

نشریه علمی یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی
جلد ۸، شماره ۱، سال ۱۳۹۸

«مقاله مروری»

کاربرد زئولیت‌های طبیعی راهکاری در جهت بهینه کردن مصرف نهاده‌ها در راستای کشاورزی پایدار

Application of Natural Zeolites as a Strategy to Optimize Input Consumption for Sustainable Agriculture

علی ماهرخ، ویدا قطبی، فرهاد عزیزی، علی مقدم، مجید غلامحسینی

استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۷

چکیده

ماهرخ، ع.، قطبی، و.، عزیزی، ف.، مقدم، ع.، و غلامحسینی، م. ۱۳۹۸. کاربرد زئولیت‌های طبیعی راهکاری در جهت بهینه کردن مصرف نهاده‌ها در راستای کشاورزی پایدار. نشریه علمی - ترویجی یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی ۸(۱): ۸۹-۷۷.

زئولیت‌ها کانی‌های آلومینوسیلیکاته و از رایج‌ترین ترکیبات معدنی در میان سنگ‌ها هستند. خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد زئولیت‌های طبیعی، همراه با فراوانی آنها در ترکیبات رسوبی و سنگ‌های آتشفشانی، کاربرد زئولیت‌ها را در صنایع مختلف به خصوص در بسیاری از بخش‌های کشاورزی و محیط زیست مانند تولید کودها و سموم شیمیایی کند رها شونده زئولیتی، کاهش مصرف و افزایش کارایی کودهای شیمیایی، کاهش شستشوی عناصر غذایی از خاک، افزایش تولید محصولات زراعی، محیط‌های کشت زئولیتی، جیره غذایی حاوی زئولیت برای حیوانات اهلی، پیشگیری و درمان بیماری‌های دام و طیور، تصفیه آب و فاضلاب، پالایش خاک‌های آلوده، احیای اراضی بایر مقدور ساخته است. ویژگی‌های زئولیت‌ها از جمله قدرت تبادل یونی بالا، آب‌گیری و آب‌دهی مکرر و جذب انتخابی، این نوید را می‌دهد که استفاده از این منابع طبیعی کمک چشمگیری در افزایش کمی و کیفی تولیدات دامی و گیاهی را به همراه داشته باشد. باید توجه داشت که هرگونه فعالیت تحقیقاتی در زمینه زئولیت‌ها در ایران که دارای ذخایر عظیمی از این مواد طبیعی می‌باشد، حائز اهمیت است، چرا که منجر به استفاده از منابع طبیعی کشور شده و کاهش وابستگی به کشورهای خارجی به عنوان تأمین کنندگان انواع نهاده‌های گران قیمت را در پی دارد. به عبارت دیگر استفاده از زئولیت‌ها در صنایع کشاورزی و محیط زیست مترادف است با حداکثر استفاده از مواد خام و ارزان قیمت محلی و حداقل کاربرد محصولات وارداتی که باید با صرف هزینه‌های گزاف خریداری شوند. در این مقاله سعی شده است ضمن معرفی زئولیت‌های طبیعی به عنوان یک ماده قابل دسترس با ویژگی‌های منحصر بفرد، به طور خلاصه برخی ویژگی‌ها و نیز تعدادی از کاربردهای آنها در صنایع کشاورزی تشریح گردد.

واژه‌های کلیدی: زئولیت کلینوپتیلولیت، محیط زیست، اصلاح کننده خاک، صرفه جویی در مصرف آب.

مقدمه

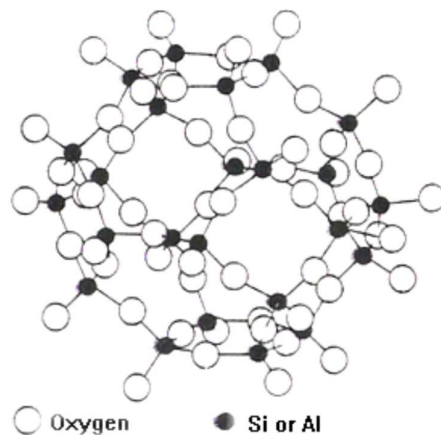
زئولیت‌ها گروهی از مواد معدنی هستند که در فرایند حاصلخیزی خاک و زراعت کاربرد دارند. خصوصیات ویژه زئولیت‌ها کاربردهای متعددی از آنها را در کشاورزی موجب شده است. با توجه به اهمیت این موضوع نخستین گردهمایی بین‌المللی زئولیت در سال ۱۹۸۲ بنا به دعوت کمیته جهانی زئولیت در شهر نیویورک تحت عنوان زئولیت در کشاورزی برگزار گردید (۲۰).

