اثر کمپوست حاوی زئولیت اصلاح‌شده 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 اصلاح‌شده 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 اصلاح‌شده 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 اصلاح‌شده نسبت به زئولیت طبیعی، ۱۱/۸ درصد افزایش نشان داد. استفاده از کمپوست حاوی زئولیت طبیعی و اصلاح‌شده به ترتیب سبب افزایش میزان برداشت نیتروژن به میزان ۳٤/٦۸ و ٥٤/٤۷ درصد نسبت به تیمار کمپوست بدون زئولیت شد. مقدار کلروفیل a، ۲۹/۲۲ و ۳٤/۸۸ درصد، کلروفیل b، ٤٤/۲۹ و ۷٦/٤٥ درصد، کلروفیل کل ۳۲/۱٤ و ٤۲/۹٤ درصد و کاروتنوئیدها ۱۹/۷۷ و ۲۹/٥۸ درصد به ترتیب با کاربرد کمپوست دارای زئولیت طبیعی و اصلاح‌شده 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. درمجموع استفاده از زئولیت اصلاح‌شده در روند تولید کمپوست و سپس کاربرد آن در خاک به دلیل بهبود ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت توصیه می‌شود.

واژهای کلیدی: رشد گیاه، زئولیت اصلاح‌شده، کمپوست زباله شهری، کلروفیل، نیتروژن

مقدمه

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 کاهش بازگشت بقایای گیاهی به خاک و درنتیجه کمبود مواد آلی خاک شده است (افیونی، ۱۳۸٤). 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

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.27.1.2]

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، ۱۳۸٤). 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 درنتیجه 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). Gholamhoseini و 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 ازنظر افزایش محصول و جلوگیری از آبشویی 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، آلوئه ورا 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). Yolcu و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که زئولیت پتانسیل خوبی برای کاربرد در کشاورزی دارد چون هم رشد گیاه را بهبود می‌بخشد (افزایش ٤۷ درصدی عملکرد علوفه) و هم باعث بهبود شرایط خاک در طولانی‌مدت 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 $N\text{-}NH_4^+$ و $N\text{-}NO_3^-$ می‌شود. غلامحسینی و همکاران (۱۳۸٦) 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 Wyszkowski و Radziemska (۲۰۱۳) کاربرد کمپوست و زئولیت باعث افزایش محتوی نیتروژن در دانه و کاه جو نسبت به ریشه آن شد. Gholamhoseini و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی کاربرد کودگاوی 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 غنی‌شده 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.27.1.2]

زئولیت با نمک منیزیم کلرید، توانایی آن برای جذب آمونیوم پساب افزایش می‌یابد (Huang *et al.*, 2014)؛ اما تا به حال از زئولیت اصلاح‌شده درروند 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 اصلاح‌شده و طبیعی بر برخی صفات ریخت‌شناسی گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰٤ و همچنین میزان کلروفیل و نیتروژن برداشت شده توسط آن است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر کمپوست اصلاح‌شده با زئولیت بر صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک ذرت رقم سینگل کراس ۷۰٤ ، 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 $MgCl_2.6H_2O$ بود. برای اصلاح زئولیت مورد نیاز ابتدا محلول ۲ مولار $MgCl_2.6H_2O$ 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 (به‌طور 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 اصلاح‌شده با زئولیت، متناسب با اندازه لایسیمترها، مقدار موردنیاز از مواد موجود در سایت تجزیه کارخانه کمپوست کود آلی اصفهان استفاده شد و به‌صورت 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 اصلاح‌شده 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 موردنیاز برای میکروارگانیسم‌ها فراهم باشد (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۲). مدت زمان تولید کمپوست سه ماه به طول انجامید. در طول این مدت به‌منظور 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) ٤۵ 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 تولیدشده برای کشت از الک ۹ میلی‌متری عبور داده شد.

