

اثر کمپوست حاوی زئولیت اصلاح شده با منیزیم بر برخی صفات ریخت‌شناسی و کلروفیل ذرت در خاک لوم شنی

هاجر طاهری سودجانی^۱، منوچهر حیدر پور^۱، محمد شایان نژاد^{۱*}، حسین کاظمیان^۲، حسین شریعتمداری^۳ و مجید افیونی^۳

^۱ گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. ^۲ گروه شیمی، دانشگاه بریتیش کلمبیای شمالی، پرنس جورج، کانادا، ^۳ گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۴/۳۱)

چکیده

به منظور بررسی اثر کمپوست‌های حاوی زئولیت طبیعی و اصلاح شده بر برخی صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، آزمایش‌های گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار و سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که استفاده کمپوست حاوی زئولیت به‌ویژه نوع اصلاح شده آن سبب افزایش قطر، ارتفاع گیاه، حجم ریشه، وزن برگ، ساقه و ریشه گیاه نسبت به تیمار کمپوست بدون زئولیت شد. وزن خشک اندام هوایی با کاربرد کمپوست حاوی زئولیت اصلاح شده نسبت به زئولیت طبیعی، ۱۱/۸ درصد افزایش نشان داد. استفاده از کمپوست حاوی زئولیت طبیعی و اصلاح شده به ترتیب سبب افزایش میزان برداشت نیتروژن به میزان ۳۴/۶۸ و ۵۴/۴۷ درصد نسبت به تیمار کمپوست بدون زئولیت شد. مقدار کلروفیل a، ۲۹/۲۲ و ۳۴/۸۸ درصد، کلروفیل b، ۴۴/۲۹ و ۷۶/۴۵ درصد، کلروفیل کل ۳۲/۱۴ و ۴۲/۹۴ درصد و کاروتنوئیدها ۱۹/۷۷ و ۲۹/۵۸ درصد به ترتیب با کاربرد کمپوست دارای زئولیت طبیعی و اصلاح شده نسبت به تیمار کمپوست بدون زئولیت افزایش نشان داد. همچنین با افزایش میزان نیتروژن برگ، مقدار کلروفیل a، b و کلروفیل کل نیز افزایش یافت و همبستگی حدود ۸۰ درصد بین مقدار نیتروژن برگ و کلروفیل وجود داشت. در مجموع استفاده از زئولیت اصلاح شده در روند تولید کمپوست و سپس کاربرد آن در خاک به دلیل بهبود ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رشد گیاه، زئولیت اصلاح شده، کمپوست زباله شهری، کلروفیل، نیتروژن

مقدمه

کاهش بازگشت بقایای گیاهی به خاک و در نتیجه کمبود مواد آلی خاک شده است (افیونی، ۱۳۸۴). بیش از ۹۷ درصد نیتروژن خاک به شکل آلی است و با کاهش مواد آلی خاک نیتروژن نیز به همان نسبت کاهش می‌یابد (Tate, 1995). به همین دلیل تمایل کشاورزان به مصرف کودهای شیمیایی به‌منظور تولید محصول بیشتر افزایش یافته است. پس از وارد

کشاورزی پایدار روی گزینه‌های مدیریتی به‌منظور کاهش هدرروی مواد غذایی خاک، بهبود کیفیت خاک و افزایش عملکرد محصول تمرکز یافته است (Edmeades, 2003). در اقلیم خشک و نیمه‌خشک که قسمت عمده کشور ایران را شامل می‌شود، عدم پوشش گیاهی کافی و مناسب موجب

* نویسنده مسئول، نشانی پست الکترونیکی: shayannejad@cc.iut.ac.ir

شدن کودهای شیمیایی به عرصه کشاورزی، به دلیل افزایش عملکرد محصولات، ارزانی قیمت و سهولت تهیه این کودها، اهمیت استفاده از کودهای آلی به فراموشی سپرده شد. با مصرف بیش از حد این کودها و عدم مدیریت صحیح کوددهی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تحت تأثیر قرار گرفته است (افیونی، ۱۳۸۴). استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی در خاک ضمن کاهش خطرات زیست محیطی، سبب بهبود خصوصیات بیوفیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش بیشتر راندمان استفاده از نیتروژن، حفظ رضایت‌بخش عملکرد محصول، کاهش هزینه‌های تولید و در نتیجه افزایش سودآوری می‌شود (Agegnehu et al., 2016a, b).

از میان روش‌هایی که برای تبدیل مواد زائد آلی به کودهای آلی وجود دارد، روش تهیه کمپوست معمول‌ترین آنها می‌باشند (Dominguez et al., 1997). یکی از مشکلاتی که در روند تولید کمپوست وجود دارد، تبدیل آمونیوم به گاز آمونیاک است که ضمن هدرروی نیتروژن سبب بوی بد کمپوست می‌شود (Liang et al., 2006; Pagans et al., 2006)؛ بنابراین تولید و توسعه استفاده از موادی مانند زئولیت‌ها که سبب نگهداشت آمونیوم و بهبود راندمان کودها می‌شوند و از طرفی خودشان سبب آلودگی محیط‌زیست نمی‌شوند حائز اهمیت است. زئولیت‌ها آلومینوسیلیکات‌های بلوری هستند که دارای ساختار سه بعدی می‌باشند (Rehakova et al., 2004). زئولیت‌ها دارای خاصیت تبادل یونی، غربال مولکولی، تبلور و جذب بدون تغییر عمده در ساختار آن هستند (Leggo et al., 2006). کاربرد مؤثر زئولیت‌ها به‌منظور جذب آمونیوم و آمونیاک در روند تولید کمپوست در تحقیقات مختلف به اثبات رسیده است (Joghan et al., 2010; Turan and Ergun, 2007; Villasenor et al., 2011). همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که استفاده از زئولیت در تولید کمپوست کود حیوانی می‌تواند یک روش سودمند برای کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و بهبود پایداری سیستم‌های کشاورزی از نظر افزایش محصول و جلوگیری از آلودگی مواد غذایی باشد. زئولیت‌ها علاوه بر اثرات مثبتی که بر بهبود کمپوست

تولیدی دارند، توانایی آنها در کشاورزی نیز به اثبات رسیده است. کاربرد زئولیت در تحقیقات سبب افزایش عملکرد گیاه کلزا، ذرت علوفه‌ای، سیب‌زمینی، آلوئه‌ورا و آفتاب‌گردان شد (پاکزی، ۱۳۸۹؛ خاشعی سیوکی و همکاران، ۱۳۸۷؛ مدنی و همکاران، ۱۳۸۹؛ یاری و همکاران، ۱۳۹۲؛ یعقوبی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Valadabadi et al., 2010). همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که زئولیت پتانسیل خوبی برای کاربرد در کشاورزی دارد چون هم رشد گیاه را بهبود می‌بخشد (افزایش ۴۷ درصدی عملکرد علوفه) و هم باعث بهبود شرایط خاک در طولانی مدت می‌شود. Azarpour و همکاران (۲۰۱۱) با کاربرد کودهای شیمیایی، کمپوست، زئولیت (غنی شده) و ترکیب کمپوست و زئولیت بیان کردند که مخلوط زئولیت با کمپوست باعث افزایش راندمان مصرف آب شده، سبب بهبود استفاده از $N-NH_4^+$ و $N-NO_3^-$ می‌شود. غلامحسینی و همکاران (۱۳۸۶) کاربرد زئولیت کلینوپتیلولیت در تولید کمپوست کود دامی را سبب افزایش میزان نیتروژن کمپوست تولیدی دانسته و بالاترین درصد عملکرد دانه گیاه آفتابگردان را در تیمارهای با کاربرد ۱۵ درصد زئولیت مشاهده کردند. در تحقیق Radziemska و Wyszowski (۲۰۱۳) کاربرد کمپوست و زئولیت باعث افزایش محتوی نیتروژن در دانه و کاهش جو نسبت به ریشه آن شد. Gholamhoseini و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی کاربرد کودگاو و کود شیمیایی مخلوط شده با زئولیت بر روی عملکرد آفتابگردان، کیفیت دانه و شسته شدن مواد غذایی پرداختند. زئولیت میزان نیتروژن در دسترس گیاه و راندمان مصرف نیتروژن را افزایش داد که این کار سبب کاهش آلودگی محیط‌زیست و افزایش عملکرد محصول شد. محراب و همکاران (۱۳۹۳) بیان کردند که با کاربرد زئولیت غنی شده با آمونیوم و مصرف کود شیمیایی کمتر می‌توان خصوصیات رشدی گیاه گندم را بهبود بخشید و با این کار علاوه بر مصرف کود شیمیایی کمتر به کاهش آلودگی محیط‌زیست کمک کرد.

