.F. Pratt. 1982. Lithium, sodium, and potassium. pp. 225-246. In: In: Page A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeny (eds). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. *Soil Science Society of America*, Madison. WI. USA.
- Lindsay, W.L., and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*. 42: 421-428.
- Lipiec J., T. Ishioka, A. Szustak, J. Pietrusiewicz, and W. Stepniewski. 1996. Effects of soil compaction and transient oxygen deficiency on growth, water use and stomata resistance in maize. *Soil and Plant Science*. 46: 186-191.
- Mahmoudi S., N.Najafi and A. Reyhanitabar 2015. Effect of soil moisture and sewage-sludge compost on some soil chemical properties and alfalfa forage macronutrients concentrations in greenhouse conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*. 6(22): 37-55. (In Persian).
- Malakouti, M.J. 1997. Sustainable agriculture and increasing of yield with fertilizer use in Iran. Agriculture Nashr Amuzesh, Publisher. (In Persian).
- Malakouti, M.J., and M.N. Gheybi. 1997. Determination of nutrient critical levels in strategic crops and correct fertilizer recommendation in Iran. Agricultural Education Publication, Karaj. (In Persian).
- Marjovy, A.R., and M.R. Jahadakbar. 2011. Effect of municipal compost and sewage sludge on soil chemical characteristics, quality and quantity of sugar beet in Rudasht-Esfahan. *Journal of Sugar Beet*, 27(1): 67-83. (In Persian).
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. New York. 890 Pages.
- Mclean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. pp. 199-224. In: Page A.L., R.H. Miller and D.R. Keeny (eds). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Soil Science Society of America, Madison, WI. USA.
- Miransari, M., H.A. Bahrami, F. Rejali, and M.J. Malakouti. 2009. Effects of soil compaction and arbuscular mycoorrhiza on corn (*Zea mays* L.) nutrient uptake. *Soil and Tillage Research*. 103: 282-290.
- Nadian, H., S.E. Smith, A.M. Alston, and R.S. Murray. 1998. Effect of soil compaction on growth and P uptake by *Trifolium subtteraneum subtteraneum* colonized by four species of vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*. 139: 155-165.
- Najafi N., and M. Abbasi. 2013. Effects of soil water conditions, sewage sludge, poultry manure and chemical fertilizers on macronutrients concentrations in rice plant. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 4 (5): 1066-1077.

www.SID.ir

Archive of SID




- Najafi, N., S. Mardomi, and S. Oustan. 2012. Influence of waterlogging, sewage sludge and manure on the heavy metals concentrations in roots and shoots of sunflower in a loamy sand soil. *Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resources-Water and Soil.* 15(58): 139-157. (In Persian).
- Najafi, N., S. Mardomi, and S. Oustan. 2013. The effect of waterlogging sewage sludge and manure on selected macronutrients and sodium uptake by sunflower plant in a loamy sand soil. *Journal of Water and Soil*, Ferdowsi University of Mashhad. 26(3): 619-636. (In Persian).
- Nazari, M.A., H. Shariatmadari, M. Afyuni, M. Mobli, and Sh. Rahili. 2006. Effect of industrial sewage-sludge and effluents application on concentration of some elements and dry matter yield of wheat, barley and corn. *Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resources.* 10(3): 97-111. (In Persian).
- Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. pp. 539-579. In: Page A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeny (eds). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Soil Science Society of America, Madison. WI. USA.
- Olsen, S.R., and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. Pp. 403-430. In: Page A.L., R.H. Miller and D.R. Keeny (eds). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Soil Science Society of America, Madison. WI. USA.
- Pinton, R., Z. Varanini, and P. Nannipieri. 2007. The Rhizosphere: biochemistry and organic substances at the soil-plant interface. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
- Rahman, M.H., M. Hara, and S. Hoque. 2005. Growth and nutrient uptake of grain legumes as affected by induced compaction in Andisols. *International Journal of Agriculture & Biology.* 7(5): 740-743.
- Rahman, M.H., S. Kawai, S. Alam, S. Hoque, A. Tanaka, and M. Ito. 1999. Effect of soil compaction on plant growth in an Andisol. *Japan Journal of Tropical Agriculture*. 4: 129-35.
- Rasouli, F., and M. Maftoun. 2010. Residual effects of two organic matters with or without nitrogen on growth and chemical composition of wheat and some soil chemical properties. *Journal of Water and Soil.* 24 (2): 262-273. (In Persian).
- Reintam, E., and J. Kuht. 2003. Changes in nutrient uptake and cellular fluid pH of spring barley as affected by soil compaction. *Indian Journal Plant Physiology*, Special Issue. Pp. 522-526.
- Reuter D.J., and J.B. Robinson. 2008. Plant analysis: An interpretation manual. Second ed. CSIRO Publishing, Australia.
- Rezaenejad, Y., and M. Afyuni. 2001. Effect of organic matter on soil chemical properties and corn yield and elemental uptake. *Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resources.* 4(4): 19-29. (In Persian).