زئولیت‌ها می‌توانند آزادسازی عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان در خاک‌های زراعی را کنترل نموده و مصرف آنها را به سمت محدوده بهینه هدایت کنند. همچنین با افزایش حاصلخیزی و اثرگذاری کودهای شیمیایی به بالاترین حد، باعث اصلاح خاک مزارع شوند. در این صورت از مصرف فراوان و اتلاف کودهای شیمیایی جلوگیری می‌گردد (۵). ساختمان متخلخل و مشبک زئولیت‌ها در برگیرنده کانال‌هایی می‌باشد که می‌تواند با محیط اطراف در تماس و تبادل باشد. سهولت تبادل کاتیون‌های غیر شبکه‌ای موجود در ساختمان زئولیت‌ها سبب ایجاد خصوصیت بسیار مهم تبادل یونی شده است. ویژگی تبادل یونی از بنیادی‌ترین خواص زئولیت‌ها می‌باشد، به طوری که ویژگی‌های دیگر زئولیت‌ها را نیز تحت تأثیر قرار داده است. همزمان با تغییر نوع و میزان کاتیون قابل تعویض در شبکه زئولیت، تغییرات قابل توجهی در ساختار کریستالی آنها

بوجود نمی‌آید که نشانگر پایداری نسبی زئولیت‌ها می‌باشد (۸). با توجه به ظرفیت تبادل یونی و حفظ آب در ساختار زئولیت‌ها، آنها می‌توانند به طور گسترده‌ای در اصلاح خاک و آزادسازی عناصر غذایی مورد استفاده واقع شوند. خصوصیت جذب انتخابی زئولیت‌ها برای طیف وسیعی از کاتیون‌ها مانند پتاسیم، فسفر و آمونیوم، آنها را بعنوان حامل‌های کودهای شیمیایی که افزایش دهنده توانایی خاک در حفظ و نگهداری مواد غذایی می‌باشند، مطرح نموده و از طرفی با آزاد کردن تدریجی عناصر باعث بهبود تغذیه گیاه و کاهش میزان عناصر غذایی از طریق آبشویی می‌شوند (۲۰ و ۲۲).

از لحاظ ساختاری زئولیت‌ها چارچوب‌های آلومینوسیلیکاتی (شکل ۱) هستند که بر مبنای یک شبکه سه بعدی بی‌نهایت وسیع از چهار ضلعی‌های SiO_4 و AlO_4 که به وسیله اشتراک تمام اکسیژن‌هایشان به هم متصلند، ساخته شده‌اند (۲ و ۲۰).

زئولیت‌ها با ساختمان کریستالی و آلومینوسیلیکاتی مواد متخلخلی هستند که مانند غربال مولکولی عمل کرده و به دلیل داشتن ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و قرار گرفتن بعضی از کاتیون‌ها مانند آمونیوم در شبکه خود علاوه بر نقش اصلاح‌کنندگی در خاک، می‌توانند نقش تغذیه‌ای داشته و باعث بهبود رشد گیاه مخصوصاً در اراضی با قابلیت تبدالی پایین یعنی زمین‌های شنی شوند. بر خلاف کانی‌های رسی در زئولیت‌ها چارچوب ساختمانی به اندازه



شکل ۱- ساختار زئولیت بصورت سه بعدی نشان داده شده است (۲۰)

کاربرد دارند. با توجه به اینکه زئولیت‌ها جزو کانی‌های طبیعی کشور ما بوده و تاکنون در شش منطقه کشور وجود معادن آن گزارش شده است (۸ و ۱۴)، لذا با مصرف آنها به عنوان مکمل کود شیمیایی، نگهدارنده مواد غذایی، جلوگیری کننده شستشوی مواد غذایی بخصوص اوره به محیط خارج از دسترس گیاه، افزایش دهنده حاصلخیزی خاک، جلوگیری کننده آلودگی زیست محیطی و همچنین در جهت حفظ رطوبت خاک برای مقابله با تنش خشکی، می‌توان از مزایای این مواد در بهبود و افزایش محصولات کشاورزی بهره جست.

