نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۷، ص. ۷۷۸-۷۶۳

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 4, Sept.-Oct. 2018, p. 763-778

تأثیر زئولیت، ورمی‌کمپوست و کود حیوانی بر رشد و جذب عناصر کم مصرف در ذرت

سیده زهره تقدیسی حیدریان[۱]- رضا خراسانی[۲*]- حجت امامی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۶

چکیده

زئولیت عموماً به عنوان یک ماده اصلاحی برای خاک استفاده می‌شود. اضافه کردن برخی از مواد معدنی نظیر زئولیت علی‌رغم تأثیر مثبت بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند در سطوح زیاد تأثیر منفی بر جذب عناصر غذایی و رشد گیاه داشته باشد. به همین منظور آزمایش گلدانی با هدف بررسی تأثیر زئولیت، کود حیوانی و ورمی‌کمپوست بر رشد و جذب عناصرکم مصرف در گیاه ذرت به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه پژوهشی تحت شرایط کنترل شده انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل زئولیت در سه سطح (صفر، ۶ و ۱۲ درصد وزنی)، نوع ماده آلی شامل ورمی‌کمپوست در سه سطح (صفر، ۰/۱۲۵ و، ۰/۲۵ درصد وزنی) و کود گاوی پوسیده در سه سطح (صفر، ۰/۵ و، ۱ درصد وزنی) بودند. نتایج آزمایش نشان داد در بین سطح ۶ و ۱۲ درصد زئولیت، سطح ۶ درصد آن نسبت به ۱۲ درصد کارایی بهتری داشته است و سطح ۱۲ درصد زئولیت نسبت به شاهد باعث کاهش ۱۹ درصدی وزن خشک گیاه و کاهش وزن تر، که کاهش وزن تر نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. همچنین این سطح زئولیت جذب عنصر روی، آهن و منگنز در گیاه کاهش داد و به ترتیب سبب افزایش ۸/۹۳ و ۴۰ درصدی pH و غلظت منگنز خاک شد. در بین تیمارهای آزمایشی، سطح ۱ درصد کود گاوی در عدم حضور زئولیت بیشترین مقدار وزن تر و خشک گیاه، ارتفاع گیاه، جذب عناصر روی، آهن و منگنز در اندام هوایی گیاه را دارا بود. همچنین کمترین مقدار pH خاک مربوط به این سطح بوده که اختلاف معنی‌داری نسبت به بقیه تیمارها و همچنین تیمار شاهد داشت. در نهایت در بین تیمارهای آزمایشی، کارایی ورمی‌کمپوست نسبت به کود گاوی کمتر بوده و بیشترین تأثیر بر رشد و جذب عناصر کم مصرف در گیاه ذرت مربوط به تیمارهای کود گاوی و کمترین مربوط به تیمار زئولیت بود.

واژه‌های کلیدی: تغذیه گیاه، زئولیت، کود گاوی، مواد آلی

مقدمه

امروزه افزایش عملکرد بسیاری از محصولات از جمله غلات از اهمیت زیادی برخوردار است. به منظور پایداری در افزایش عملکرد و جلوگیری از کاهش رشد آنها، توجه به مدیریت تغذیه و حاصلخیزی خاک بسیار الزامی است. قابلیت دسترسی عناصر غذایی از عوامل مؤثر بر رشد گیاه است توجه به ارزش عناصر کم مصرف از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. هر چند که عناصر کم مصرف در مقادیر بسیار کمی توسط گیاه جذب می‌شوند ولی به همان اندازه در رشد گیاه مؤثر هستند به خصوص که نقش فعال کننده‌ی در بسیاری از فرآیندها و واکنش‌های گیاهی دارند (۲۰). سه عنصر آهن، روی و منگنز بیش از سایر عناصر در امر تغذیه گیاه به خصوص ذرت نقش دارند (۲۳). کاشت ذرت اغلب در خاک‌هایی که دارای مواد آلی زیاد، عمق کافی، نفوذپذیری مناسب و دارای pH ۵/۵ تا ۶/۵ باشند مناسب‌تر بوده و رشد بهتری دارد. از آنجا که کمبود مواد آلی، زیاد بودن pH، دسترسی کم گیاه به بعضی از عناصر کم مصرف در خاک‌های آهکی شایع است لذا باید سعی شود سطح مواد آلی در این خاک‌ها بالا نگه داشته شود (۱۳). استفاده از مواد آلی به دلیل اثرات مفیدی که بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دارند ضروری است. مصرف کودهای آلی به خصوص ورمی‌کمپوست علاوه بر تأمین بخشی از نیاز غذایی گیاه، مواد آلی خاک را افزایش می‌دهد و باعث حاصلخیزی خاک می‌شود (۴۵). ورمی‌کمپوست فرآورده حاصل از کرم‌های خاکی است که دارای عناصر پر مصرف و کم مصرف مورد نیاز گیاه می‌باشد. ساها و همکاران (۴۳) در آزمایشی با بررسی اثر کود آلی بر عملکرد ذرت، افزایش غلظت عناصر کم مصرف در دانه ذرت مشاهده کردند. الله دادی و همکاران (۲) گزارش کردند مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست میزان عملکرد ماده خشک و ارتفاع گیاه ذرت را افزایش می‌دهد. هاولین و همکاران (۱۹) بیان کردند که مواد آلی موجود در خاک به وسیله میکروارگانیسم‌ها تجزیه شده و با تولید اسیدهای آلی و آزاد کردن CO_2، pH خاک را کاهش می‌دهند. یکی دیگر از منابع آلی

۲،۱ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: khorasani@um.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.v32i4.68534

کودهای دامی هستند که در کشاورزی در جهت اصلاح ساختمان خاک و همچنین تغذیه گیاهان به کار می‌روند. افزودن کودهای دامی و تجزیه آن در خاک، باعث می‌شود عناصر کم مصرف موجود در این کودها به تدریج آزاد شده و در دسترس گیاهان قرار بگیرد و از هدر رفت آنها در اثر شستشو جلوگیری می‌کند (۴۹). پارسونز و همکاران (۴۰) و آچینگ و همکاران (۱) گزارش کردند که با مصرف کود دامی عملکرد ذرت علوفه‌ای افزایش یافت. علاوه بر کودهای آلی یکی از رایج‌ترین مواد معدنی که می‌توان در بر طرف نمودن مشکلات کمبود آب، بهبود خصوصیات فیزیکی،کاهش آبشویی عناصر و افزایش تولید محصولات کشاورزی استفاده نمود زئولیت است (۱۷).