حداقل نسبت قطر به ارتفاع ستون خاک برای مطالعات ستونی باید ۱:٤ باشد (Lewis and Sjostrom, 2010) بنابراین برای کشت گیاه ستون‌هایی به قطر ۲۳/۵ و ارتفاع ٦۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. کف این ستون‌ها با توری فلزی مسدود شد. در بدنه این ستون‌ها در سه عمق سوراخ‌هایی به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت ایجاد شد. بدنه داخلی این ستون‌ها با استفاده از گریس و شن ریز زبر شد. به‌منظور جلوگیری از خروج خاک، کف ستون‌ها به ارتفاع ٤ 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 ٤۰ تن در هکتار با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری لایه بالایی خاک مخلوط شد. تیمارهای این تحقیق مطابق جدول ۳

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.27.1.2]

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

کاتیون‌ها(mg/kg)	زئولیت طبیعی	زئولیت اصلاح‌شده
منیزیم	۱٦۰۰	۹۲۵۰
کلسیم	٦۸۰۰	۷۸۰۰
سدیم	۲۰۸۰۰	۱۰۰۵۰
پتاسیم	۱۱۹۵۰	۱۱۷۰۰

جدول۲- خصوصیات اولیه خاک استفاده شده در این پژوهش

خصوصیات	شن	سیلت	رس	نیتروژن	مواد آلی	CEC (cmol/kg)	pH (1:2)	EC (1:2)
			(٪)					
مقدار	۸۰/۵	۱۷/٤	۲/۱	۰/۰۳٦	۱/۰۳	۱٤/۹۵	۸	۰/۳۸

جدول ۳ - مشخصات تیمارهای استفاده شده در این پژوهش

اسم اختصاری	تیمارها	درصد وزنی زئولیت در کمپوست
C0	خاک	
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 ۷۰٤ 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 به‌عنوان قطر گیاه در هر تکرار در نظر گرفته شد. به‌منظور 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 به‌طور جداگانه آسیاب شد و میزان نیتروژن 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.27.1.2]

کل از روش Porra (۲۰۰۵) و کاروتنوئیدها در برگ از روش پیشنهادی Lichtenthaler و Wellburn (۱۹۸۵) استفاده شد. اندازه‌گیری جذب در طول موج‌های ٦٤٦، ٦٦٣ و ٤٧٠ نانومتر انجام شد و میزان کلروفیل را با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید:

$$Chl_a(mg/gr) = [0.0127\ (A_{663})-0.00269\ (A_{645})] \times 100/W$$
$$Chl_b(mg/gr) = [0.0229\ (A_{645})-0.00468\ (A_{663})] \times 100/W$$
$$Total = Chl_a + Chl_b$$
$$Carotenoids=1000(A_{470}) - 2.270\ Chl_a - 81.4\ Chl_b /227$$

در رابطه بالا W: وزن نمونه (یک‌دهم گرم)، A_{663}: جذب مشاهده شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٦٦٣ نانومتر، A_{645}: جذب مشاهده شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٦٤٥ نانومتر، A_{470}: جذب مشاهده شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٤٧٠ 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 ٤). 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 ٣٦/٦ و ٤٦/٥ درصدی در میزان هدایت الکتریکی و افزایش ٦٤/٥ و ١٠٩/٧ درصدی در میزان آمونیوم نسبت به تیمار کمپوست بدون زئولیت مشاهده شد. استفاده از زئولیت در روند تولید کمپوست به دلیل اثر حجم دهندگی سبب کاهش میزان نیتروژن، نیترات 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 ٦). 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 ١١/١٨ 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، ١٣٨٩؛ Eprikashvili *et al*., 2016; Gholamhoseini *et al*., 2013; Hazrati *et al*., 2017). 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، ١٣٨٩) شده و درنتیجه رشد گیاه را افزایش دهد. دلیل افزایش تولید با کاربرد کمپوست حاوی زئولیت اصلاح‌شده این است که منیزیم موجود در این زئولیت به‌عنوان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.27.1.2]