کلینوپتیلولیت به عنوان یکی از بهترین انواع زئولیت با قابلیت مصرف گسترده خود از نظر تیپ به چندین نوع و از نظر نوع کاتیونهای همراه در ایران به سه دسته عمده تقسیم می‌شود. کلینوپتیلولیت دارای سطح بسیار وسیع جذب است، به طوری که می‌توان با هر

کافی باز است و می‌تواند مولکول آب را به اندازه کافی در خود جای دهند و در داخل شبکه حرکت کنند بدون اینکه دچار تغییر شوند، به طوری که واکنش تعویض یون و آبدگی آنها بصورت برگشت پذیر انجام می‌شود (۱۵). این مواد به دلیل داشتن خواصی بی نظیر در علوم مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند. زئولیت‌ها قادر به جذب ۳۰ درصدی گازهایی مانند نیتروژن و آمونیاک نسبت به وزن خشک خود بوده و همچنین تا ۷۰٪ آب را نیز جذب می‌نمایند. با توجه به ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و انتخاب پذیری نسبت به کاتیون‌های پتاسیم و آمونیوم، این مواد وظیفه کاهش از دست دادن مواد غذایی و جلوگیری از نفوذ آنها به عمق خاک را برعهده دارند (۴).

زئولیت‌ها با توجه به سه عامل مهم ساختمان شیمیایی، فراوانی و قابلیت دسترسی و ارزش اقتصادی تعیین کننده، بطور عمده در کشاورزی

را کود هوشمند می‌نامند (۵). ترکیب زئولیت‌های طبیعی با کودهای شیمیایی از جمله اوره، فسفات و پتاسیم باعث تشکیل کود زئولیتی می‌گردد که وقتی در خاک قرار می‌گیرند با سازوکارهای متفاوتی، عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجود در زئولیت‌ها آزاد می‌گردد، همچنین زئولیت‌ها می‌توانند با محبوس کردن عناصر غذایی کم مصرف، اقدام به آماده سازی آنها برای جذب تدریجی توسط چرخه غذایی عناصر نمایند (۵، ۹ و ۱۹). به هر حال زئولیت‌ها با حداکثر نمودن اثرات کودهای شیمیایی، همانند یک کود کند رها شونده در خاک عمل می‌کنند که نگهداری رطوبت خاک را بهبود داده و به دلیل تخلخل مناسب، به تهویه خاک کمک می‌کنند (۲۲).

مزایای استفاده در آبیاری

صرفه‌جویی بسیار زیاد در مصرف آب و ذخیره کننده آب در مناطق کم باران، کاهش شوری آب، جذب فلزات سمی آب، تصفیه کامل و سالم‌سازی پساب‌های آلوده شهری و استفاده در آبیاری مزارع و باغات از جمله کاربردهای زئولیت است (۸). در آزمایشی مصرف زئولیت بر تمام صفات اندازه‌گیری شده ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ (ارتفاع بوته، درصد پروتئین کل برگ و ساقه و کارایی مصرف آب) اثر معنی‌داری داشت، بر اساس نتایج این آزمایش مصرف هشت گرم زئولیت در هر کیلوگرم خاک با ۸۵٪ تخلیه رطوبتی

کیلوگرم آن سطح یک زمین فوتبال را پوشش داد. همچنین این زئولیت خاصیت جذب انتخابی داشته، ویتامین‌ها و مینرال‌های مفید را حذف نمی‌کند، در مقابل دسته وسیعی از توکسین‌ها را خنثی نموده و در صورت استفاده از آن به عنوان مکمل غذایی حیوانات اهلی قادر به حذف سموم از بدن آنها می‌باشد (۲).