زئولیت‌ها کانی‌های آلومینوسیلیکاته از فلزات قلیایی و قلیایی خاکی می‌باشند که از یک شبکه سه بعدی بی‌نهایت وسیع از چهار ضلعی‌های AlO_4 و SiO_4 که به وسیله اشتراک اتم‌های اکسیژن به هم متصل هستند، ساخته شده اند و به دو صورت طبیعی و مصنوعی (سنتزی) هستند. حاوی کانال‌ها و حفره‌های به هم متصل هستند که این فضاها توسط کاتیون‌ها و ملکول‌های آب اشغال شده‌اند که هرکدام قابلیت تحرک و در نتیجه قابلیت تبادل یونی و آب‌زدایی برگشت‌پذیر را دارا می‌باشند. جایگزینی Si^{4+} توسط Al^{3+} در ورقه تتراهدرال باعث ایجاد بار منفی و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی شده است که این بار منفی توسط کاتیون های قابل تبادل به تعادل می‌رسند (۳۱). زئولیت‌ها به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد مانند ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، ساختار بسیار متخلخل، جذب سطحی زیاد، میزان آبگیری زیاد، جلوگیری از آبشویی عناصر به ویژه در خاک‌های شنی، جذب انتخابی، قابلیت دسترسی و ارزش اقتصادی مطلوب برای استفاده در زمینه‌های مختلف علمی از قبیل کشاورزی و دامپروری به حساب می‌آیند (۳۴). فراوان‌ترین نوع زئولیت طبیعی در ایران که بیشترین کاربرد در کشاورزی دارد و به عنوان اصلاح کننده خاک‌های شنی (به دلیل آبشویی عناصر غذایی) محسوب می‌شود کلینوپتیلولایت می‌باشد. زئولیت‌ها با ساختاری بسیار متخلخل و با سطح داخلی بسیار گسترده موجب تثبیت عناصرغذایی در بین ساختار خود شده و از طریق رهاسازی تدریجی آنها فراهمی دراز مدت این عناصر را برای گیاه ایجاد نموده است (۴۲). کوللا و همکاران (۱۱) بیان کردند عملکرد گیاه و قابلیت دسترسی عناصر برای آن، به ویژه در خاک‌های با بافت شنی در حضور زئولیت افزایش می‌یابد. در بررسی اثر زئولیت بر عملکرد و اجزا عملکرد کلزا متقی و همکاران (۳۳) گزارش کردند که کاربرد زئولیت به مقدار ۱۰ تن در هکتار سبب بهبود شرایط رشد گیاه و افزایش عملکرد دانه شد. با وجود مزایای بسیار زئولیت‌ها در مصارف کشاورزی، به اعتقاد کیمبرلی و نلسون (۲۴) استفاده از زئولیت طبیعی، بدون افزودن عناصر غذایی به آن، منجر به رقابت بین ریشه گیاه و زئولیت در جذب عناصر غذایی می‌گردد و اثر معکوسی در رشد گیاه دارد. زئولیت‌ها به عنوان کود کندرها، با جذب و به دام انداختن عناصر غذایی مشکلات تلفات و آبشویی عناصر و در نتیجه آلودگی آب‌های زیرزمینی را کاهش می‌دهد و از طرف دیگر، می‌توانند مقادیر زیادی از سدیم را به داخل بستر رها کنند و یا با جذب عناصر غذایی در کانال‌های خود، با ریشه گیاه رقابت می‌کنند (۳۶). در تحقیقی دیگر اکاترینا و همکاران (۱۲) نشان دادند که زئولیت کلینوپتیلولایت و کمپوست روی خصوصیات خاک مؤثر است آنها این آزمایش را با سه تیمار خاک (شاهد)، خاک با زئولیت و خاک با کمپوست انجام دادند نتایج نشان داد که زئولیت باعث افزایش pH می‌شود که می‌تواند تأثیر منفی بر جذب عناصر غذایی داشته باشد. کولار و همکاران (۲۵) بیان کردند با افزایش مقادیر زئولیت در بستر کشت شمعدانی میزان pH افزایش یافت و گیاهان رشد یافته در سطوح پایین‌تر زئولیت نسبت به سطوح بالاتر دارای وزن تر و خشک ساقه بیشتر بودند. بنابراین انتخاب نوع زئولیت و نسبت آن در بسترهای کاشت می‌تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد گیاهان داشته باشد و آثار منفی آن را کاهش دهد. تحقیقاتی که در مورد زئولیت بر رشد و کیفیت محصولات انجام شده عمدتاً نظرات مثبتی بوده است ولی در مورد تأثیر زئولیت بر جذب عناصر کم مصرف تحقیقات زیادی وجود ندارد. بنابراین در این مطالعه آزمایشی با هدف تأثیرکاربرد زئولیت، نوع و سطح مواد آلی بر رشد و جذب عناصر کم مصرف و تعیین ترکیب مناسب در گیاه ذرت انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر زئولیت، کود حیوانی و ورمی‌کمپوست بر رشد و جذب عناصر کم مصرف در گیاه ذرت، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه پژوهشی تحت شرایط کنترل شده انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل زئولیت طبیعی در سه سطح (Z1: عدم استفاده از زئولیت، Z2:۶ درصد وزنی، Z3: ۱۲ درصد وزنی)، نوع ماده آلی شامل ورمی-کمپوست در سه سطح (V1: عدم استفاده از ورمی‌کمپوست، V2: ۰/۱۲۵ درصد وزنی یا ۵ تن در هکتار، V3: ۰/۲۵ درصد وزنی یا ۱۰ تن در هکتار) و کودگاوی پوسیده در سه سطح (M1: عدم استفاده از کودگاوی، M2: ۰/۵ درصد وزنی یا ۲۰ تن در هکتار، M3: ۱ درصد وزنی یا ۴۰ تن در هکتار) بودند.

۱) انتخاب و تعیین خصوصیات خاک

خاک مورد بررسی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از مزرعه مرکز تحقیقات آب و خاک مشهد نمونه‌برداری شد و پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به آزمایشگاه منتقل گردید. خصوصیات خاک (جدول

۱) شامل بافت خاک (شن لومی) به روش هیدرومتری (۱۴)، رطوبت خاک به روش وزنی، تعیین ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات سدیم (۶، ۱۱)، pH خاک در گل اشباع به وسیله دستگاه pH متر (۳۹)، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع به وسیله دستگاه EC متر (۳۹)، نیتروژن کل به روش کجلدال (۷)، فسفر و پتاسیم قابل استفاده به ترتیب به روش استخراج با بیکربنات سدیم (۳۷،۲۶) و استات آمونیوم (۳۹) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر و فلیم-فتومتر اندازه‌گیری شدند. میزان کربن آلی به روش والکلی و بلک (۴۸)، درصد آهک به روش تیتراسیون (۳۹) و عناصر غذایی کم مصرف (آهن، روی، منگنز) با عصاره‌گیر DTPA-TEA توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید (۲۷).

۲) تعیین خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست و کودگاوی

ورمی‌کمپوست و کودگاوی پوسیده شده پس از هواخشک شدن و عبور از الک ۰/۵ میلی‌متری جهت تعیین خصوصیات شیمیایی به آزمایشگاه منتقل گردید و پارامترهایی از قبیل pH و EC در نسبت ۱:۵ کود به آب، میزان کربن آلی به روش والکلی و بلک (۴۸)، فسفر و پتاسیم قابل استفاده به روش هضم خشک (۲۱)، نیتروژن کل به روش کجلدال (۷) و عناصر غذایی کم مصرف (آهن، روی، منگنز) به روش هضم خشک (۲۱) توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (جدول۲).

۳) تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زئولیت

زئولیت طبیعی کلینوپتیلولایت مورد استفاده در این کار تحقیقاتی از شرکت افرند توسکا با اندازه ۱-۰/۵ میلی‌متر که مربوط به معادن سمنان بود تهیه شد. پس از انتقال به آزمایشگاه علاوه بر خصوصیات اولیه که توسط شرکت ارائه شده بود (جدول۳) مقادیر pH و EC در نسبت ۱:۲ زئولیت به آب و عناصر غذایی کم مصرف (آهن، روی، منگنز) با عصاره‌گیر DTPA-TEA (۲۷) توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (جدول۴).

جدول۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1. Some physical and chemical properties of the soil

خصوصیات Properties	واحد Measure	مقدار Amount
pH	-	7.67
EC	($dS\ m^{-1}$)	0.59
CEC ظرفیت تبادل کاتیونی	($cmol_c kg^{-1}$)	8.15
OC کربن آلی		0.16
$CaCO_3$ درصد آهک		15.68
Sand شن	(%)	69.28
Silt سیلت		20.00
Clay رس		10.72
N (Total) نیتروژن کل		210
P فسفر		8.50
K پتاسیم	($mg\ kg^{-1}$)	95.85
Fe آهن		1.98
Zn روی		0.35
Mn منگنز		2.09

جدول۲- برخی از خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست و کودگاوی

Table 2. Some chemical properties of vermicompost and cow manure

خصوصیات Properties	*pH -	*EC ($dS\ m^{-1}$)	OC (%)	N (Total)	P ($mg\ kg^{-1}$)	K	Fe	Zn ($mg\ kg^{-1}$)	Mn
ورمی‌کمپوست Vermicompost	7.90	2.31	17.16	10266.6	5873.76	7834.101	7916	450	185.2
کود گاوی Cow manure	8.47	13.26	45.24	15750	6391.65	32718.89	1964	362	119

*ratio of 1:5 fertilizer to water

*نسبت ۱:۵ کود به آب

جدول ۳- تجزیه شیمیایی زئولیت
Table 3. Chemical analysis of zeolite

ترکیب شیمیایی Chemical composition	SiO_2	Al_2O_3	CaO	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	MgO	MnO	TiO	P_2O_5	L.O.I*
درصد (٪) Percent	66.5	11.8	3.1	2.1	2	1.3	0.8	0.04	0.3	0.01	12

*Loss on Ignition *افت حرارتی یا تقلیل وزنی حرارتی

جدول ٤- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زئولیت طبیعی
Table 4. physical and chemical properties of natural zeolite

پارامتر	*pH	*EC	CEC	Mn	Zn	Fe	درجه خلوص Degree of purity	وزن مخصوص Bulk density
Parameter	-	($dS\ m^{-1}$)	($cmol_c kg^{-1}$)	($mg\ kg^{-1}$)			(%)	($g\ cm^{-3}$)
مقدار Amount	9.41	0.753	160-180	1.276	0.31	7.078	85-95	1.8

* ratio of 1: 2 zeolite to water * نسبت ۱:۲ زئولیت به آب

۴) آماده سازی تیمارهای آزمایشی و کشت گیاه

ابتدا در هر گلدان، ۵ کیلوگرم خاک مورد آزمایش با تیمارهای آزمایشی زئولیت، ورمی‌کمپوست و کودگاوی پوسیده شده با نسبت-های معین مخلوط شد. علاوه بر آن مقادیر توصیه کودی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب به مقدار ۲۰، ۸ و ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از منابع سولفات آمونیوم، فسفات کلسیم و سولفات پتاسیم به خاک گلدان‌ها اضافه شد. در هر گلدان ۸ بذر ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) کاشته شد و در مرحله دو برگی به دو بوته کاهش یافت. آبیاری کلیه گلدان‌ها با آب مقطر در حد ظرفیت زراعی براساس روش وزنی تا قبل از گلدهی گیاه ذرت به مدت ۷۵ روز انجام گرفت.