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تیمارهای کودی برای برخی خصوصیات کمپوست

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		pH	EC	نیتروژن آمونیاکی	نیتروژن نیتراتی	نیتروژن کل	کربن	نسبت کربن به نیتروژن
تکرار	۲	۰/۰٤٥^{ns}	۰/۰۲٦ ^{ns}	۱٦۱۸/۷٥ ^{ns}	۹۷/۳٥ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰٥ ^{ns}	۰/۱۳۰ ^{ns}
تیمار	٦	۰/٦٦۳**	۲/۰٥**	٥۷۸٤۲/۳٦**	۸۹۰/۰٥**	۰/۰٤۳**	۳۱/۹۸**	٤/٥۹**
خطا	۱۲	۰/۰۳۲	۰/۰۱	۳۷٦/۷۳	۱۱۱/۸۷	۰/۰۰۲	۰/۳۹	۰/۳٦۰
ضریب تغییرات	-	۲/۱۳	۲/۸٤	۳/٥۹	٦/٤۷	۲/۹٤	۳/۲٦	٥/۱۰

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

جدول ٥- خصوصیات کمپوست تولیدی استفاده شده در تیمارهای مختلف

تیمارها	pH	EC (dS/m)	نیتروژن آمونیاکی (mg/kg)	نیتروژن نیتراتی (mg/kg)	نیتروژن کل٪	کربن (%)	نسبت کربن به نیتروژن
C	۹/۰^{a}	٥/۱^{a}	۳٦۱/٦^{g}	۱۹۲/٥^{a}	۱/۸۷^{a}	۲٤/٦^{a}	۱۳/۱^{a}
CNZ5	۸/۷^{b}	۳/۹^{b}	٤۰۲/٥^{f}	۱۷۸/۳^{ba}	۱/٦۹^{b}	۲۱/٥^{b}	۱۲/۷^{a}
CNZ10	۸/۷^{b}	۳/٤^{c}	٥۲٥/۰^{d}	۱٦۲/۱^{bcd}	۱/٥۸^{cd}	۱۷/۸^{c}	۱۱/۲^{b}
CNZ15	۸/۷^{b}	۳/۱^{d}	٥۹٥/۰^{c}	۱٤۷/۹^{cd}	۱/٥۲^{d}	۱٦/۱^{c}	۱۰/٦^{cb}
CMZ5	۸/٤^{c}	۳/٥^{c}	٤۹۰/۰^{e}	۱٦٥/۷^{bc}	۱/٦۱^{bc}	۲۱/۰^{b}	۱۳/۰^{a}
CMZ10	۷/۸^{d}	۲/۹^{d}	٦٤۷/٥^{b}	۱٥۱/۷^{cd}	۱/٥۸^{cd}	۱۸/۱^{c}	۱۱/٤^{b}
CMZ15	۷/۷^{d}	۲/٦^{e}	۷٥۸/۳^{a}	۱٤٥/٤^{d}	۱/٥٤^{cd}	۱٥/٥^{d}	۱۰/۰^{c}

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

C: کمپوست بدون زئولیت، CNZ5, 10, 15 کمپوست حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد زئولیت طبیعی، CMZ5, 10, 15 کمپوست حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد زئولیت اصلاح‌شده

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 زئولیت سبب افزایش تعداد بذرهای جوانه‌زده شد (جدول ۷). نتایج Eprikashvili و همکاران (۲۰۱٦) نیز نشان داد که اضافه کردن زئولیت 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 زئولیت است. در زمان برداشت در تمامی گیاهانی که در آنها کود کمپوست حاوی زئولیت استفاده شده بود، گل‌آذین مشاهده شد. ولی در تیماری که در آن کمپوست بدون زئولیت استفاده شده بود، تعداد گل‌آذین مشاهده شده با اختلاف معنی‌داری کمتر از تیمارهای دارای زئولیت 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 زئولیت 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 انتهایی دوره در تیمارهای مختلف شمارش شد. نتایج نشان داد که با کاربرد اصلاح‌کننده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.27.1.2]