به‌منظور بهبود کارایی زئولیت‌ها برای جذب مواد غذایی آنها را اصلاح می‌کنند. تحقیقات نشان داد که در صورت اصلاح

زئولیت با نمک منیزیم کلرید، توانایی آن برای جذب آمونیوم پساب افزایش می‌یابد (Huang *et al.*, 2014)؛ اما تا به حال از زئولیت اصلاح شده در روند تولید کمپوست استفاده نشده است و تحقیقات در زمینه استفاده از کمپوست‌های زئولیتی در کشت گیاه بسیار کم است. هدف این تحقیق بررسی اثر کمپوست‌های تولیدی با زئولیت اصلاح شده و طبیعی بر برخی صفات ریخت‌شناسی گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ و همچنین میزان کلروفیل و نیتروژن برداشت شده توسط آن است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر کمپوست اصلاح شده با زئولیت بر صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار و سه تکرار در دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۹۵ اجرا شد.

در این آزمایش برای تهیه زئولیت اصلاح شده از زئولیت طبیعی (کلینوپتیلولیت) استفاده شد. برای این کار ابتدا زئولیت از الک ۲۵۰ میکرون عبور داده شد. سپس زئولیت با استفاده از آب مقطر (نسبت ۱:۱۰) شسته و سپس در هوای آزاد خشک شد. نمک استفاده شده برای اصلاح زئولیت، نمک منیزیم کلرید با فرمول $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ بود. برای اصلاح زئولیت مورد نیاز ابتدا محلول ۲ مولار $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ در درون لایسیمترهایی با حجم ۱۵۰ لیتر تهیه شد و ۱۵ کیلوگرم زئولیت شسته شده درون هر کدام از لایسیمترها ریخته شد و به مدت دو روز به صورت دستی هم زده شد (به طور متوسط هر نیم ساعت یک‌بار). بعد از دو روز زمان کافی برای ته‌نشینی زئولیت داده شد. سپس محلول رویی دور ریخته شد و دوباره محلول نمک تهیه و به مدت دو روز دیگر محلول هم زده شد. بعد از این مرحله زئولیت با آب مقطر شستشو داده شد تا شوری آن کاهش یابد. سپس زئولیت در هوای آزاد خشک شد (Huang *et al.*, 2014). آنالیز زئولیت بعد از اصلاح در جدول ۱ ارائه شده است.

برای تولید کمپوست اصلاح شده با زئولیت، متناسب با اندازه لایسیمترها، مقدار مورد نیاز از مواد موجود در سایت

تجزیه کارخانه کمپوست کود آلی اصفهان استفاده شد و به صورت دستی پلاستیک و مواد زائد آن جدا شد. اندازه ذرات این زباله‌ها حدود ۷ سانتی‌متر بود. این مواد با سه درصد وزنی (۵، ۱۰ و ۱۵) از زئولیت طبیعی و اصلاح شده مخلوط شد. ترکیب حاصل برای انجام فرایند تولید کمپوست درون لایسیمترهای از جنس پلی‌اتیلن با حجم ۱۲۵ لیتر ریخته شد. برای تولید کمپوست باید هوا و رطوبت مورد نیاز برای میکروارگانیسم‌ها فراهم باشد (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۲). مدت زمان تولید کمپوست سه ماه به طول انجامید. در طول این مدت به منظور اطمینان از ورود هوا به داخل لایسیمترها مواد داخل لایسیمتر یک روز در میان بهم زده شد. محتوای رطوبت یک عامل محیطی مهم است که جهت فعالیت متابولیک و فیزیولوژیک میکروارگانیسم‌ها ضروری است. مطالعات نشان داده است که کمترین میزان رطوبت مجاز برای فرایند در دوره فعال کمپوست‌سازی (۳ هفته نخست) ۴۵ درصد است (Kreith and Liang *et al.*, 2003; Tchobanoglous, 1994). به این منظور بطور مرتب رطوبت لایسیمترها اندازه‌گیری و در صورت کاهش رطوبت در آنها به آنها آب مقطر اضافه شد. پس از طی فرایند عمل‌آوری کمپوست، کمپوست‌های تولید شده برای کشت از الک ۹ میلی‌متری عبور داده شد.

حداقل نسبت قطر به ارتفاع ستون خاک برای مطالعات ستونی باید ۱:۴ باشد (Lewis and Sjostrom, 2010) بنابراین برای کشت گیاه ستون‌هایی به قطر ۲۳/۵ و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کف این ستون‌ها با توری فلزی مسدود شد. در بدنه این ستون‌ها در سه عمق سوراخ‌هایی به منظور اندازه‌گیری رطوبت ایجاد شد. بدنه داخلی این ستون‌ها با استفاده از گریس و شن ریز زبر شد. به منظور جلوگیری از خروج خاک، کف ستون‌ها به ارتفاع ۴ سانتی‌متر شن ریخته شد و سپس ستون‌ها با خاک پر شد. مشخصات خاک استفاده در این تحقیق در جدول ۲ آمده است. کودهای تولیدی به میزان ۴۰ تن در هکتار با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری لایه بالایی خاک مخلوط شد. تیمارهای این تحقیق مطابق جدول ۳

جدول ۱- مقادیر برخی کاتیون‌های موجود در زئولیت طبیعی و اصلاح‌شده استفاده‌شده

| کاتیون‌ها (mg/kg) | زئولیت طبیعی | زئولیت اصلاح‌شده |
|-------------------|--------------|------------------|
| منیزیم | ۱۶۰۰ | ۹۲۵۰ |
| کلسیم | ۶۸۰۰ | ۷۸۰۰ |
| سدیم | ۲۰۸۰۰ | ۱۰۰۵۰ |
| پتاسیم | ۱۱۹۵۰ | ۱۱۷۰۰ |

جدول ۲- خصوصیات اولیه خاک استفاده شده در این پژوهش

| خصوصیات | شن | سیلت | رس (%) | نیترژن | مواد آلی | CEC (cmol/kg) | pH (1:2) | EC (1:2) | مقدار |
|---------|----|------|-----------|--------|----------|---------------|-------------|-------------|-------|
| | | | | | | | | | |

جدول ۳ - مشخصات تیمارهای استفاده شده در این پژوهش

| اسم اختصاری | تیمارها | درصد وزنی زئولیت در کمپوست |
|-------------|----------------------------------|----------------------------|
| C0 | خاک | ۰ |
| C | خاک+کمپوست بدون زئولیت | ۰ |
| CNZ5 | خاک+کمپوست حاوی زئولیت طبیعی | ۵ |
| CNZ10 | خاک+کمپوست حاوی زئولیت طبیعی | ۱۰ |
| CNZ15 | خاک+کمپوست حاوی زئولیت طبیعی | ۱۵ |
| CMZ5 | خاک+کمپوست حاوی زئولیت اصلاح‌شده | ۵ |
| CMZ10 | خاک+کمپوست حاوی زئولیت اصلاح‌شده | ۱۰ |
| CMZ15 | خاک+کمپوست حاوی زئولیت اصلاح‌شده | ۱۵ |