۵) برداشت گیاه و آنالیز خاک و گیاه

در پایان دوره رشد، ارتفاع و فاصله میان‌گره گیاه اندازه‌گیری شد پس از آن اندام هوایی گیاه ذرت از محل طوقه جدا و به آزمایشگاه منتقل و وزن تر گیاه تعیین گردید. نمونه‌های گیاهی چندین بار با آب مقطر شستشو شد و در دمای ۶۵–۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون خشک، و وزن خشک نمونه‌ها تعیین شد. برای تعیین غلظت عناصر کم مصرف در نمونه های گیاهی، نمونه‌ها را توسط آسیاب برقی پودر و از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شد. پس از آن غلظت عناصر کم مصرف به روش هضم خشک و دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۲۱). جهت تعیین خصوصیات شیمیایی خاک بعد از برداشت گیاه، نمونه‌های خاک هر گلدان پس از مخلوط کردن، هوا خشک گردید و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. پارامتر pH در نسبت ۱:۲/۵ خاک به آب و عناصرغذایی کم مصرف (آهن، روی، منگنز) با عصاره گیر DTPA-TEA توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید (۲۷).

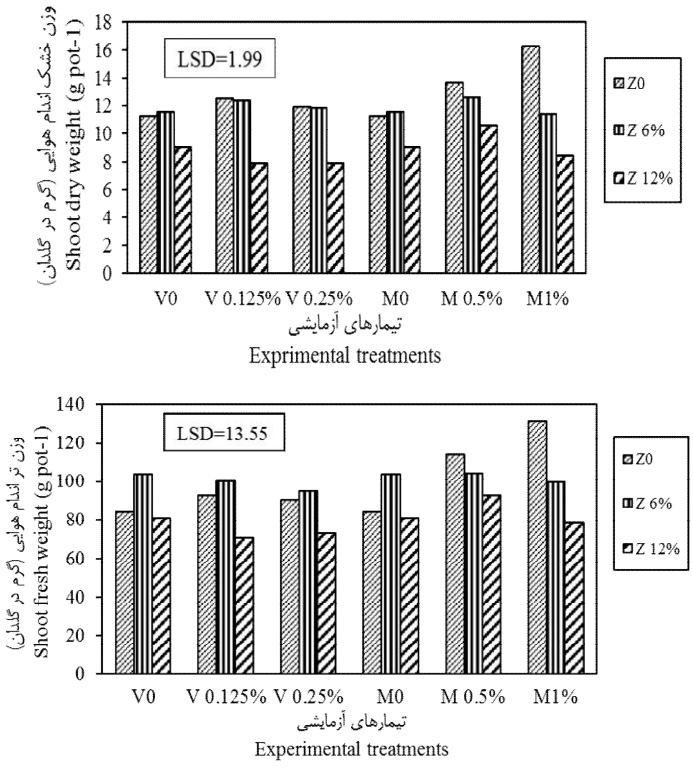
آنالیز آماری داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزار JMP و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد (در این آزمون توصیه بر این است که از گذاشتن حروف معنی‌داری خودداری شود) انجام گردید.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک اندام هوایی: براساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس، تأثیر تیمارهای آزمایشی و برهم‌کنش زئولیت و ماده آلی بر وزن تر و خشک اندام هوایی در سطح آماری ۱ درصد ($p<0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی بر وزن تر و خشک اندام هوایی نشان داد که بیشترین مقدار وزن تر و خشک اندام هوایی مربوط به تیمار Z1M3 بود که اختلاف معنی‌داری با بقیه تیمارها داشت. افزایش ماده خشک تولیدی گیاه رابطه مستقیمی با بهبود وضعیت عناصر غذایی خاک و همچنین بهبود ساختمان خاک دارد. همچنین با افزایش سطح زئولیت وزن تر و خشک اندام هوایی کاهش یافت و سطح ۱۲ درصد زئولیت (در نبود کود گاوی و ورمی‌کمپوست) نسبت به شاهد باعث کاهش ۱۹ درصدی وزن خشک گیاه شد (شکل ۱). کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی در اثر کاربرد زئولیت می‌تواند به علت رهاسازی یون سدیم در خاک توسط زئولیت باشد. سدیم با ایجاد شرایط فیزیکی نامساعد در خاک و عدم تعادل تغذیه‌ای در خاک مانع رشد گیاه می‌شود. در وزن تر و خشک اندام هوایی در صورت عدم استفاده از زئولیت (Z1)، سطوح ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشتند اما با افزایش سطح کود گاوی وزن تر و خشک اندام هوایی به طور معنی‌داری افزایش

یافت و بیشترین وزن تر و خشک مربوط به تیمار Z1M3 بود که در وزن خشک در صورت عدم استفاده از زئولیت این سطح (M3) نسبت به سطح M2 و M1 به ترتیب افزایش ۱۹ و ۴۴ درصدی و در وزن تر نسبت به سطح M2 و M3 به ترتیب افزایش ۱۴ و ۵۶ درصدی داشت. مباتا (۲۹) نیز بیان کرد مقادیر زیاد مواد آلی سبب بهبود ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک گسترش رشد ریشه و جذب بیشتر عناصر غذایی و درنهایت افزایش عملکرد گیاه می‌شود. از مهمترین دلایل تأثیر مثبت مواد آلی بر تولید ماده خشک می‌توان به بهبود ساختمان خاک، افزایش خلل و فرج و بهبود وضع تغذیه و تهویه خاک اشاره کرد. شیرانی و همکاران (۴۶) گزارش کردند که کاربرد کود گاوی عملکرد ماده خشک ذرت به طور معنی‌داری افزایش داد. در حضور Z2، سطوح ورمی‌کمپوست و کود گاوی اختلاف معنی‌داری بر وزن تر و خشک نداشتند. در حضور Z3، بین سطوح ورمی‌کمپوست نیز اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. سطوح کود گاوی هم نسبت به سطح M1 اختلاف معنی‌داری نداشتند. پیرلا و همکاران (۴۱) گزارش کردند کاربرد ۸ تن زئولیت در هکتار موجب کاهش عملکرد ذرت گردید. هر چند گزارشاتی در مورد افزایش وزن تر و خشک گیاه در نتیجه کاربرد زئولیت وجود دارد. تسادیلاس و همکاران (۴۷) گزارش کردند که استفاده از زئولیت وزن تر و خشک گندم را افزایش داد. عملکرد بیشتر در تیمار کود گاوی به دلیل وجود مقادیر زیاد عناصر غذایی و معدنی شدن تدریجی این عناصر از شکل آلی و فراهمی آنها به مقدار کافی در هنگام نیاز گیاه به آنها می‌باشد.

(الف)



(ب)

شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل زئولیت، ورمی‌کمپوست و کود گاوی بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه

Figure 1- Mean Comparison of the interaction effects zeolite, vermicompost and Cow manure on shoot fresh and dry weight of plant

زئولیت (Z)، ورمی‌کمپوست (V)، کود گاوی (M)

تفاوت معنی‌داری براساس مقدار LSD قابل مقایسه است.

ارتفاع و فاصله میان‌گره گیاه: ارتفاع گیاه یکی از اجزای مورفولوژیکی مهم گیاه است براساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس، از بین تیمارهای آزمایشی تنها اثر ساده زئولیت بر ارتفاع گیاه و فاصله میان‌گره در سطح آماری ۱ درصد ($p<0.01$) معنی‌دار

بود. ماده آلی و برهم‌کنش زئولیت و ماده آلی اثر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه و فاصله میان‌گره نداشت (جدول ۵). مقایسه میانگین اثرات ساده زئولیت بر ارتفاع گیاه نشان داد که افزایش سطح زئولیت باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه و فاصله میان‌گره شد و بیشترین ارتفاع گیاه و فاصله میان‌گره مربوط به سطح Z1 بود. سطوح Z2 و Z3 به ترتیب باعث کاهش ۹ و ۱۹ درصدی ارتفاع گیاه و کاهش ۱۳ و ۲۶ درصدی فاصله میان‌گره نسبت به سطح Z1 شد (جدول ۶). در برخی مطالعات اثر مثبت زئولیت بر افزایش رشد ذرت (۲۲) و، کاهو (۱۵) گزارش شده است. اما در مطالعه سمرتزیدیس و همکاران (۴۴) نشان دادند که زئولیت تاثیری بر رشد و عملکرد گل سرخ نداشته است. در تحقیقی دیگر که حمیدپور و همکاران (۱۸) از زئولیت برای پرورش گل آهار استفاده کردند گزارش کردند که زئولیت باعث کاهش عملکرد گل آهار نسبت به تیمار شاهد شده است.

جذب آهن گیاه: گیاهان در بین همه عناصر کم مصرف بیشترین نیاز را به آهن دارند. آهن به عنوان یکی از عناصر فراوان خاک شناخته شده است ولی به دلیل ویژگی‌های شیمیایی این عنصر و همچنین شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک‌های خشک و نیمه خشک حلالیت آن عموماً ناچیز و کمتر از حد مورد نیاز گیاهان می‌باشد.