www.SID.ir

Archive of SID




- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Salinity Laboratory Staff, Agricultural Handbook No 60. USDA, USA.
- Schnurr-Putz, S., G. Guggenberger, and K. Kusell. 2006. Compaction of forest soil by logging machinery favours occurrence of prokaryotes. *FEMS Microbiological Ecology*. 58: 503–516.
- Sharifi, M., M.A. Afyuni, and H. Khoshgoftarmanesh. 2011. Effects of sewage sludge, compost and cow manure on availability of soil Fe and Zn and their uptake by corn, alfalfa and tagetes flower. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources-Water and Soil*. 15(56): 141-154. (In Persian).
- Smethurst, C.F., T. Garnett, and S. Shabala. 2005. Nutritional and chlorophyll fluorescence responses of Lucerne (*Medicago sativa*) to waterlogging and subsequent recovery. *Plant and Soil*. 270: 31-45.
- Smith, S.R. 1992. Sewage sludge and refuse composts as peat alternative for conditioning impoverished soils. *Journal of Horticultural Sciences*. 67: 703-716.
- Soane, B.D. 1990. The role of organic matter in soil compatibility: A review of some practical aspects, *Soil & Tillage Research.* 16: 179-202.
- Sommers, L.E. 1977. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. *Journal of Environmental Quality*. 6(6): 225-231.
- Sumner, M.E. 2000. Beneficial use of effluents, wastes and biosolids. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 31: 1701-1715.
- Vaseghi, S., M. Afyuni, H. Shariatmadari, and M. Mobli. 2005. Effect of sewage sludge on some macronutrients concentration and soil chemical properties. *Journal of Water and Waste Water*, 16(53): 15-22. (In Persian).
- Waling, I., W.V. Vark, V.J.G. Houba, and J.J. Van der lee. 1989. Soil and plant analysis, a series of syllabi. Part 7. Plant analysis procedures. Wageningen Agriculture University, the Netherland.
- Waseem, R., Y. Sohail, N. Abid, R. Khalid, and H. Iqbal. 2005. Subsoil compaction effects on soil properties, nutrient uptake and yield of maize fodder (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Botany*. 37(2): 933-940.
- Westerman, R.L. 2005. Soil testing and plant analysis. Third Edition, Issue 3 of Soil Science Society of America Book Series. SSSA, USA. 784 Pages.
- Wolf, A., M. Watson, and N. Wolf. 2003. Digestion and dissolution methods for P, K, Ca, Mg and trace elements. In: Peters *et al*., (eds). Recommended methods of manure analysis. Cooperative Extension Publishing, University of Wisconsin. USA.
- Zeytin, S, and A. Baran. 2003. Influences of composted hazelnut husk on some physical properties of soils. *Bioresource of Technology*. 88: 241-244.


www.SID.ir

Archive of SID



# Differential Concentrations of some Nutrient Element in Forage of Corn (*Zea mays* L.) as Affected by Organic Fertilizers and Soil Compaction

**Najafi, N.[1*], and A. Mohammadnejad[2]**

*Received: July 2014, Accepted: 11 November 2015*

## Abstract

Soil compaction is one of the most important limiting factor for normal crop growth, because it reduces absorption by the plant. Application of organic fertilizers in agricultural soils can reduce the detrimental effects of soil compaction on plant growth and also supply some nutrients to plant. Thus, a factorial experiment was carried out in a randomized complete block design with three replications and 14 treatments to evaluate the effects of organic fertilizers in mitigating soil compaction. The first factor in this study was the source and amount of organic fertilizer at seven levels (control, farmyard manure, sewage sludge compost and municipal solid waste compost and each of organic fertilizers at two levels of 15 and 30 g/kg of soil). The second factor was soil compaction at two levels (bulk density of 1.2 and 1.7 g/cm$^3$). To perform this experiment, 10 kg of dry soil was poured into special PVC pots and then seeds of single cross 704 corn were planted. At the end of the growth period, the corn shoot was harvested and concentrations of phosphorus (P), potassium (K), sodium (Na), iron (Fe), zinc (Zn), manganese (Mn), cadmium (Cd) and lead (Pb) were determined by dry ashing method. The results showed that concentrations of Cd and Pb in the shoot, related to the different treatments, were negligible. Concentrations of P, K, Fe, Mn and Zn in the corn shoot were increased significantly by application of farmyard manure, sewage sludge compost and municipal solid waste compost at both levels of soil compaction. However, Na concentration of shoot did not change significantly. Soil compaction significantly reduced P, Fe, Mn and Zn concentrations of corn shoot, but it affected concentrations of Na and K significantly. Application of organic fertilizers and increasing their levels reduced the negative effects of soil compaction on nutrients uptake by corn plant. This study showed that to improve forage corn nutrition, application of 15 or 30 g. of farmyard manure or sewage sludge compost or municipal solid waste compost per kg of soil can be recommended to similar compacted and non-compacted conditions.

**Key words**: Corn, Manure, Municipal solid waste compost, Nutrients, Sewage sludge, Soil compaction.

1- Associate Professor, Soil Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2- Former Graduate Student, Soil Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
***Corresponding Author:** nanajafi@yahoo.com*

www.SID.ir