جدول ٦ - 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 گل‌آذین	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	حجم ریشه	تعداد بذرهای جوانه‌زده
تیمار	۷	۹٦/۲٦**	۱۰۷/۷۷**	٤/۸٥**	٤۹۲/۲۹**	۱۳/٤٦**	٤۲٥/۹۹**	۱/٤۲**
خطا	۱٦	۰/۱۳	۰/۲٤	۰/۰٤	۰/٥	۰/۱٤	۱۱/۰٤	۰/۱۳
ضریب تغییرات	-	۲/۲۲	۳/۲۲	۸/۷۲	۱/۹۷	۱۳/٤٦	۱۰/۷٦	۹/۹۸

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

ادامه جدول ٦-

	میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد ظهور گل‌آذین در هر ستون	ارتفاع گل‌آذین	تعدادبرگ‌های فعال گیاه در هر بوته	قطر گیاه	ارتفاع گیاه	مقدار نیتروژن برگ
تیمار	۷	۱/٤۷**	۲٤۰/۳۹**	۸/٦۱*	۱۹/٥۹**	۱٤٤۰/۱۱**	۰/۰۷**
خطا	۱٦	۰/۰٤	۹/٦۷	۲/۲۹	۰/٦۱	۱٦/۱۲	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات	-	۱۱/۹٤	۱۷/۱٤	۱۳/۰٤	٥/۸٦	۲/۸٦	۳/٥۱

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

ادامه‌ی جدول ٦

	میانگین مربعات							
منابع تغییر	درجه آزادی	مقدار نیتروژن ساقه	کل نیتروژن برداشت‌شده	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئیدها	سطح برگ
تیمار	۷	۰/۰٤**	۰/۰٤٤**	۰/۲٥**	۰/۰۷**	۰/٥٤**	۰/۰۲*	۲٥۱٤۸۷۸/۱۳**
خطا	۱٦	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰٥	۰/۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰٥	۰/۰۰۳	٤٤۳۰۰/۳۳
ضریب تغییرات	-	۷/٤۷	۳/۲۷	۱۰/۳۷	۱۷/۷۳	۹/٦۳	۹/۳۱	۹/۱۹

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

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 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 ٦). 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.27.1.2]

جدول ۷- برخی صفات ریخت‌شناسی ذرت در تیمارهای آزمایشی

تیمارها	وزن خشک برگ (گرم)	وزن خشک ساقه (گرم)	وزن خشک گل‌آذین (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	حجم ریشه (میلی‌متر مکعب)
C0	۲/۶۹^{g}	۱/۵۹^{g}	۰/۰^{d}	٤/۲۸^{f}	۱/٤۰^{g}	٤/۰۰^{e}
C	۱٤/۰٤^{f}	۱۱/۹۵^{f}	۰/٦۳^{c}	۲٦/٦۲^{e}	۵/٤٤^{f}	۲٦/٦۷^{d}
CNZ5	۱٦/۲۸^{e}	۱۵/۸۵^{e}	۲/۸٤^{b}	۳٤/۹۷^{d}	۵/۸۲^{fe}	۳۱/۰۰^{dc}
CNZ10	۱۷/۰۵^{d}	۱۷/۰٤^{d}	۳/۰۲^{ba}	۳۷/۱۱^{c}	۷/۷٦^{ba}	۳۸/۳۳^{ba}
CNZ15	۱۸/۹۸^{ba}	۱۷/٦٦^{dc}	۳/۱۲^{ba}	۳۹/۷٦^{b}	٦/۸۲^{dc}	۳٦/۰۰^{bc}
CMZ5	۱۸/۵۵^{c}	۱۸/۵۲^{bc}	۲/۹۰^{ba}	۳۹/۹۷^{b}	٦/٤٤^{de}	۳۱/۰۰^{dc}
CMZ10	۱۹/۸۰^{a}	۱۹/۷۱^{a}	۳/۲۲^{a}	٤۲/۷٤^{a}	۸/۱۲^{a}	٤۱/٦۷^{a}
CMZ15	۱۹/۵۷^{ba}	۱۸/۹۹^{ba}	۳/۰٦^{ba}	٤۱/٦۲^{a}	۷/۲٦^{bc}	۳۸/۳۳^{ba}