جدول۵- تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی بر صفات رشدی گیاه ذرت

Table 5- Analysis of variance experimental treatments on growth traits of corn

منابع تغییر Source of Variance	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean Square			
		وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	ارتفاع گیاه Plant height	فاصله میان گره The distance between nodes
زئولیت Zeolite	2	78.337**	2623.45**	2023.365**	10.50**
ماده آلی Organic matter	5	5.392**	556.28**	16.505ns	0.18ns
زئولیت × ماده آلی Z × OM	10	4.727**	379.23**	26.241ns	0.16ns
خطا Error	36	1.450	66.97	14.5	0.15
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	10.774	8.757	3.921	7.995

ns: غیر معنی‌دار بودن **: معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱درصد

ns: Non-significant **:Significance at 1% probability level

جدول٦- مقایسه میانگین اثرات ساده زئولیت بر ارتفاع گیاه و فاصله میان‌گره در زمان برداشت

Table 6- Means Comparison of the Simple effects zeolite on plant height and distance between nodes at harvest time

تیمار آزمایشی Experimental treatment	فاصله میان گره The distance between nodes	ارتفاع گیاه Plant height
زئولیت Zeolite	(cm)	
Z1	5.69	107.5
Z2	4.92	97.47
Z3	4.17	86.30
LSD (0.05)	0.27	2.57

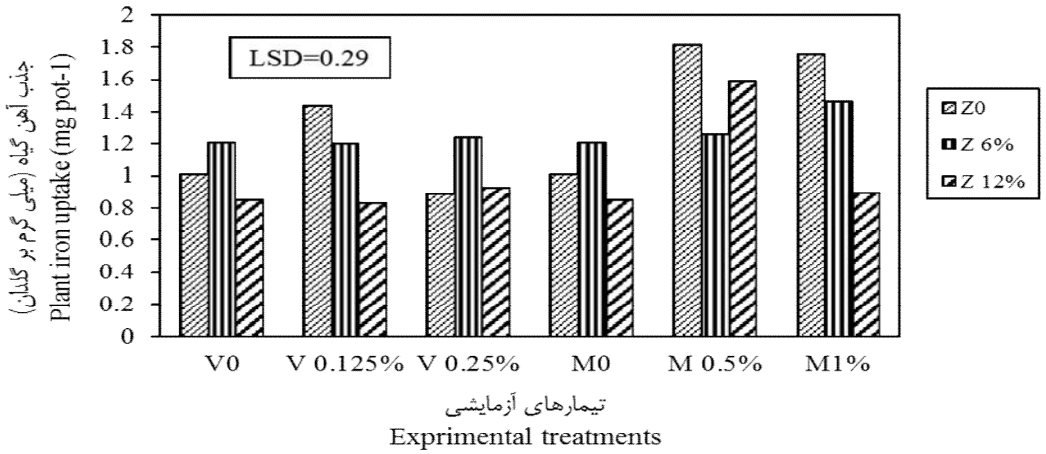
تفاوت معنی‌داری براساس مقدار LSD قابل مقایسه است.

The significance difference is comparable with the LSD value

Z1:عدم استفاده از زئولیت، Z2: ۶ درصد وزنی زئولیت، Z3: ۱۲درصد وزنی زئولیت

Z1: No use of zeolite, Z2: 6% zeolite, Z3: 12% zeolite,

براساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس، تأثیر تیمارهای آزمایشی و بر همکنش زئولیت و ماده آلی بر جذب آهن گیاه در سطح آماری ۱ درصد ($p<0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی بر جذب آهن گیاه نشان داد که بیشترین میزان جذب آهن گیاه مربوط به تیمار Z1M2 بود (شکل ۲). در صورت عدم استفاده زئولیت (Z1)، سطح V2جذب آهن را نسبت به سطح V1به طور معنی‌داری افزایش داد و سطح V3 نسبت به V1 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. هر ۲ سطح کود گاوی نسبت به سطح M1 باعث افزایش معنی‌دار جذب آهن شدند اما بین سطح M2 و M3 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در حضور Z2، سطوح ورمی‌کمپوست و کود گاوی اختلاف معنی‌داری بر جذب آهن گیاه نداشتند. در حضور Z3، سطوح ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری بر جذب آهن گیاه نداشت. همچنین هر دو سطح کود گاوی میزان جذب آهن گیاه را افزایش داد اما بین سطح M3 و M1 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و سطح M2 افزایش ۸۷ درصدی نسبت به سطح M1 داشت. استفاده از کود گاوی اثر مثبتی بر جذب آهن در گیاه ذرت داشت که نشان دهنده آن است که مواد آلی طبیعی به عنوان یک عامل مهم برای فراهمی آهن و ایجاد تعادل بین عناصر محسوب می‌شوند. اثر کودهای آلی به‌ویژه کود گاوی روی جذب آهن ناشی از حضور عناصر کم مصرفی مانند آهن می‌باشد. همچنین در طی فرآیند معدنی شدن با آزاد سازی اسیدهای آلی سبب کاهش موضعی pH خاک شده و باعث افزایش جذب آهن به وسیله گیاه می‌شود (۳۶). ترکیب‌های آلی نقش مهمی در فراهمی آهن گیاه دارند و مواد هومیکی با تشکیل کمپلکس‌های آلی محلول از رسوب اکسیدهای آهن جلوگیری کرده و موجب افزایش پخششیدگی آهن به سمت ریشه گیاه می‌شوند.



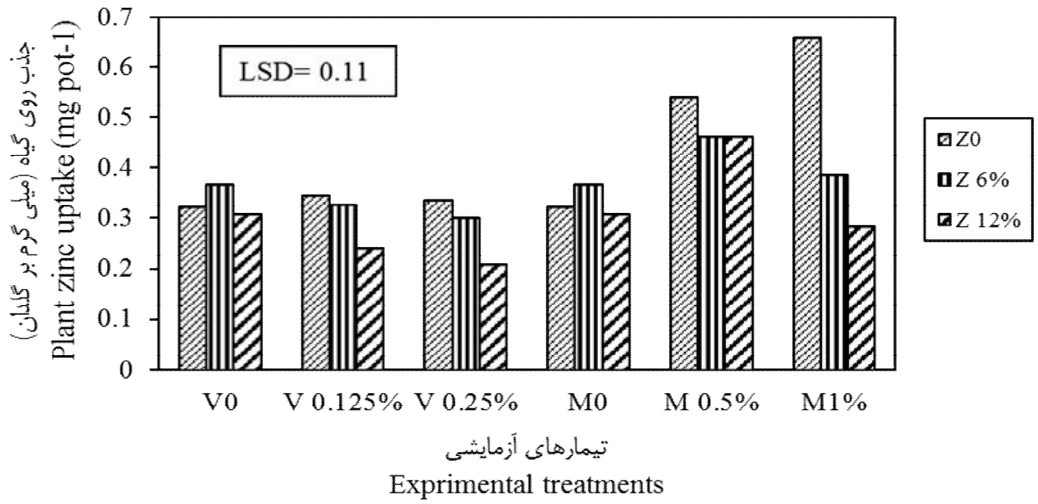
شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی بر جذب آهن در اندام هوایی ذرت

Figure 2- Mean Comparison of the interaction effects of experimental treatments on the uptake of iron in corn shoots

زئولیت (Z)، ورمی‌کمپوست (V)، کود گاوی (M)

تفاوت معنی‌داری براساس مقدار LSD قابل مقایسه است.

جذب روی گیاه: براساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس، تأثیر تیمارهای آزمایشی و برهم‌کنش زئولیت و ماده آلی بر جذب روی گیاه در سطح آماری ۱ درصد ($p<0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی بر جذب روی گیاه نشان داد بیشترین میزان جذب روی گیاه مربوط به تیمار Z1M3 بود که اختلاف معنی‌داری با بقیه تیمارها داشت (شکل ۳). در صورت عدم استفاده زئولیت (Z1)، سطوح ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری بر جذب روی گیاه نداشت در حالی که هر ۲ سطح کود گاوی باعث افزایش معنی‌داری جذب روی گیاه شدند و بیشترین جذب روی گیاه مربوط به M3 بود که نسبت به سطح M2 و M1 افزایش ۲۲ و ۱۰۶ درصد داشت. کاربرد کودهای آلی سبب افزایش روی قابل جذب در خاک و گیاه می‌شود که علت آن، تجمع زیاد روی در حضور کودهای آلی در شکل‌های محلول و تبادلی می‌باشد. در حضور Z2، سطوح ورمی‌کمپوست و کود گاوی اختلاف معنی‌داری بر جذب روی گیاه نداشتند. در حضور Z3، سطوح ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری بر جذب روی گیاه نداشت. بیشترین جذب روی مربوط به سطح M2 بود و بین سطح M3 و M1 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. تأثیر مواد آلی بر فراهمی فلزات بستگی به ذات مواد آلی، تجزیه میکروبی، تأثیر آنها بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نوع خاک و عنصر مورد نظر دارد.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی بر جذب روی در اندام هوایی ذرت