می‌باشند. نوع گیاه استفاده برای کشت گیاه ذرت بود که به دلیل رشد سریع و واکنش سریع آن به مواد مغذی استفاده شد. ابتدا در هر ستون چهار بذر ذرت سینگل کراس ۷۰۴ کاشته شده و بعد از دو هفته تعداد بوته‌ها به دو عدد در هر ستون کاهش داده شد. رطوبت خاک در سه عمق با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج SM150 تعیین شد و زمان آبیاری بر اساس تخلیه ۵۵ درصد رطوبت صورت گرفت. ارتفاع گیاه از پای گیاه تا بالاترین گره در انتهای فصل رشد اندازه‌گیری شد. همچنین قطر ساقه گیاه در سه نقطه ابتدا، انتها و وسط ساقه در انتهای فصل رشد اندازه‌گیری شد و متوسط سه نقطه به عنوان قطر گیاه

در هر تکرار در نظر گرفته شد. به منظور تعیین وزن خشک قسمت‌های مختلف گیاه، برگ، ساقه و ریشه ذرت در پاکت های کاغذی قرار داده شد و در آون تهویه دار با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک شد. سپس نمونه ها به طور جداگانه آسیاب شد و میزان نیترژن آنها با روش کلدال اندازه‌گیری شد (Bremner and Mulvaney, 1982). سطح کلیه برگ‌ها به روش تخریبی با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج الکترونیکی (Green leaf Area Tester model GA-5) اندازه‌گیری شد. از برگ توسعه گیاه در زمان برداشت محصول نمونه‌گیری انجام شد. برای اندازه‌گیری محتوی کلروفیل a، b و

بدون زئولیت مشاهده شد. استفاده از زئولیت در روند تولید کمپوست به دلیل اثر حجم دهنده سبب کاهش میزان نیتروژن، نترات و کربن کمپوست‌های تولیدی شد. محدوده C/N بین ۹ تا ۱۰ برای کمپوست بالغ مناسب است (Bernai *et al.*, 1998) که با کاربرد زئولیت این محدوده مجاز حاصل می‌شود.

صفات ریخت‌شناسی: نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد

که اثر استفاده از کودهای مختلف بر صفات ریخت‌شناسی ذرت معنی‌دار بود (جدول ۶). با توجه به جدول ۷ با کاربرد اصلاح‌کننده‌ها وزن خشک برگ، ساقه، ریشه، گل‌آذین و همچنین حجم ریشه افزایش یافت. با افزایش درصد زئولیت از ۵ به ۱۵ درصد، در هر دو نوع زئولیت طبیعی و اصلاح‌شده، مقدار بیومس افزایش داشت. با کاربرد زئولیت اصلاح‌شده در تولید کمپوست، وزن خشک برگ، ساقه، ریشه، گل‌آذین و همچنین حجم ریشه نسبت به تیمارهای CNZ و C افزایش نشان داد. نتایج نشان داد که وزن خشک اندام هوایی با کاربرد کمپوست حاوی زئولیت اصلاح‌شده ۱۱/۱۸ درصد نسبت به زئولیت طبیعی افزایش یافت. تیمارهای CMZ10 و CMZ15 بیشترین میزان عملکرد اندام هوایی را با اختلاف معنی‌دار با سایر تیمارها نشان دادند. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داده که کمپوست غنی از مواد مغذی موردنیاز گیاه و میکروارگانیسم‌ها بوده و سبب افزایش رشد گیاه می‌شود (Carbonell *et al.*, 2011; Farrell and Jones, 2009; Forge *et al.*, 2016). همچنین استفاده از زئولیت‌ها سبب توسعه ریشه گیاهان و افزایش عملکرد بیولوژیکی گیاه می‌شود (مدنی و همکاران، ۱۳۸۹; Eprikashvili *et al.*, 2016; Hazrati *et al.*, 2017; Gholamhoseini *et al.*, 2013). به‌گونه‌ای که زئولیت به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک می‌تواند سبب نگهداشت آب و نیتروژن در لایه سطحی خاک (Sepaskhah and Barzegar, 2010) و بهبود بافت خاک (مدنی و همکاران، ۱۳۸۹) شده و در نتیجه رشد گیاه را افزایش دهد. دلیل افزایش تولید با کاربرد کمپوست حاوی زئولیت اصلاح‌شده این است که منیزیم موجود در این زئولیت به‌عنوان

کل از روش Porra (۲۰۰۵) و کاروتنوئیدها در برگ از روش پیشنهادی Lichtenthaler و Wellburn (۱۹۸۵) استفاده شد. اندازه‌گیری جذب در طول موج‌های ۶۴۶، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر انجام شد و میزان کلروفیل را با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید:

$$\text{Chl}_a(\text{mg/gr}) = [0.0127 (A_{663}) - 0.00269 (A_{645})] \times 100/W$$

$$\text{Chl}_b(\text{mg/gr}) = [0.0229 (A_{645}) - 0.00468 (A_{663})] \times 100/W$$

$$\text{Total} = \text{Chl}_a + \text{Chl}_b$$

Carotenoids = $1000(A_{470}) - 2.270 \text{Chl}_a - 81.4 \text{Chl}_b / 227$
در رابطه بالا W: وزن نمونه (یک‌دهم گرم)، A_{663} : جذب

مشاهده شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۶۳ نانومتر، A_{645} : جذب مشاهده شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۴۵ نانومتر، A_{470} : جذب مشاهده شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر بودند.

تولید تیمارهای کودی در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با هفت تیمار و سه تکرار به اجرا در آمد. بعد از تولید تیمارهای کودی، آزمایش‌های گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار و سه تکرار به منظور بررسی اثر کودهای تولیدی بر خصوصیات گیاه اجرا ذرت شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها تجزیه و تحلیل‌های آماری توسط نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. همچنین مقایسه عامل‌ها با استفاده از آزمون دانکن صورت گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات کمپوست‌های تولیدی: نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که استفاده از زئولیت (طبیعی و اصلاح شده) با درصد‌های مختلف سبب تغییر معنی‌دار در خصوصیات کمپوست‌های تولیدی در سطح یک درصد شد (جدول ۴). خصوصیات کمپوست‌های تولیدی در تیمارهای مختلف در جدول ۵ آمده است. استفاده از زئولیت به‌خصوص نوع اصلاح‌شده آن در روند تولید کمپوست سبب کاهش pH، هدایت الکتریکی و افزایش نگهداشت آمونیوم در کودهای تولیدی شد. در تیمار CNZ15 و CMZ15 کاهش ۳۶/۶ و ۴۶/۵ درصدی در میزان هدایت الکتریکی و افزایش ۶۴/۵ و ۱۰۹/۷ درصدی در میزان آمونیوم نسبت به تیمار کمپوست

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تیمارهای کودی برای برخی خصوصیات کمپوست

| میانگین مربعات | | | | | | | |
|---------------------|------------|---------------------|---------------------|------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| منابع تغییر | درجه آزادی | pH | EC | نیترژن آمونیاکی | نیترژن نیتراتی | نیترژن کل | کربن |
| نسبت کربن به نیترژن | | | | | | | |
| تکرار | ۲ | ۰/۰۴۵ ^{ns} | ۰/۰۲۶ ^{ns} | ۱۶۱۸/۷۵ ^{ns} | ۹۷/۳۵ ^{ns} | ۰/۰۰۱ ^{ns} | ۰/۰۵ ^{ns} |
| تیمار | ۶ | ۰/۶۶۳ ^{**} | ۲/۰۵ ^{**} | ۵۷۸۴۲/۳۶ ^{**} | ۸۹۰/۰۵ ^{**} | ۰/۰۴۳ ^{**} | ۳۱/۹۸ ^{**} |
| خطا | ۱۲ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۱ | ۳۷۶/۷۳ | ۱۱۱/۸۷ | ۰/۰۰۲ | ۰/۳۹ |
| ضریب تغییرات | - | ۲/۱۳ | ۲/۸۴ | ۳/۵۹ | ۶/۴۷ | ۲/۹۴ | ۳/۲۶ |