ادامه جدول ۷

تیمارها	تعداد بذرهای جوانه‌زده	تعداد ظهور گل‌آذین در هر ستون	ارتفاع گل‌آذین (سانتی‌متر)	تعدادبرگ‌های فعال گیاه در هر بوته	قطر گیاه (میلی‌متر)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)
C0	۲/۳۳^{c}	۰/۰^{c}	۰/۰۰^{e}	۷/۵۰^{d}	۷/۲۰^{d}	۸۹/٦۷^{d}
C	۲/٦۷^{c}	۱/٦۷^{b}	۹/٦۷^{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}	۱٤۸/۱۷^{b}
CNZ10	٤/۰^{a}	۲/۰^{a}	۲۲/۲۵^{bac}	۱۲/۱۷^{bc}	۱٤/۱۹^{bac}	۱٤٦/٦۷^{b}
CNZ15	٤/۰^{a}	۲/۰^{a}	۲۳/۲۵^{bac}	۱۲/۱۷^{bc}	۱٤/٤۹^{ba}	۱۵۰/۸۳^{ba}
CMZ5	٤/۰^{a}	۲/۰^{a}	۲۰/٤۲^{bc}	۱۲/۳۳^{b}	۱٤/٤۱^{ba}	۱٤۷/۸۳^{b}
CMZ10	٤/۰^{a}	۲/۰^{a}	۲٤/۵۰^{ba}	۱۲/٦۷^{ba}	۱۵/۱۱^{a}	۱۵۷/۱۷^{a}
CMZ15	٤/۰^{a}	۲/۰^{a}	۲٦/۵۸^{a}	۱۳/۱۷^{a}	۱٤/۵۹^{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 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

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.27.1.2]

جدول ۸- مقادیر نیتروژن برگ و ساقه در تیمارهای آزمایشی

تیمارها	برگ		ساقه		کل نیتروژن برداشت‌شده
	وزن (گرم)	مقدار نیتروژن (٪)	وزن (گرم)	مقدار نیتروژن (٪)	(گرم)
C0	۲/٦۹^{g}	۱/۲٥^{d}	۱/٥۹^{g}	۰/۷۲^{a}	۰/۰٤٥^{h}
C	۱٤/۰٤^{f}	۱/٤۱^{c}	۱۱/۹٥^{f}	۰/٥۰^{b}	۰/۲٦^{g}
CNZ5	۱٦/۲۸^{e}	۱/٥٦^{b}	۱٥/۸٥^{e}	۰/۳۹^{c}	۰/۳۲^{f}
CNZ10	۱۷/۰٥^{d}	۱/٦۰^{b}	۱۷/۰٤^{d}	۰/۳۹^{c}	۰/۳٤^{e}
CNZ15	۱۸/۹۸^{ba}	۱/٦٥^{b}	۱۷/٦٦^{dc}	۰/٤۰^{c}	۰/۳۸^{c}
CMZ5	۱۸/٥٥^{c}	۱/٥۷^{b}	۱۸/٥۲^{bc}	۰/۳۸^{c}	۰/۳٦^{d}
CMZ10	۱۹/۸۰^{a}	۱/٦٤^{b}	۱۹/۷۱^{a}	۰/٤۱^{c}	۰/٤۱^{b}
CMZ15	۱۹/٥۷^{ba}	۱/۷۷^{a}	۱۸/۹۹b^{a}	۰/٤۱^{c}	۰/٤۲^{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 اصلاح‌شده