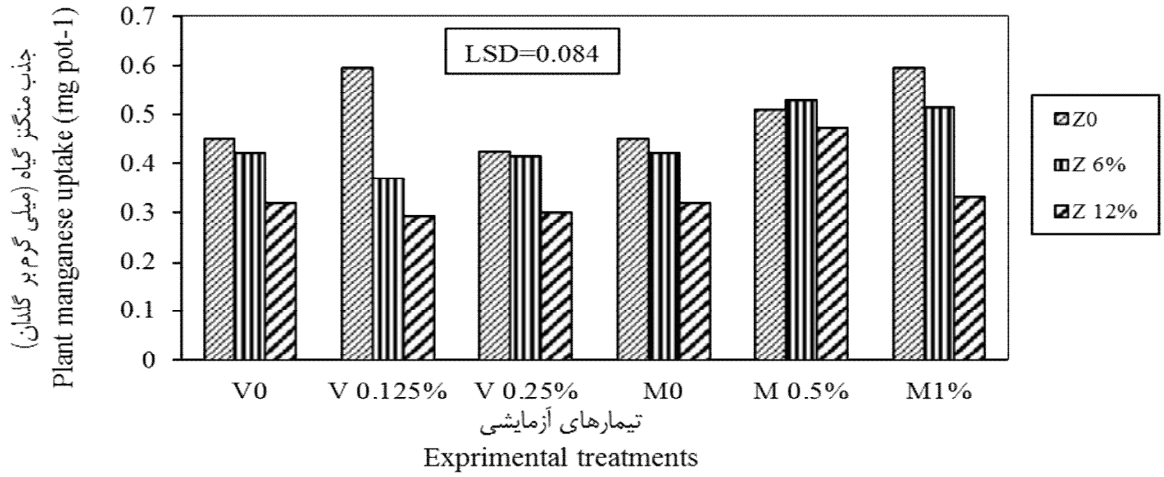
Figure 3- Mean Comparison of the interaction effects of experimental treatments on the uptake of zinc in corn shoots

زئولیت (Z)، ورمی‌کمپوست (V)، کود گاوی (M)

تفاوت معنی‌داری براساس مقدار LSD قابل مقایسه است.

کتلت و همکاران (۱۰) گزارش کردند که افزودن ماده آلی به خاک، pH خاک را کاهش و حلالیت روی و همچنین روی موجود در بخش‌های قابل تبادل، آلی و محلول خاک را افزایش می‌دهد. ملکول‌ها و کاتیون‌ها درون حفره‌های زئولیت جذب می‌شوند و وجود این کاتیون‌ها زئولیت را قادر می‌سازد با برخی از ملکول‌های قطبی بر همکنش داده و آنها را در سطح خارجی خود جذب کنند. به دلیل ظرفیت جذب سطحی بسیار بالایی که کلینوپتیلولایت دارد می‌توان این طور نتیجه گرفت که در شروع تحقیقات زئولیت به طور غیر مستقیم باعث کمبود عناصر و ممانعت از رشد گیاهان می‌شود (۵).

جذب منگنز گیاه: براساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس، تأثیر تیمارهای آزمایشی و برهم‌کنش زئولیت و ماده آلی بر جذب منگنز گیاه در سطح آماری ۱ درصد ($p<0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آزمایشی جذب منگنز گیاه نشان داد که بیشترین میزان جذب منگنز گیاه مربوط به تیمار Z1M3 بود (شکل ۴). برای جذب منگنز گیاه در صورت عدم استفاده زئولیت Z1، سطح V3 باعث افزایش معنی‌دار جذب منگنز نسبت به سطح V1 شد اما سطح V3 نسبت به سطح V1 اختلاف معنی‌داری نداشت. با افزایش سطح کود گاوی میزان جذب منگنز گیاه افزایش یافت اما بین سطح M2 و M1 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و بیشترین میزان جذب مربوط به سطح M3 بود که نسبت به سطح M2و M1 افزایش ۱۵ و ۳۱ درصدی داشت. در حضور Z2 و Z3، سطوح ورمی‌کمپوست بر جذب منگنز گیاه اختلاف معنی‌داری نداشتند در حالی که هر ۲ سطح کود گاوی باعث افزایش جذب منگنز گیاه نسبت به سطح M1 شد. اما بین سطح M2 و M3 در حضور Z2، و بین سطح M3 و M1 در حضور Z3 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در حضور Z3 بیشترین میزان جذب منگنز گیاه مربوط به سطح M2 بود که افزایش ۴۸ درصدی را نسبت به سطح M1 داشت. کاربرد کود گاوی مقدار منگنز خاک را افزایش داد و افزایش مقدار عناصر کم مصرف بر اثر کاربرد کودهای دامی می‌تواند به علت محتوای بالای عناصر غذایی در این مواد باشد. زئولیت‌ها با توجه به ساختار شیمیایی خود که در حین تشکیل به‌دست آورده‌اند و براساس مقادیر مختلف کاتیون‌های قابل تعویض در ساختار شیمیایی خود ظرفیت متفاوتی برای جذب انواع فلزات نشان می‌دهند. انواع زئولیت‌ها پس از بارگذاری یون‌های مورد نیاز گیاهان نظیر پتاسیم، آمونیوم و فسفر می‌توانند به عنوان تأمین کننده عناصر مورد نیاز گیاه به خاک اضافه شوند. جذب فلز بر روی زئولیت یا به دلیل تبادل یون بین فلز سنگین و کاتیون‌های زئولیت مانند سدیم و پتاسیم یا به دلیل رسوب هیدرواکسیدهای فلزی روی سطح خارجی زئولیت است. بنابراین تبادل یون در سطح زئولیت بستگی به غلظت و ماهیت آنیون‌ها و کاتیون‌ها، pH و ساختمان کریستالی زئولیت دارد (۹).



شکل ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی بر جذب منگنز در اندام هوایی ذرت

Figure 4- Mean Comparison of the interaction effects of experimental treatments on the uptake of manganese in corn shoots

زئولیت (Z)، ورمی‌کمپوست (V)، کود گاوی (M)

تفاوت معنی‌داری براساس مقدار LSD قابل مقایسه است.

جدول ۷-تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آزمایشی بر جذب و غلظت آهن، روی و منگنز در اندام هوایی ذرت

Table 7- Analysis of variance of the effect of experimental treatments on the uptake and concentration of iron, zinc and manganese in corn shoots

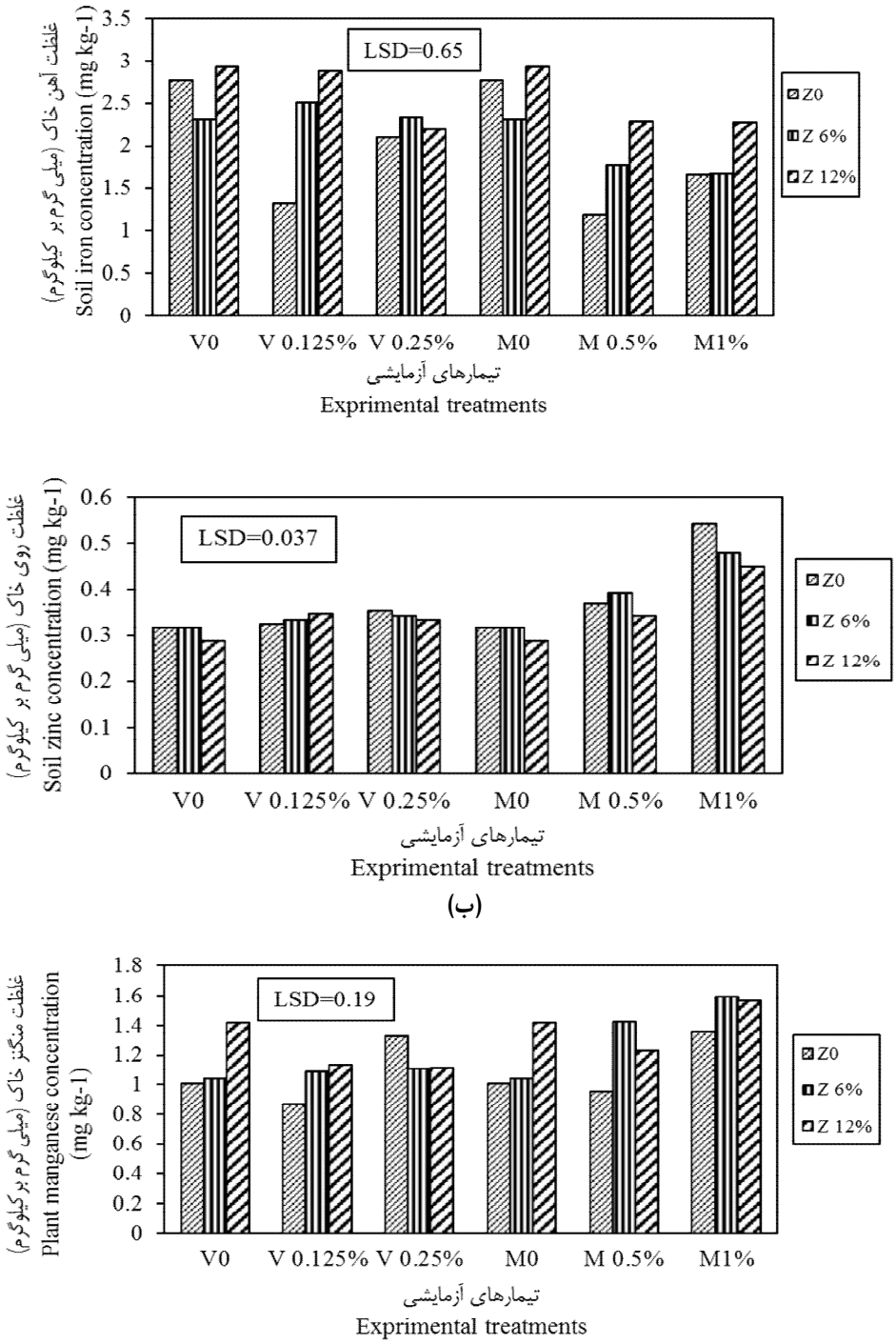
		میانگین مربعات Mean Square		
منابع تغییر Source of Variance	درجه آزادی Degrees of freedom	جذب آهن گیاه Plant iron uptake	جذب روی گیاه Plant zinc uptake	جذب منگنز گیاه Plant uptake manganese
زئولیت Zeolite	2	0.56**	0.06**	0.12**
ماده آلی Organic matter	5	0.45**	0.06**	0.02**
زئولیت × ماده آلی Z × OM	10	0.17**	0.02**	0.009**
خطا Error	36	0.03	0.004	0.003
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	14.68	17.82	11.88