^{ns} و ^{**} عدم معنی داری و معنی داری در سطح یک درصد

جدول ۵- خصوصیات کمپوست تولیدی استفاده شده در تیمارهای مختلف

| تیمارها | pH | EC (dS/m) | نیترژن آمونیاکی (mg/kg) | نیترژن نیتراتی (mg/kg) | نیترژن کل % | کربن (%) | نسبت کربن به نیترژن |
|---------|------------------|------------------|-------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| C | ۹/۰ ^a | ۵/۱ ^a | ۳۶۱/۶ ^g | ۱۹۲/۵ ^a | ۱/۸۷ ^a | ۲۴/۶ ^a | ۱۳/۱ ^a |
| CNZ5 | ۸/۷ ^b | ۳/۹ ^b | ۴۰۲/۵ ^f | ۱۷۸/۳ ^{ba} | ۱/۶۹ ^b | ۲۱/۵ ^b | ۱۲/۷ ^a |
| CNZ10 | ۸/۷ ^b | ۳/۴ ^c | ۵۲۵/۰ ^d | ۱۶۲/۱ ^{bcd} | ۱/۵۸ ^{cd} | ۱۷/۸ ^c | ۱۱/۲ ^b |
| CNZ15 | ۸/۷ ^b | ۳/۱ ^d | ۵۹۵/۰ ^c | ۱۴۷/۹ ^{cd} | ۱/۵۲ ^d | ۱۶/۱ ^c | ۱۰/۶ ^{cb} |
| CMZ5 | ۸/۴ ^c | ۳/۵ ^c | ۴۹۰/۰ ^e | ۱۶۵/۷ ^{bc} | ۱/۶۱ ^{bc} | ۲۱/۰ ^b | ۱۳/۰ ^a |
| CMZ10 | ۷/۸ ^d | ۲/۹ ^d | ۶۴۷/۵ ^b | ۱۵۱/۷ ^{cd} | ۱/۵۸ ^{cd} | ۱۸/۱ ^c | ۱۱/۴ ^b |
| CMZ15 | ۷/۷ ^d | ۲/۶ ^e | ۷۵۸/۳ ^a | ۱۴۵/۴ ^d | ۱/۵۴ ^{cd} | ۱۵/۵ ^d | ۱۰/۰ ^c |

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح ۵ درصد به روش دانکن تفاوت معنی دار ندارند.

C: کمپوست بدون ژئولیت، CNZ5, 10, 15 کمپوست حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد ژئولیت طبیعی، CMZ5, 10, 15 کمپوست حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد ژئولیت اصلاح شده

تیماری که در آن کمپوست بدون ژئولیت استفاده شده بود، تعداد گل‌آذین مشاهده شده با اختلاف معنی‌داری کمتر از تیمارهای دارای ژئولیت بود. همچنین وزن و ارتفاع گل‌آذین در این تیمار هم به‌طور معنی‌داری کمتر بود. این در حالی بود که در تیمار شاهد (بدون اصلاح‌کننده) گل‌آذین مشاهده نشد (جدول ۷).

با کاربرد کمپوست حاوی ژئولیت به‌ویژه نوع اصلاح‌شده آن قطر و ارتفاع گیاه افزایش نشان داد، به‌گونه‌ای که بیشترین میزان قطر و ارتفاع گیاه در تیمار CMZ10 مشاهده شد. تعداد برگ‌های فعال گیاه در هر بوته در انتهای دوره در تیمارهای مختلف شمارش شد. نتایج نشان داد که با کاربرد اصلاح‌کننده

عنصر مغذی سبب افزایش رشد گیاه شده است. تحقیقات پیشین اثر مثبت استفاده از منیزیم بر افزایش تولید را تأیید کردند (Caires et al., 2016; Grzebisz, 2013).

کاربرد کمپوست‌های حاوی ژئولیت سبب افزایش تعداد بذره‌های جوانه‌زده شد (جدول ۷). نتایج Eprikashvili و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان داد که اضافه کردن ژئولیت به خاک سبب افزایش جوانه‌زنی و پتانسیل رشد دانه‌های جو شد که این امر احتمالاً به دلیل افزایش نگهداشت رطوبت خاک و افزایش فعالیت‌های میکروبی خاک در حضور ژئولیت است. در زمان برداشت در تمامی گیاهانی که در آنها کود کمپوست حاوی ژئولیت استفاده شده بود، گل‌آذین مشاهده شد. ولی در

جدول ۶ - تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات ریخت‌شناسی فیزیولوژی ذرت در تیمارهای آزمایشی

| میانگین مربعات | | | | | | | | |
|----------------|------------|-------------|--------------|-----------------|-------------|--------------|----------|------------------------|
| منابع تغییر | درجه آزادی | وزن خشک برگ | وزن خشک ساقه | وزن خشک گل آذین | اندام هوایی | وزن خشک ریشه | حجم ریشه | تعداد بذرهاى جوانه زده |
| تیمار | ۷ | ۹۶/۲۶** | ۱۰۷/۷۷** | ۴/۸۵** | ۴۹۲/۲۹** | ۱۳/۴۶** | ۴۲۵/۹۹** | ۱/۴۲** |
| خطا | ۱۶ | ۰/۱۳ | ۰/۲۴ | ۰/۰۴ | ۰/۵ | ۰/۱۴ | ۱۱/۰۴ | ۰/۱۳ |
| ضریب تغییرات | - | ۲/۲۲ | ۳/۲۲ | ۸/۷۲ | ۱/۹۷ | ۱۳/۴۶ | ۱۰/۷۶ | ۹/۹۸ |

* و ** به ترتیب معنی داری در سطح پنج و یک درصد

ادامه جدول ۶-

| میانگین مربعات | | | | | | | |
|----------------|------------|-------------------------------|----------------|------------------------------------|----------|-------------|-------------------|
| منابع تغییر | درجه آزادی | تعداد ظهور گل آذین در هر ستون | ارتفاع گل آذین | تعداد برگ‌های فعال گیاه در هر بوته | قطر گیاه | ارتفاع گیاه | مقدار نیتروژن برگ |
| تیمار | ۷ | ۱/۴۷** | ۲۴۰/۳۹** | ۸/۶۱* | ۱۹/۵۹** | ۱۴۴۰/۱۱** | ۰/۰۷** |
| خطا | ۱۶ | ۰/۰۴ | ۹/۶۷ | ۲/۲۹ | ۰/۶۱ | ۱۶/۱۲ | ۰/۰۰۲ |
| ضریب تغییرات | - | ۱۱/۹۴ | ۱۷/۱۴ | ۱۳/۰۴ | ۵/۸۶ | ۲/۸۶ | ۳/۵۱ |

* و ** به ترتیب معنی داری در سطح پنج و یک درصد

ادامه‌ی جدول ۶

| میانگین مربعات | | | | | | | |
|----------------|------------|--------------------|-----------------------|-----------|-----------|------------|--------------|
| منابع تغییر | درجه آزادی | مقدار نیتروژن ساقه | کل نیتروژن برداشت شده | کلروفیل a | کلروفیل b | کلروفیل کل | کاروتنوئیدها |
| تیمار | ۷ | ۰/۰۴** | ۰/۰۴۴** | ۰/۲۵** | ۰/۰۷** | ۰/۵۴** | ۰/۰۲* |
| خطا | ۱۶ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۳ | ۰/۰۰۸ | ۰/۰۵ | ۰/۰۰۳ |
| ضریب تغییرات | - | ۷/۴۷ | ۳/۲۷ | ۱۰/۳۷ | ۱۷/۷۳ | ۹/۶۳ | ۹/۳۱ |

* و ** به ترتیب معنی داری در سطح پنج و یک درصد

درصد نیتروژن برداشت شده توسط هر گیاه محاسبه شد (جدول ۸). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر استفاده از کودهای مختلف بر میزان نیتروژن گیاه معنی‌دار بود (جدول ۶). با کاربرد اصلاح‌کننده‌ها به‌ویژه کاربرد کمپوست حاوی زئولیت اصلاح‌شده، درصد نیتروژن برداشت شده توسط گیاه بیشتر شد. به‌گونه‌ای که در تیمارهای C، CNZ و CMZ نیتروژن

به‌ویژه کمپوست حاوی زئولیت اصلاح‌شده تعداد برگ‌های فعال افزایش نشان داد. به‌گونه‌ای که کمترین و بیشترین برگ فعال به ترتیب در تیمارهای C0 و CMZ15 مشاهده شد (جدول ۷).