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 نیتریفیکاسیون کننده 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 جذب‌شده است. در کودهای کمپوست تولیدی با زئولیت اصلاح‌شده دو واکنش در جذب آمونیوم توسط کود اثرگذار است. یکی واکنش تبادل یونی که درنتیجه 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 زئولیت با آمونیوم و فسفات موجود در کود تشکیل ترکیبی به نام $MgNH_4PO_4.6H_2O$ 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.

$$Zeolite - Mg^{2+} + NH_4^+ \leftrightarrow Mg^{2+} + Zeolite - NH_4^+$$

$$Mg^{2+}(aq) + NH_4^+(aq) + PO_4^{3-}(aq) + 6H_2O \leftrightarrow MgNH_4PO_4.6H_2O\downarrow$$

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 تیمارCMZ15 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،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

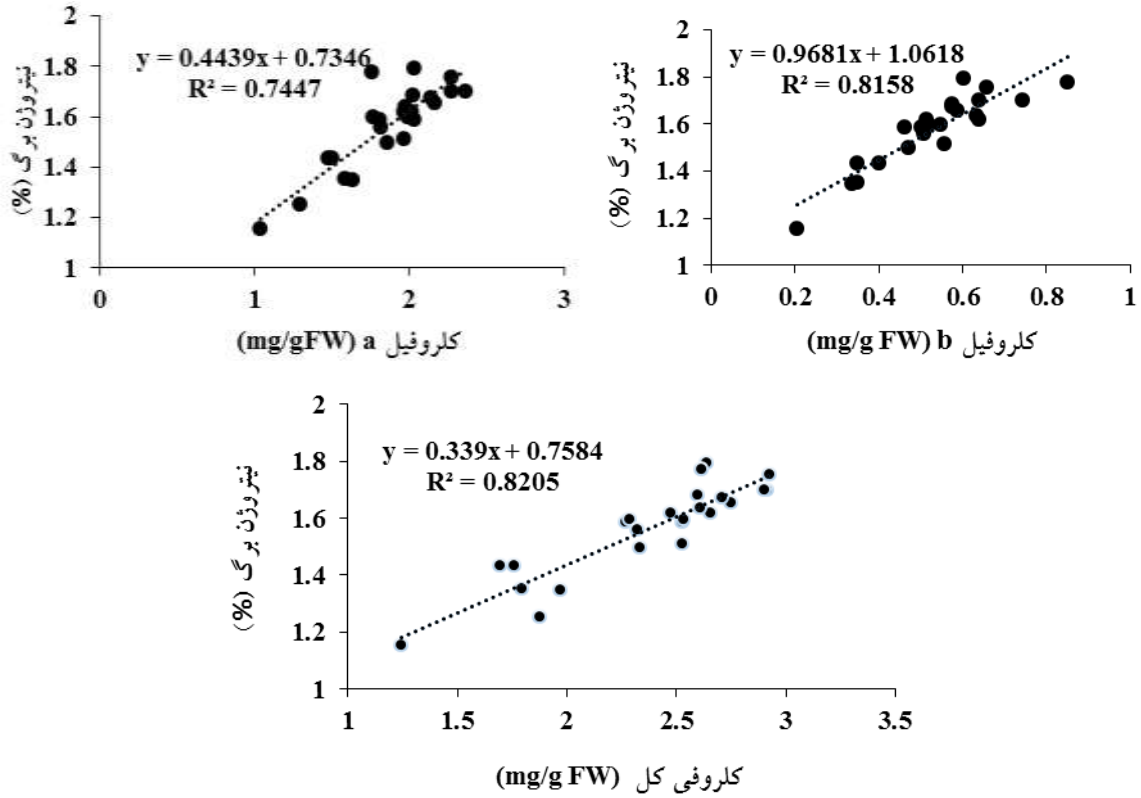
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.27.1.2]

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)
	(میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر گیاه)				
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

۱۳۹٤) 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.27.1.2]

(Sortino *et al.*, 2014).