ns: غیر معنی‌دار بودن **: معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد

ns: Non-significant **:Significance at 1% probability level

غلظت آهن، روی و منگنز در خاک پس از برداشت ذرت:

براساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس، تأثیر تیمارهای آزمایشی بر غلظت آهن، روی و منگنز خاک در سطح آماری ۱ درصد ($p<0.01$) و برهم‌کنش زئولیت و ماده آلی آهن و روی خاک در سطح آماری ۵ درصد ($p<0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۹). مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آزمایشی بر غلظت آهن، روی و منگنز خاک نشان داد که بیشترین میزان غلظت آهن، روی و منگنز خاک به ترتیب مربوط به تیمار Z3V1، Z1M3 و Z2M3 بود (شکل ۵). برای آهن خاک در حضور V1 و V2 ، افزایش سطح زئولیت بر غلظت آهن خاک معنی‌دار نبود اما در حضور V3، افزایش سطح زئولیت باعث افزایش غلظت آهن خاک شد ولی بین سطح Z2 و Z3 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی بر غلظت آهن، روی و منگنز خاک پس از برداشت ذرت

Figure 5- Average Comparison of the interaction effects of experimental treatments on the concentration of iron, zinc and manganese in the soil after harvesting of corn

زئولیت (Z)، ورمی‌کمپوست (V)، کود گاوی (M)

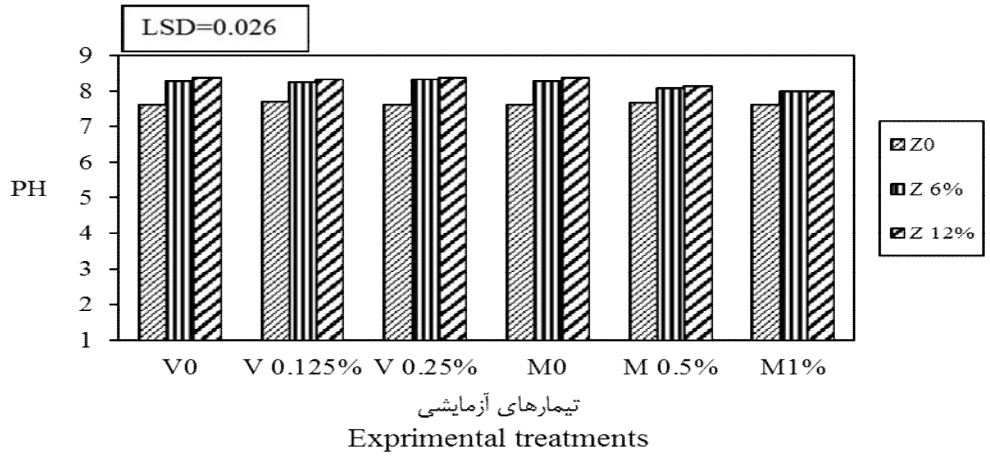
تفاوت معنی‌داری براساس مقدار LSD قابل مقایسه است.

در صورت M1 و M3، افزایش سطح زئولیت بر غلظت آهن خاک معنی‌دار نبود اما در حضور M2، افزایش سطح زئولیت باعث افزایش غلظت آهن خاک شد ولی بین سطح Z2 با Z1 وZ3 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. برای روی خاک در هر ۳ سطح ورمی‌کمپوست و عدم استفاده کود گاوی افزایش سطح زئولیت اثر معنی‌داری بر غلظت روی خاک نداشت. در حضور M2، با افزایش سطح زئولیت کاهش غلظت روی خاک را نسبت به سطح Z1 داشتیم که اختلاف معنی‌داری بین دو سطح Z2 و Z3 با Z1 وجود نداشت. همچنین در حضور M1، با افزایش سطح زئولیت میزان غلظت روی خاک کاهش یافت اما بین سطح Z2 و Z3 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. برای منگنز خاک در صورت عدم استفاده ورمی‌کمپوست و کود گاوی، افزایش سطح زئولیت باعث افزایش غلظت منگنز خاک شد. اما بین سطح Z2 و Z1 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در حضور V2، افزایش سطح زئولیت باعث افزایش معنی‌دار غلظت منگنز خاک شد. درحضور V3، افزایش سطح زئولیت اثر معنی‌داری بر غلظت منگنز خاک نداشت. در حضور M2، با افزایش سطح زئولیت غلظت منگنز به طور معنی‌داری افزایش یافت اما بیشترین غلظت منگنز مربوط به سطح Z2 بود. در حضور M3، نیز با افزایش سطح زئولیت غلظت منگنز خاک افزایش یافت اما بین سطح Z2 و Z3 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. افزایش سطح زئولیت باعث افزایش غلظت عناصر کم مصرف در خاک شده و از طرفی جذب این عناصر توسط گیاه را کاهش داده و مانع جذب آن توسط گیاه شده است. ارتیز و آلکانیز (۳۸) گزارش کردند که کاربرد کودهای آلی میزان فلزات قابل جذب خاک از قبیل آهن، روی و منگنز را افزایش می‌دهد که علت آن به دلیل حضور این فلزات در کودهای آلی به شکل محلول و تبادلی می‌باشد.

pH خاک پس از برداشت ذرت: pH خاک یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در قابل دسترس بودن عناصر غذایی، شکل یونی بعضی از مواد، حلالیت بعضی از عناصر سمی (فلزات سنگین)، فعالیت میکروبی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی و قابلیت حل شدن نمک‌ها می‌باشد و با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ارتباط است و یک راهنما جهت پیش‌بینی کمبودهای احتمالی عناصر یا سمیت آنها می‌باشد. براساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس، تأثیر تیمارهای آزمایشی و برهم‌کنش زئولیت و ماده آلی بر pH خاک در سطح آماری ۱ درصد ($p<0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۹). مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آزمایشی بر pH خاک نشان داد که بیشترین میزان pH خاک مربوط به تیمار Z3V3 بود (شکل ۱۱). در هر ۳ سطح ورمی‌کمپوست و کود گاوی با افزایش سطح زئولیت میزان pH خاک نسبت به سطح Z1 افزایش یافت. به گونه‌ای که در عدم حضور ورمی‌کمپوست و کود گاوی سطح Z3 نسبت به Z1 سبب افزایش ۸/۹۳ درصدی pH خاک شد. در حضور M3، بین سطح Z2 و Z3 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بنابراین بخشی از کاهش جذب عناصر غذایی می‌تواند به دلیل افزایش pH خاک ناشی از افزودن زئولیت باشد. میرلوحی و همکاران (۳۲) گزارش کردند که کاربرد تیمار کود گاوی سبب کاهش pH خاک گردید. مواد آلی متفاوت تأثیر متفاوتی بر pH خاک داشتند این تفاوت‌ها ممکن است به دلیل ساختارهای متفاوت مواد آلی باشد که دارای گروه‌های عاملی و اسیدهای آلی متفاوتی هستند. استفاده از ورمی‌کمپوست و کود گاوی تا حدودی باعث تنظیم pH خاک و کاهش آن شد که این کاهش pHدر کود گاوی نسبت به ورمی‌کمپوست بهتر بود که نشان دهنده تأثیر میزان ماده آلی در تنظیم pH خاک می‌باشد. بصری و همکاران (۴) گزارش کردند که کاربرد زئولیت سبب افزایش pH و هدایت الکتریکی خاک شده است. که بخشی از این افزایش می‌تواند به دلیل آزادسازی یون سدیم توسط زئولیت باشد. آندری و همکاران (۳) نیز افزایش pH خاک در اثر اضافه نمودن زئولیت گزارش نمودند. در pHهای اسیدی مقدار یون هیدروژن افزایش یافته و با کاتیون‌های محلول به رقابت می‌پردازد و مانع اتصال کاتیون‌های فلزی به زئولیت می‌شود و هیدروژن به دلیل کوچک بودن و تحرک بالای آنها به آسانی وارد حفره‌های زئولیت شده و به جای یون‌های فلزی جذب زئولیت می‌گردد در نتیجه مقدار جذب کاهش پیدا می‌کند. در حالی که در pHهای بالاتر به علت کاهش غلظت یون هیدروژن، مقدار جذب یون‌های فلزی افزایش یافته و باعث افزایش مقدار جذب می‌گردد (۳۰).