میزان نیتروژن در گیاه: درصد نیتروژن برگ و ساقه در انتهای دوره اندازه‌گیری شد و با توجه به وزن برگ و ساقه

جدول ۷- برخی صفات ریخت‌شناسی ذرت در تیمارهای آزمایشی

| تیمارها | وزن خشک برگ وزن خشک ساقه (گرم) | وزن خشک گل آذین (گرم) | وزن خشک اندام هوایی (گرم) | وزن خشک ریشه (گرم) | حجم ریشه (میلی متر مکعب) |
|---------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------|--------------------------|
| C0 | ۲/۶۹ ^g | ۰/۰ ^d | ۴/۲۸ ^f | ۱/۴۰ ^g | ۴/۰۰ ^e |
| C | ۱۴/۰۴ ^f | ۰/۶۳ ^c | ۲۶/۶۲ ^e | ۵/۴۴ ^f | ۲۶/۶۷ ^d |
| CNZ5 | ۱۶/۲۸ ^e | ۲/۸۴ ^b | ۳۴/۹۷ ^d | ۵/۸۲ ^{fe} | ۳۱/۰۰ ^{dc} |
| CNZ10 | ۱۷/۰۵ ^d | ۳/۰۲ ^{ba} | ۳۷/۱۱ ^c | ۷/۷۶ ^{ba} | ۳۸/۳۳ ^{ba} |
| CNZ15 | ۱۸/۹۸ ^{ba} | ۳/۱۲ ^{ba} | ۳۹/۷۶ ^b | ۶/۸۲ ^{dc} | ۳۶/۰۰ ^{bc} |
| CMZ5 | ۱۸/۵۵ ^c | ۱۸/۵۲ ^{bc} | ۳۹/۹۷ ^b | ۶/۴۴ ^{de} | ۳۱/۰۰ ^{dc} |
| CMZ10 | ۱۹/۸۰ ^a | ۳/۲۲ ^a | ۴۲/۷۴ ^a | ۸/۱۲ ^a | ۴۱/۶۷ ^a |
| CMZ15 | ۱۹/۵۷ ^{ba} | ۳/۰۶ ^{ba} | ۴۱/۶۲ ^a | ۷/۲۶ ^{bc} | ۳۸/۳۳ ^{ba} |

ادامه جدول ۷

| تیمارها | تعداد بذرهای جوانه زده | تعداد ظهور گل آذین در هر ستون | ارتفاع گل آذین (سانتی متر) | تعداد برگ‌های فعال گیاه در هر بوته | قطر گیاه (میلی متر) | ارتفاع گیاه (سانتی متر) |
|---------|------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------|-------------------------|
| C0 | ۲/۳۳ ^c | ۰/۰ ^c | ۰/۰۰ ^e | ۷/۵۰ ^d | ۷/۲۰ ^d | ۸۹/۶۷ ^d |
| C | ۲/۶۷ ^c | ۱/۶۷ ^b | ۹/۶۷ ^d | ۱۱/۵۰ ^c | ۱۳/۱۷ ^c | ۱۲۹/۵۰ ^c |
| CNZ5 | ۳/۳۳ ^b | ۲/۰ ^a | ۱۸/۵۰ ^c | ۱۲/۰۰ ^{bc} | ۱۳/۸۲ ^{bc} | ۱۴۸/۱۷ ^b |
| CNZ10 | ۴/۰ ^a | ۲/۰ ^a | ۲۲/۲۵ ^{bac} | ۱۲/۱۷ ^{bc} | ۱۴/۱۹ ^{bac} | ۱۴۶/۶۷ ^b |
| CNZ15 | ۴/۰ ^a | ۲/۰ ^a | ۲۳/۲۵ ^{bac} | ۱۲/۱۷ ^{bc} | ۱۴/۴۹ ^{ba} | ۱۵۰/۸۳ ^{ba} |
| CMZ5 | ۴/۰ ^a | ۲/۰ ^a | ۲۰/۴۲ ^{bc} | ۱۲/۳۳ ^b | ۱۴/۴۱ ^{ba} | ۱۴۷/۸۳ ^b |
| CMZ10 | ۴/۰ ^a | ۲/۰ ^a | ۲۴/۵۰ ^{ba} | ۱۲/۶۷ ^{ba} | ۱۵/۱۱ ^a | ۱۵۷/۱۷ ^a |
| CMZ15 | ۴/۰ ^a | ۲/۰ ^a | ۲۶/۵۸ ^a | ۱۳/۱۷ ^a | ۱۴/۵۹ ^{ba} | ۱۵۱/۵۰ ^{ba} |

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح ۵ درصد به روش دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.

C: خاک بدون اصلاح‌کننده، C0: خاک تیمار شده با کمپوست بدون ژئولیت، CNZ5, 10, 15 خاک‌های تیمار شده با کمپوست حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد ژئولیت طبیعی، CMZ5, 10, 15 خاک‌های تیمار شده با کمپوست حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد ژئولیت اصلاح‌شده

(Grzebisz, 2013). به نظر می‌رسد که کاربرد کمپوست حاوی ژئولیت اصلاح‌شده با نمک منیزیم سبب افزایش منیزیم خاک و در نتیجه افزایش میزان نیتروژن برداشت شده توسط گیاه شده است. تحقیقات Malekian و همکاران (۲۰۱۱) و Gholamhoseini و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان داد که کاربرد ژئولیت سبب افزایش نیتروژن برداشت‌شده توسط گیاه شد. He

برداشت‌شده توسط گیاه به ترتیب ۵/۷، ۷/۷ و ۸/۸ برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد. Grzebisz و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که کاربرد ریزمغذی‌ها در خاک سبب تغییر و افزایش میزان نیتروژن برداشت‌شده توسط گیاه می‌شود. محققان نشان دادند که کاربرد منیزیم در خاک سبب افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه می‌شود (Caires et al., 2016;)

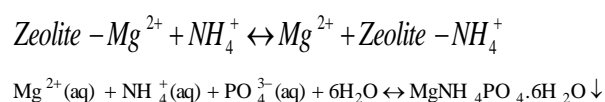
جدول ۸- مقادیر نیتروژن برگ و ساقه در تیمارهای آزمایشی

| تیمارها | برگ | | ساقه | | کل نیتروژن برداشت شده (گرم) |
|---------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|--------------------------------|
| | وزن (گرم) | مقدار نیتروژن (%) | وزن (گرم) | مقدار نیتروژن (%) | |
| C0 | ۲/۶۹ ^g | ۱/۲۵ ^d | ۱/۵۹ ^g | ۰/۷۲ ^a | ۰/۰۴۵ ^h |
| C | ۱۴/۰۴ ^f | ۱/۴۱ ^c | ۱۱/۹۵ ^f | ۰/۵۰ ^b | ۰/۲۶ ^g |
| CNZ5 | ۱۶/۲۸ ^e | ۱/۵۶ ^b | ۱۵/۸۵ ^e | ۰/۳۹ ^c | ۰/۳۲ ^f |
| CNZ10 | ۱۷/۰۵ ^d | ۱/۶۰ ^b | ۱۷/۰۴ ^d | ۰/۳۹ ^c | ۰/۳۴ ^e |
| CNZ15 | ۱۸/۹۸ ^{ba} | ۱/۶۵ ^b | ۱۷/۶۶ ^{dc} | ۰/۴۰ ^c | ۰/۳۸ ^c |
| CMZ5 | ۱۸/۵۵ ^c | ۱/۵۷ ^b | ۱۸/۵۲ ^{bc} | ۰/۳۸ ^c | ۰/۳۶ ^d |
| CMZ10 | ۱۹/۸۰ ^a | ۱/۶۴ ^b | ۱۹/۷۱ ^a | ۰/۴۱ ^c | ۰/۴۱ ^b |
| CMZ15 | ۱۹/۵۷ ^{ba} | ۱/۷۷ ^a | ۱۸/۹۹ ^{ba} | ۰/۴۱ ^c | ۰/۴۲ ^a |

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح ۵ درصد به روش دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.