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 اصلاح‌شده 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 زئولیت اصلاح‌شده و کم‌ترین شاخص سطح برگ با میانگین ۱۰٤/٤ 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 گزارش‌شده است (احمدی آذر و همکاران، ۱۳۹٤; Peterson, 1993). با توجه به اهمیت وجود نیتروژن در ساختار ملکول کلروفیل و آنزیم ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز، برگ هایی 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 اصلاح‌شده آن سبب افزایش قطر، ارتفاع گیاه، سطح برگ، 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 اصلاح‌شده نسبت به زئولیت طبیعی ۱۱/۸ درصد افزایش نشان داد. استفاده از کمپوست حاوی زئولیت طبیعی و اصلاح‌شده سبب افزایش میزان برداشت نیتروژن به میزان ۳٤/٦۸ و ٥٤/٤۷ درصد نسبت به تیمار کمپوست بدون زئولیت شد. مقدار کلروفیل a، ۲۹/۲۲ و ۳٤/۸۸ درصد، کلروفیل b، ٤٤/۲۹ و ۷٦/٤٥ درصد، کلروفیل کل ۳۲/۱٤ و ٤۲/۹٤ درصد و کاروتنوئیدها ۱۹/۷۷ و ۲۹/۵۸ درصد به ترتیب با کاربرد کمپوست زئولیت طبیعی و اصلاح‌شده 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 اصلاح‌شده 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 به‌صورت طرح مشترک با سازمان مدیریت پسماند استان اصفهان انجام شده است. بدین‌وسیله از کلیه حمایت‌های این سازمان به خصوص پرسنل آزمایشگاه قدردانی می‌گردد.

منابع

احمدی آذر، ف.، حسنلو، ط.، ایمانی، ع. و فیضی اصل، و. (۱۳۹٤) تنش خشکی و کاربرد زئولیت معدنی بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژی گیاه پنیرک (*Malva sylvestris*). مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران) ۲۸: ٤٥۹-٤۷٤.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.27.1.2]

افیونی، م. (۱۳۸٤) 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 ٦: ۱-۱٦.

حبیب‌پور کاشفی، ا.، قرینه، م. ح.، شافعی نیا، ع. و روزرخ، م. (۱۳۹٤) اثر سطوح زئولیت بر فلورسانس کلروفیل لوبیا قرمز (*Phasaeolus 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) ۲۲:۲۳۵-۲٤۱.

غلامحسینی، م.، قلاوند، ا.، مدرس ثانوی، ع.م. و جمشیدی، ا. (۱۳۸٦) تأثیر کاربرد کمپوست‌های زئولیتی در اراضی شنی بر عملکرد دانه و سایر صفات زراعی آفتابگردان. مجله علوم محیطی ۲۳:۵-۳٦.

محراب، ن.، چرم، م.، و حجتی، 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) ۳۷:۱-۱۱.

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 ۲۸۱:٤-۲۸۹.

یاری، س.، مرادی، پ. و خلیقی‌سیگارودی، ف. (۱۳۹۲) اثرات کاربرد آلومینوسیلیکات زئولیت بر صفات مورفولوژیک و ترکیبات شیمیایی گیاه دارویی آلوئه ورا (*Aloe vera* L.). فصل‌نامه داروهای گیاهی ٤: ۱۷۰-۱۷۹.

یعقوبی، س.ر.، آقاعلیخانی، م.، غلامحسینی، م. و اسیلان، 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 ٤۲:۱٤۳-۱۵۵.

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 ۱٤: ۷۵-۸٤.

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., Moraditochaee, 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 NO_3-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.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.27.1.2]

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.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.27.1.2]

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.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.27.1.2]