نتیجه‌گیری

زئولیت وقتی به خاک اضافه می‌شود ممکن است اثرات منفی نیز در خاک و گیاه ایجاد کند. با توجه به نتایج به‌دست آمده کاربرد زئولیت به تنهایی تأثیری بر رشد و جذب عناصر کم مصرف در گیاه ذرت نداشت و حتی باعث کاهش رشد و کاهش جذب عناصر کم مصرف در گیاه ذرت و افزایش pH در خاک شد. استفاده از مواد آلی این اثر منفی تا حدودی تعدیل کرد به طوری که سطوح کود گاوی با کارایی بیشتر نسبت به ورمی‌کمپوست در تعدیل این کاهش مؤثرتر بود. بنابراین استفاده مناسب از نسبت زئولیت به همراه ماده آلی می‌تواند در افزایش جذب عناصر کم مصرف و رشد گیاه مؤثر باشد.



شکل ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی بر pH خاک پس از برداشت ذرت

Figure 6- Mean Comparison of the interaction effects of experimental treatments on the pH soil after harvesting of corn

زئولیت (Z)، ورمی‌کمپوست (V)، کود گاوی (M)

تفاوت معنی‌داری براساس مقدار LSD قابل مقایسه است.

جدول ۸-تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آزمایشی بر غلظت آهن، روی، منگنز و pH در خاک پس از برداشت ذرت

Table 8- Analysis of variance of the effect of experimental treatments on concentration of iron, zinc and manganese in the soil after harvesting of corn

		میانگین مربعات Mean Square			
منابع تغییر Source of Variance	درجه آزادی Degrees of freedom	غلظت آهن خاک Soil iron concentration	غلظت روی خاک Soil zinc concentration	غلظت منگنز خاک Soil manganese concentration	pH خاک
زئولیت Zeolite	2	1.79**	0.004**	0.401**	2.104**
ماده آلی Organic matter	5	1.33**	0.042**	0.203**	0.089**
زئولیت × ماده آلی Z × OM	10	0.43*	0.001*	0.064**	0.022**
خطا Error	36	0.153	0.0005	0.0129	0.0002
ضریب تغییرات Coefficient of variation	-	17.509	6.236	9.439	0.196

**: معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد *: معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد

**:Significance at 1% probability level *:Significance at 5% probability level

منابع

1- Achieng J.O., Ouma G., Odhiambo G., and Muyekho F. 2010. Effect of farmyard manure and inorganic fertilizers on maize production on Alfisols and Ultisols in Kakamega, Western Kenya. Agriculture and Biology Journal of North America, 1:430-439.

2- Allah Dadi A., Akbari G.h., Ghahremani V.Z. 2007. Vermicompost production and lateral products. First Edition.Tehran University Press.

3- Andry H., Yamamoto T., and Inoue M. 2009. Influence of artificial zeolite and hydrated lime amendments on the erodibility of an acidic soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 40(7-8): 1053-1072.

4- Basari M.H.A., Abdu A., Jusop S., Ahmed O.H., Abdul-Hamid H., Kusno M.A., Zainal B., Sen in A.L., Junejo N.

2013. Effect of mixed organic and inorganic Fertilizers Application on Soil properties and the growth of Kenaf (Hibiscus cannabinus L.) Culitiva on brise Soils. American Journal of Applied Sciences, 10 (12): 1586-1597.
5- Böhme M., and Lua H. 1997. Influence of mineral and organic treatments in the rhizosphere on the growth of tomato palnts. Acta Horticulture Abstract. I.S. Growing Media and Plant Nutrition in Horticulture.
6- Bower C.A., Reitmeir R. F., and Fireman M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Soil Science, 73(4): 251-261.
7- Bremner J.M., and Mulvaney C.S. 1982. Nitrogen-total. Pp: 595-624. In A.L. page , Miller ,RH, Keeney, RR, (Eds), Methods of soil analysis, and Part 2. Second ed . American society of agronomy, Madison, WI..
8- Castaldi P., Santona L., Enzo S., Melis P. 2008. Sorption processes and XRD analysis of a natural zeolite exchanged with Pb^{2+}, Cd^{2+} and Zn^{2+} cations. Journal of Hazardous Materials, 156(1-3): 428-434.
9- Cattlet K.M., Heil D.M., Lindsay W.L., and Ebinger M.H. 2002. Chemical properties controlling Zn^{+2} activities in 18 Colorado soils. Soil Science Society of American Journal, 66: 1182-1189.
10- Chapman H.D. 1965. Cation exchange capacity. PP. 891–901. In: Black, C. A., (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Madison (WI): Am. Society of Agronomy.
11- Colella C., de'Gennaro M., and Aiello R. 2001. Use of zeolitic tuff in the building industry. In D.L. Bish and D.W. Ming (eds) Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications. Rev in Mineral. and Geochem. Vol. 45, Washington, D.C., 551-587.
12- Ekaterina G. F., and Christos D.T. 2002. Influence of clinoptilolite and compost on soil properties. Taylor and Francis Publishing, 33(3): 595-607.
13- Fageria N.K., Baligar V.C., and Jones C.A. 2010. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Fl. USA.
14- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Methods of Soil Analysis, Part I, Physical and Mineralogical Methods. Soil Science Society of America. Madison, WI. Particle-size analysis In A. Klute (ed.). 383-410.
15- Gul A., Erogŏl D., and Ongun A.R. 2005. Comparison of the use of zeolite and perlite as substrate for crisp-head lettuce. Sci. Hort, 106: 464-471.
16- Gutie´rrez-Miceli F.A., Moguel-Zamudio M., Archila A. and Dendooven L. 2008. Sheep manure vermin compost supplemented with a native diazotrophic bacteria and mycorrhiza for maize cultivation. Bioresource Technology, 99: 7020-7026.
17- Guttery G., and Galle E. 1985. "Natural Zeolite" Springer. Berlin.
18- Hamidpour M., Shariatmadari H., and Soleimani M. 2012. Zeoponic systems. PP. 588-600. In: Inglezakis, V. J. and A. A. Zorpas (Eds.), Handbook of Natural Zeolites, Bentham Science Publ.,Sharjah, UAE.
19- Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdale S.L., and Nelson W.L. 2005. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management, 7th edn. Prentice Hall, NewYork.
20- Jami Allahmadi M., Kamkar B., Mahdavi Damghani A. 2006. Agriculture, Fertilizer and Environment (translation). First edition of Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad.
21- Jones JB. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 27-160.
22- Khashei siouki A. M., Kochak zadeh v., Shahabi far M. 2008. The Effect of Application of Clinoptilolite Natural Zeolite and Soil Moisture on Corn Yield Components. Soil Research (Soil and Water Science), 22(2): 235-241. (In Persian)
23- Khodabande N. 2013. Agriculture Cereals. 11th edition of Tehran University Press, Tehran. pp.416-470 (In Persian)
24- Kimberly A.W., and Nelson P.V. 1997. Using precharged zeolite as a source of potassium and phosphate in soilless container medium during potted chrysanthemum production. Journal of the American Society for Horticultural Science, 122:703-708.
25- Kolar M., Dubsky M., Sramek F., and Pintar M. 2010. The effect of natural zeolite in peat base growing media on pelargonium zonale plants. Europ. Horticultural Science, 75(5): 226-230.
26- Kuo S. 1996. Phosphorus. pp. 869-920. In: Sparks D. L. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical methods, SSSA and ASA, Madison.
27- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal, 42: 421-448.
28- Maloupa M., Samartzidis C., Couloumbis P., and Komninou A. 1999. Yield quality and photosynthetic activity of greenhouse grown 'Madelon' rose on perlite-zeolite substrate mixtures. Acta Horticulture, 481:97-99.
29- Mbatha A.N. 2008. Influence of organic fertilisers on the yield and quality of cabbage and carrots. PhD Thesis, University of the Free State Bloemfantein, Germany.
30- Moreno N., Querol X., and Ayora C. 2001. "Utilization of zeolite synthesized from coal fly ash for the purification of acid mine waters." Environ. Science Technology, 35: 3526-3534.
31- Mishra M., Jain S. 2011. Properties and applications of zeolites: A Review. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section, 81:111.
32- Mirlohi A., Noorbakhsh F., and Razavi J. 2003. Effect of addition of farmyard manure in rice-barley, maize barley