C: خاک بدون اصلاح‌کننده، C0: خاک تیمار شده با کمپوست بدون زئولیت، CNZ5, 10, 15 خاک‌های تیمار شده با کمپوست حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد زئولیت طبیعی، CMZ5, 10, 15 خاک‌های تیمار شده با کمپوست حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد زئولیت اصلاح شده

زئولیت با آمونیوم و فسفات موجود در کود تشکیل ترکیبی به نام $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ را می‌دهد که استراویت نامیده می‌شود (واکنش ۲). همین امر سبب جذب بیشتر آمونیوم در این تیمارها نسبت به تیمار کمپوست در ترکیب با زئولیت طبیعی شده است.



میزان کلروفیل: با توجه به جدول ۹ با کاربرد اصلاح‌کننده‌ها، میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در بین تیمارها بیشترین میزان کلروفیل a و کل در تیمار CMZ10، کلروفیل b در تیمار CMZ15 و کاروتنوئیدها به‌طور مشترک در تیمارهای CMZ10 و CMZ15 مشاهده شد. در این تحقیق کاربرد کود کمپوست حاوی زئولیت به‌ویژه نوع اصلاح‌شده آن سبب افزایش کلروفیل شد. اثر استفاده از زئولیت در خاک بر روی شاخص کلروفیل گیاه در تحقیقات مختلف متفاوت بود. برخی با کاربرد زئولیت افزایش کلروفیل گیاه (Gholamhoseini et al., 2013)، برخی کاهش (حبیب پور کاشفی و همکاران،

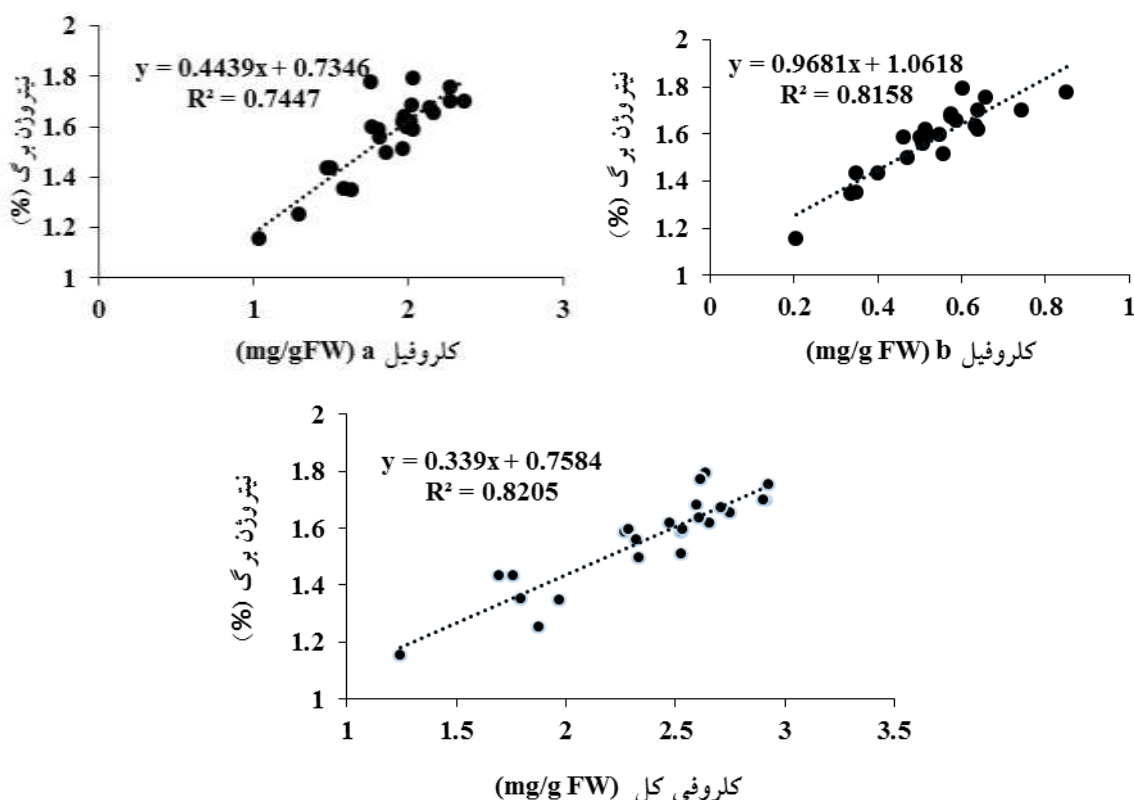
و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که زئولیت‌ها به دلیل CEC بالا توانایی نگهداشت آمونیوم را دارند. کاربرد زئولیت در روند تولید کمپوست سبب افزایش نگهداشت آمونیوم در کود شد (جدول ۵). وقتی این کود در خاک مورد استفاده قرار گیرد، یون‌های آمونیوم به‌طور پیوسته و آرام تبادل شده و به‌وسیله‌ی باکتری‌های نیتریفیکاسیون‌کننده اکسید می‌شوند که همین امر سبب افزایش میزان نیتروژن جذب شده توسط گیاه می‌شود. نتایج مشابهی در تحقیق Gholamhoseini و همکاران (۲۰۱۳) با کاربرد کود دامی زئولیتی مشاهده شده است. در تحقیق حاضر در تیمارهایی که در آنها زئولیت اصلاح‌شده استفاده شده بود، میزان برداشت نیتروژن بیشتر بود. با توجه به جدول ۵ مشخص است که میزان آمونیوم جذب شده در این تیمارها بیشتر بود. این آمونیوم به‌مرور در خاک مرطوب آزاد شده و بعد از اکسید شدن توسط گیاه جذب شده است. در کودهای کمپوست تولیدی با زئولیت اصلاح‌شده دو واکنش در جذب آمونیوم توسط کود اثرگذار است. یکی واکنش تبادل یونی که در نتیجه آن منیزیم از ساختار زئولیت خارج و آمونیوم جایگزین می‌شود (واکنش ۱) و دیگری تبلور استراویت (Struvite) هست که در این واکنش منیزیم آزاد شده از

جدول ۹- مقدار کلروفیل a, b, کل، کاروتنوئیدها و سطح برگ در تیمارهای آزمایشی

| تیمارها | کلروفیل a | کلروفیل b | کلروفیل کل | کاروتنوئیدها | سطح برگ (cm ²) |
|---------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------------------|
| C0 | ۱/۳۲ ^e | ۰/۳۷ ^d | ۱/۷۰ ^e | ۰/۴۹ ^e | ۱۰۴/۴ ^d |
| C | ۱/۵۲ ^d | ۰/۳۶ ^d | ۱/۷۵ ^e | ۰/۵۶ ^d | ۲۱۲۱/۷ ^c |
| CNZ5 | ۱/۹۰ ^c | ۰/۴۸ ^c | ۲/۳۸ ^d | ۰/۶۰ ^c | ۲۴۷۷/۱ ^{bc} |
| CNZ10 | ۱/۹۶ ^{bc} | ۰/۵۳ ^{cb} | ۲/۴۹ ^{dc} | ۰/۶۸ ^b | ۲۵۱۰/۷ ^b |
| CNZ15 | ۲/۰۹ ^{ba} | ۰/۵۶ ^b | ۲/۶۵ ^{bac} | ۰/۷۰ ^{ba} | ۲۶۶۸/۳ ^{ba} |
| CMZ5 | ۲/۰۳ ^{bac} | ۰/۵۶ ^b | ۲/۵۹ ^{bc} | ۰/۶۸ ^b | ۲۶۸۹/۵ ^{ba} |
| CMZ10 | ۲/۱۷ ^a | ۰/۶۵ ^a | ۲/۸۲ ^a | ۰/۷۳ ^a | ۲۹۲۹/۱ ^a |
| CMZ15 | ۲/۰۲ ^{bac} | ۰/۷۰ ^a | ۲/۷۳ ^{ba} | ۰/۷۴ ^a | ۲۸۰۸/۰ ^{ba} |

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح ۵ درصد به روش دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.