on some chemical and physical properties. Proceedings of the 8th Soil Science Congress. September, Rasht, Iran, 9-12. (In Persian)
33- Mottaghi L, Allahdadi I, Sirani Rad A.H, Akbari GH.A, and Hasanloo T. 2014. The effect of zeolite on yield and yield components of rapeseed under drought conditions. Quarterly journal of crops improvement, 16 (2): 381-397.
34- Mumpton F. 1999. La roca magica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. Proceedings of the National Academy of Sciences. USA, 96:3463-3470.
35- Munir J.M., Nabila S.K., Nabil K.A. 2004. Response of croton grown in a zeolite-containing substrate to different concentrations of fertilizer solution. Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis, 35(15-16): 2283-2297.
36- Ouda B.A., and Mahadeen A.Y. 2008. Effect of fertilizers on growth, yield, yield components, quality and certain nutrient contents in broccoli (Brassica oleracea). International Journal of Agriculture and Biology, 10: 627–32.
37- Olsen S.R., Cole C.V., Watenabe F.S., and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate, U.S. Department of Agriculture Cris, 939. USA.
38- Ortiz O., and Alkaniz J.M. 2006. Bioaccumulation of heavy metals in Dactylis glomerata L. growing in a calcareous soil amended with sewage sludge. Journal of Bioresource Technology, 97: 545-552.
39- Page A.L. 1982. Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Series No 9. 2nded. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison, WI.
40- Parsons D., Ramirez-Aviles L., Cherney J.H., Ketterings Q.M., Blake R.W., and Nicholson C.F. 2009. Managing maize production in shifting cultivation milpa systems in Yucatan, through Weed control and manure application. Agriculture, Ecosystems and Environment,133: 123-134.
41- Pirela J.J., Westfall D.G., and Barbarick K.A. 1982. Use of clinoptilolite in combination with nitrogen fertilization to increase plant growth. Zeo Agriculture. Science Paper Number, 2768: 115-124.
42- Rehakova M., Cuvanova S., Dzivak M., Rimar J., Gavalova Z. 2004. Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. Current Opinion in Solid State and Materials Science, 8:397– 404.
43- Saha S., Appireddy G.K., Kundu S., and Gupta H.S. 2007. Comparative efficiency of three organic manures at varying rates of its application to baby corn. Agronomy and Soil science, 53:507-517.
44- Samartzidis C., Awada T., Maloupa E., Radoglou K., and Constantinidou H. I. A. 2005. Rose productivity and physiological responses to different substrates for soil-less culture. Horticultural Science. 106: 203-212.
45- Samawat S., Pazaki A., Ladan Moghaddam M., Samawat S. 2008. Applied principles of Organic Materials in Agriculture. Islamic Azad University of Garmsar Branch.
46- Shirani H., Hajabasi M.A., Afyuni M., and Hemmat A. 2002. Effect of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in centeral Iran. Soil & Tillage Res, 68:101-108. (in Persian with English abstract)
47- Tsadilas C.D., Voulgarakis N., and Theophilous M. 1993. Natural Agriculture research foundation. Institute of soil classification and maooing 41335 Larissa Greece.
48- Walkley A., and Black I. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science Society of American Journal, 37: 29-38.
49- Zamil S.S., Quadir F.Q., Chowdhury M.A.H., Al Wahid A. 2004. Effects of different animal manure on yield quality and nutrient uptake by Mustard (CV. Agrani). BRAC University Journal, 1(2):59-66.

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 4, Sept.-Oct. 2018, p. 763-778

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۷، ص. ۷۷۸-۷۶۳

The Effect of Zeolite, Manure and Vermicompost on Growth and Micronutrients Uptake by Corn.

S.Z. Taghdisi Heydarian[1] – R. Khorassani[2*] - H. Emami[3]

Received: 04-12-2017
Accepted: 07-07-2018

Introduction: The amount of soil nutrients and their availability for plants are the important aspects of soil fertility. Although micronutrients are used by plants in very small amounts, they play an active role in many plant-based processes and reactions influencing the plant growth and yield. The efficiency of absorption of micronutrient can be increased by adding some organic and mineral materials to soil. Saha et al. (41) observed an increase in micronutrient concentration of corn grain by adding organic materials to soil. Zeolite is one of the most commonly minerals used to increase agricultural production (17). The zeolites, due to their structure and porosity, are well-suited for retaining the nutrients and gradually releasing them into the root zone (40).Despite the positive effects of zeolite on some physical and chemical properties of soil, its application at high levels may adversely affect the absorption of nutrients and plant growth. Hamidpour et al. (18) who used zeolite for Zinnia flower, reported that zeolite reduced the yield of Zinnia flower. Basari et al. (4) reported that zeolite application increased soil pH and electrical conductivity (EC). Therefore, this research was carried out with the aim of assessing the influence of zeolite application, type (i.e. vermicompost and cow manure) and organic matter levels on the growth and the micronutrients uptake and determining the appropriate composition for corn.

Materials and Methods: A factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications in greenhouse under controlled condition.The treatments consisted of raw zeolite (natural) in three levels (0, 6, 12% by weight), organic matter including vermicompost in three levels (0, 0.125, 0.25% or 0, 5, 10 t ha^{-1}) and cow manure at three levels (0, 0.5, 1% by weight or 0, 20, 40 t ha^{-1}).The soil was collected at a depth of 0-30 cm from the Mashhad Soil and Water Research Center. General soil characteristics and micronutrients concentration (iron, zinc and manganese) were determined according to standard methods (14, 27). For vermicompost and cow manure, some parameters such as pH and EC, organic carbon (46), available phosphorus and potassium (21), total nitrogen (7) and micronutrient (iron, zinc and manganese) were also measured (21). Further, pH, EC and micronutrient (iron, zinc, and manganese) were measured for natural zeolite (27). The pots were prepared by mixing 5 kg soil and experimental materials. N, P, and K were added according to soil testing. Irrigation with distilled water at field capacity level was done during the growth period. The plants were harvested75 days after sowing and after separating shoot and root, the plant materials were transferred to laboratory. Root and shoot dry weight were determined and after dry digesting of plant materials, the concentration of micronutrient were quantified by Atomic Absorption (21). The soil samples were also analyzed in order to determine the chemical properties of the soil after harvesting. Statistical analysis of the data was performed using JMP software and the mean comparison was carried out based on LSD test at 5% probability level.

Results and Discussion: The results of the experiment showed that increasing zeolite levels reduced dry weight, decreased height and uptake of zinc, iron and manganese and increased soil pH and iron and manganese concentrations. In addition, it was observed that the zeolite application had a negative effect on the plant growth and micronutrients uptake. Burriesci et al. (8) concluded that the zeolite application without fertilizing seems not to considerably increase plant growth. According to Kimberly and Nelson (24), the use of natural zeolite, without adding nutrients, leads to a competition between plant roots and zeolite for the nutrients absorption. Sarmetzidis et al. (42) showed that zeolite had no effect on the growth and yield of roses. Kolar et al. (25) reported that increasing the amount of zeolite in the geranium cultivar increased pH and the plants growth. At lower levels of zeolite, shoot fresh and dry weight was larger than that in higher levels of zeolite. Our results also denoted that the maximum amount of plant dry weight, plant height, the micronutrient (zinc, iron and manganese) uptake and the lowest soil pH were observed for the treatment of cow manure (1 %) in the absence of zeolite which had a significant difference relative to other treatments and also control. Shirani et al. (44)

1 , 2 and 3- MSc Student, Associate Professors of Soil Science Department, Agricultural College, Ferdowsi University of Mashhad
(*-Corresponding Author Email: khorasani@um.ac.ir)

reported that the application of cow manure significantly increased corn dry matter. Ortiz and Alkaniz (36) showed that using organic fertilizers enhances the amount of absorbent metals such as iron, zinc and manganese as these metals are in a soluble and exchangeable form in these fertilizers. By releasing organic acids, the organic fertilizers, especially cow manure, reduce the localized pH of soil and increase the iron uptake by plants during the mineralization process.

Conclusion: According to the results, the use of zeolite increased soil pH, decreased corn growth and micronutrient uptake. Applying organic materials with zeolite can reduce the mentioned negative effect of zeolite. Cow manure at lowest level was more efficient than vermicompost at all levels. Overall, adding cow manure can improve the plant growth and micronutrient uptake by plant when the zeolite is intended to be used to modify soil physical characteristic.

Keywords: Cow manure, Organic matter, Plant nutrition, Zeolite