C: خاک بدون اصلاح‌کننده، C0: خاک تیمار شده با کمپوست بدون زئولیت، CNZ5, 10, 15: خاک‌های تیمار شده با کمپوست حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد زئولیت طبیعی، CMZ5, 10, 15: خاک‌های تیمار شده با کمپوست حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد زئولیت اصلاح‌شده



شکل ۲- رابطه بین میزان نیتروژن برگ با مقدار کلروفیل a, b و کل

۱۳۹۴) و برخی اثر معنی‌داری را بر روی کلروفیل گیاه مشاهده نکردند (مدنی و همکاران، ۱۳۸۹). تحقیقات نشان داده که مواد بیولوژیکی محلول موجود در زباله‌های جامد شهری سبب افزایش میزان کلروفیل و همچنین رشد گیاه می‌شود

(Sortino et al., 2014).

وزن برگ، ساقه و ریشه گیاه نسبت به تیمار کمپوست بدون زئولیت شد. بیشترین وزن و حجم ریشه با اختلاف معنی‌داری در تیمار CMZ10 مشاهده شد. وزن خشک اندام هوایی با کاربرد زئولیت اصلاح شده نسبت به زئولیت طبیعی ۱۱/۸ درصد افزایش نشان داد. استفاده از کمپوست حاوی زئولیت طبیعی و اصلاح شده سبب افزایش میزان برداشت نیتروژن به میزان ۳۴/۶۸ و ۵۴/۴۷ درصد نسبت به تیمار کمپوست بدون زئولیت شد. مقدار کلروفیل a، ۲۹/۲۲ و ۳۴/۸۸ درصد، کلروفیل b، ۴۴/۲۹ و ۷۶/۴۵ درصد، کلروفیل کل ۳۲/۱۴ و ۴۲/۹۴ درصد و کاروتنوئیدها ۱۹/۷۷ و ۲۹/۵۸ درصد به ترتیب با کاربرد کمپوست زئولیت طبیعی و اصلاح شده نسبت به تیمار کمپوست بدون زئولیت افزایش نشان داد. با توجه به نتایج صفات ریخت‌شناسی، نیتروژن و کلروفیل گیاه ذرت تیمار CMZ10 بهترین مقدار بیومس را داشته، بنابراین استفاده از ۱۰ درصد وزنی زئولیت اصلاح شده در تولید کمپوست توصیه می‌شود. با توجه به قیمت مناسب زئولیت، فراوانی معادن آن در کشور و همچنین حفظ کارکرد زئولیت برای چندین سال متوالی پس از مصرف در خاک زراعی، کاربرد آن در روند تولید کمپوست و سپس استفاده از کمپوست‌های تولیدی در خاک‌های لوم شنی به دلیل اثرات مثبت آن بر رشد گیاه توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

این تحقیق به صورت طرح مشترک با سازمان مدیریت پسماند استان اصفهان انجام شده است. بدین وسیله از کلیه حمایت‌های این سازمان به خصوص پرسنل آزمایشگاه قدردانی می‌گردد.

سطح برگ: نتایج نشان می‌دهد که اثر نوع زئولیت و مقدار آن بر سطح برگ در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. با کاربرد اصلاح‌کننده‌ها به‌ویژه کمپوست حاوی زئولیت اصلاح شده سطح برگ افزایش یافت. مقایسه میانگین‌های این صفت حاکی از آن است که با کاربرد کمپوست‌های تولیدی با مقادیر بیشتر زئولیت بر میزان سطح برگ افزوده شد، به‌طوریکه بیشترین سطح برگ با میانگین ۲۹۲۹/۱ سانتی‌متر مربع با کاربرد ۱۵ درصد زئولیت اصلاح شده و کم‌ترین شاخص سطح برگ با میانگین ۱۰۴/۴ سانتی‌متر مربع در تیمار کنترل مشاهده شد (جدول ۹).

رابطه بین کلروفیل و نیتروژن برگ: در شکل ۱ رابطه بین میزان نیتروژن برگ با مقدار کلروفیل a، b و کل نشان داده شده است. با افزایش میزان نیتروژن برگ مقدار کلروفیل a، b و کل نیز افزایش یافت و همبستگی خوبی بین مقدار نیتروژن برگ و کلروفیل مشاهده شد. نتایج مشابهی در این زمینه توسط محققان نیز گزارش شده است (احمدی آذر و همکاران، ۱۳۹۴; Peterson, 1993). با توجه به اهمیت وجود نیتروژن در ساختار ملکول کلروفیل و آنزیم ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز، برگ‌هایی با محتوا کلروفیل بیشتر، از غلظت نیتروژن بالاتری هم برخوردار هستند. Peterson و همکاران (۱۹۹۳) اظهار داشتند که یک رابطه نزدیک بین محتوی کلروفیل برگ و محتوی نیتروژن برگ گیاه ذرت وجود داشت که علت این رابطه را نقش عمده نیتروژن در ساختار مولکول کلروفیل عنوان کردند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که استفاده از کمپوست حاوی زئولیت به‌ویژه نوع اصلاح شده آن سبب افزایش قطر، ارتفاع گیاه، سطح برگ،

منابع

احمدی آذر، ف.، حسنلو، ط.، ایمانی، ع. و فیضی اصل، و. (۱۳۹۴) تنش خشکی و کاربرد زئولیت معدنی بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژی گیاه پنیرک (*Malva sylvestris*). مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران) ۲۸: ۴۵۹-۴۷۴.

- افیونی، م. (۱۳۸۴) بررسی اثرات زیست‌محیطی استفاده از کودهای آلی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، گزارش علمی ش ۱۱۵۱.
- پاکزی، ع. (۱۳۸۹) اثر مقادیر زئولیت و تنش کم‌آبی بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت کلزا (*Brassica napus* L.) در منطقه شهر ری، مجله زراعت و اصلاح نباتات ۶: ۱-۱۶.
- حبیب‌پور کاشفی، ا.، قرینه، م. ح.، شافعی نیا، ع. و روزرخ، م. (۱۳۹۴) اثر سطوح زئولیت بر فلورسانس کلروفیل لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت شرایط تنش خشکی. فصلنامه علمی پژوهشی گیاهان زراعی ۷: ۱۹-۳۲.
- خاشعی سیوکی، ع.، کوچک زاده، م. و شهابی فر، م. (۱۳۸۷) تأثیر کاربرد زئولیت طبیعی کلینوپتیلولایت و رطوبت خاک بر اجزای عملکرد ذرت. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) ۲۲: ۲۳۵-۲۴۱.
- غلامحسینی، م.، قلاوند، ا.، مدرس ثانوی، ع. م. و جمشیدی، ا. (۱۳۸۶) تأثیر کاربرد کمپوست‌های زئولیتی در اراضی شنی بر عملکرد دانه و سایر صفات زراعی آفتابگردان. مجله علوم محیطی ۲۳: ۵-۳۶.
- محراب، ن.، چرم، م.، و حاجتی، س. (۱۳۹۳) اثر زئولیت غنی‌شده با آمونیوم بر خصوصیات رشدی گیاه گندم و کارایی مصرف آب در دو نوع بافت خاک. مجله مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) ۱: ۳۷-۱۱.
- مدنی، م.، مقیمی، آ. و ساجدی، ن. ع. (۱۳۸۹) تأثیر مقادیر مختلف زئولیت و دور آبیاری بر عملکرد و برخی صفات سیب‌زمینی. مجله یافته‌های نوین کشاورزی ۴: ۲۸۱-۲۸۹.
- یاری، س.، مرادی، پ. و خلیقی‌سیگارودی، ف. (۱۳۹۲) اثرات کاربرد آلومینوسیلیکات زئولیت بر صفات مورفولوژیک و ترکیبات شیمیایی گیاه دارویی آلوئه‌ورا (*Aloe vera* L.). فصل‌نامه داروهای گیاهی ۴: ۱۷۰-۱۷۹.
- یعقوبی، س. ر.، آقاعلیخانی، م.، غلامحسینی، م. و اسپلان، ک. (۱۳۹۰) تأثیر کمپوست کود دامی غنی‌شده با مقادیر مختلف زئولیت بر کارایی علف‌کش‌تری فلورالین در کنترل علف‌های هرز آفتاب‌گردان تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. مجله علوم گیاهان زراعی ایران ۱۴۳: ۴۲-۱۵۵.
- یوسفی، ج. و یونسی، ح. (۱۳۹۲) کمپوست سازی همزمان پسماند شهری و خاک اره جهت حفظ رطوبت و جلوگیری از دست رفتن نیتروژن توده کمپوست، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست ۱۴: ۷۵-۸۴.
- Agegnehu, G., Nelson, P. N. and Bird, M. I. (2016a) Crop yield, plant nutrient uptake and soil physicochemical properties under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Nitisols. *Soil and Tillage Research* 160:1-13.
- Agegnehu, G., Nelson, P. N. and Bird, M. I. (2016b) The effects of biochar, compost and their mixture and nitrogen fertilizer on yield and nitrogen use efficiency of barley grown on a Nitisol in the highlands of Ethiopia. *Science of The Total Environment* 570: 869-879.
- Azarpour, E., Motamed, M. K., Moraditochae, M. and Bozorgi, H. R. (2011) Effects of zeolite application and nitrogen fertilization on yield components of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *World Applied Sciences Journal* 14:687-692.
- Bernai, M., Paredes, C., Sanchez-Monedero, M., and Cegarra, J. (1998) Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology* 63:91-99.
- Bremner, J., M. and Mulvaney, C. (1982) Nitrogen—total. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America*
- Caires, E. F., Zardo Filho, R., Barth, G. and Joris, H. A. (2016) Optimizing nitrogen use efficiency for no-till corn production by improving root growth and capturing NO₃-N in subsoil. *Pedosphere* 26:474-485.
- Carbonell, G., de Imperial, R.M., Torrijos, M., Delgado, M. and Rodriguez, J. A. (2011) Effects of municipal solid waste compost and mineral fertilizer amendments on soil properties and heavy metals distribution in maize plants (*Zea mays* L.). *Chemosphere* 85:1614-1623.
- Dominguez, J., Edwards, C. and Subler, S. (1997) Comparison of vermicomposting and composting. *BioCycle: Journal of Composting & Organics Recycling* 38:57-59.
- Edmeades, D. C. (2003) The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 66:165-180.

- Eprikashvili, L., Zautashvili, M., Kordzakhia, T., Pirtskhalava, N., Dzagania, M., Rubashvili, I. and Tsitsishvili, V. (2016) Intensification of bioproductivity of agricultural cultures by adding natural zeolites and brown coals into soils. *Annals of Agrarian Science* 14: 67-71.
- Farrell, M. and Jones, D. (2009) Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets. *Bioresource Technology* 100:4301-4310.
- Forge, T., Kenney, E., Hashimoto, N., Neilsen, D. and Zebarth, B. (2016) Compost and poultry manure as preplant soil amendments for red raspberry: Comparative effects on root lesion nematodes, soil quality and risk of nitrate leaching. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 223:48-58.
- Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan, A., Dolatabadian, A., Zakikhani, H. and Farmanbar, E. (2013) Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil and Tillage Research* 126:193-202.
- Grzebisz, W. (2013) Crop response to magnesium fertilization as affected by nitrogen supply. *Plant and Soil* 368:23-39.
- Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Mokhtassi-Bidgoli, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mohammadi, H. and Nicola, S. (2017) Effects of zeolite and water stress on growth, yield and chemical compositions of *Aloe vera* L. *Agricultural Water Management* 181:66-72.
- He, Z., Calvert, D., Alva, A., Li, Y. and Banks, D. (2002) Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. *Plant and Soil* 247:253-260.
- Huang, H., Xiao, D., Pang, R., Han, C. and Ding, L. (2014) Simultaneous removal of nutrients from simulated swine wastewater by adsorption of modified zeolite combined with struvite crystallization. *Chemical Engineering Journal* 256:431-438.
- Joghan, A. K., Ghalavand, A., Aghaalikhani, M., Gholamhoseini, M. and Dolatabadian, A. (2010) Comparison among different integrated nutrition management for soil micro and macro elements after winter wheat harvesting and yield. *Notulae Scientia Biologicae* 2:107-111.
- Kreith, F. and Tchobanoglous, G. (1994) *Handbook of solid waste management*, McGraw-Hill, New York.
- Leggo, P.J., Ledesert, B. and Christie, G. (2006) The role of clinoptilolite in organo-zeolitic-soil systems used for phytoremediation. *Science of the Total Environment* 363:1-10.
- Lewis, J. and Sjostrom, J. (2010) Optimizing the experimental design of soil columns in saturated and unsaturated transport experiments. *Journal of Contaminant Hydrology* 115:1-13.
- Liang, C., Das K. and McClendon R. (2003) The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresource Technology* 86:131-137.
- Liang, Y., Leonard, J., Feddes, J. and McGill, W. (2006) Influence of carbon and buffer amendment on ammonia volatilization in composting. *Bioresource Technology* 97:748-761.
- Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R. (1983) Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions* 11:591-592.
- Malekian, R., Abedi-Koupai, J. and Eslamian, S. S. (2011) Influences of clinoptilolite and surfactant-modified clinoptilolite zeolite on nitrate leaching and plant growth. *Journal of Hazardous Materials* 185:970-976.
- Pagans, E., Barrena, R., Font, X. and Sánchez, A. (2006) Ammonia emissions from the composting of different organic wastes. Dependency on process temperature. *Chemosphere* 62:1534-1542.
- Peterson, T. (1993) *Using a chlorophyll meter to improve N management*. Netguide, Cooperative Extension, University of Nebraska-Lincoln.
- Porra, R. J. (2005) The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. In *Discoveries in Photosynthesis* (Springer).
- Rehakova, M., Cuvanova, S., Dzivak, M., Rimar, J. and Gavalova, Z. Z. (2004) Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. *Current Opinion in Solid State and Materials Science* 8:397-404.
- Sepaskhah, A. and Barzegar, M. (2010) Yield, water and nitrogen-use response of rice to zeolite and nitrogen fertilization in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management* 98:38-44.
- Sortino, O., Montoneri, E., Patane, C., Rosato, R., Tabasso, S. and Ginepro, M. (2014) Benefits for agriculture and the environment from urban waste. *Science of the Total Environment* 487:443-451.
- Tate, R. L. (1995) *Soil microbiology* (John Wiley and Sons).
- Turan, G. and Ergun, N. (2007) Ammonia uptake by natural zeolite in municipal solid waste compost. *Environmental Progress* 26:149-156.
- Valadabadi, S. A., Shiranirad, A. H. and Farahani, H. A. (2010) Ecophysiological influences of zeolite and selenium on water deficit stress tolerance in different rapeseed cultivars. *Journal of Ecology and The Natural Environment* 2:154-159.
- Villasenor, J., Rodriguez, L. and Fernandez, F. (2011) Composting domestic sewage sludge with natural zeolites in a rotary drum reactor. *Bioresource Technology* 102:1447-1454.
- Wyszkowski, M. and Radziemska, M. (2013) Assessment of tri- and hexavalent chromium phytotoxicity on Oats (*Avena sativa* L.) biomass and content of nitrogen compounds. *Water, Air, and Soil Pollution* 224:1-14.

Yolcu, H., Seker, H., Gullap, M., Lithourgidis, A. and Gunes, A. (2011) Application of cattle manure, zeolite and leonardite improves hay yield and quality of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) under semiarid conditions. *Australian Journal of Crop Science* 5: 926-931.