کلینوپتیلولیت کانی هیدروآلومینوسیلیکاته با کاتیون‌های سدیم و پتاسیم است. کلینوپتیلولیت به رنگ سفید، زرد و سبز دیده می‌شود. از آنجایی که این ماده به شدت آب را جذب می‌کند، لذا دانه‌های آن به رطوبت حساسند و به راحتی به زبان می‌چسبند. این نوع زئولیت سبک و دارای شکست صدفی است و سطح آن صاف و بدون خاک است. مقاومت مکانیکی زئولیت با توجه به سختی ۵/۵ - ۵ در مقیاس موس قابل توجه است و به آسانی در بین انگشتان دست یا با فشار خرد نمی‌شود. ظرفیت تبادل یونی از مهم‌ترین ویژگی‌های ارزشمند کلینوپتیلولیت است که حدود ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌اکی‌والان در هر ۱۰۰ گرم است (۲).

زئولیت، کود هوشمند

کودهای زئولیتی به دلیل اختلاف فشار اسمزی، خاصیت تبادل یونی و ایجاد بالانس بین زئولیت و محیط خارجی قادرند تشخیص دهند که یک گیاه در چه زمانی به چه مواد مغذی نیاز دارد و در زمان مقتضی آن ماده را برای استفاده گیاه آزاد کنند. به همین دلیل کودهای زئولیتی

صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۱۳٪ توصیه می‌گردد.

مزایای استفاده از زئولیت‌ها در خاک

افزایش نسبت خاکدانه‌های مقاوم در آب، جلوگیری از شستشوی نیتروژن خاک در اثر آبیاری و باران، جلوگیری از فرسودگی و هدر رفتن خاک به سبب قابلیت بالای جذب آب و رطوبت، جذب رطوبت‌های موجود در هوا و خاک و آزاد سازی تدریجی آن به خاک، بهبود تهویه خاک و تامین اکسیژن مصرفی، بهبود شرایط اکوسیستم، تقویت مطلوب خاک‌های کشاورزی تحت کاشت گیاهان غده ای مانند سیب زمینی، پیاز و چغندر قند، جلوگیری از فقیر شدن خاک از مواد اولیه به دلیل خاصیت تبادل یونی بالا و اصلاح مجدد آن، تنظیم pH خاک و متعادل کردن آن در حد مطلوب، تنظیم پتاسیم خاک و در نتیجه بهبود کیفیت گیاه و مرغوبیت میوه و طعم آن، افزایش فعالیت‌های بیولوژیک و میکروارگانیسمی خاک، کاهش شوری خاک، بهبود و کنترل رطوبت خاک در نتیجه اثر مثبت بر میکرو فلور خاک، افزایش تعادل نیتروژنی، کاهش اثر عناصر سمی در خاک با جذب فلزات سنگین مانند آرسنیک، کادمیوم، روی، مس و سرب، نگهداری بلند مدت اثر کودهای شیمیایی و آلی و کاهش میزان شستشوی مواد غذایی موجود در خاک، شکل دهنده خاک‌های کشاورزی و جلوگیری از ایجاد کلوخه از جمله مزایای

بالاترین کارایی مصرف آب را داشت (۳). در آزمایشی چهار تیمار آبیاری شامل آبیاری نرمال، تنش ملایم، تنش شدید و تنش بسیار شدید و مصرف زئولیت در ذرت دانه‌ای بررسی شد. در این آزمایش در تمامی رژیم‌های کم آبیاری بدون مصرف زئولیت و مصرف زئولیت به غیر از سیستم تنش ملایم و مصرف ۱۲ تن در هکتار زئولیت، میزان کاهش عملکرد بیشتر از میزان صرفه‌جویی در مصرف آب بود. در سیستم تنش آبیاری ملایم و مصرف ۱۲ تن در هکتار زئولیت (جدول ۱)، با افزایش تنش خشکی از آبیاری نرمال به تنش ملایم ۱۳٪ در مصرف آب صرفه‌جویی شد ولی عملکرد ۱۹٪ کاهش یافت، بدنبال مصرف ۱۲ تن در هکتار زئولیت عملکرد ۱۰٪ نسبت به شاهد (عدم مصرف زئولیت) افزایش یافت (۱۰). بنابراین در شرایط تنش ملایم و مصرف ۱۲ تن زئولیت عملکرد ۹٪ کاهش یافت و در مقابل ۱۳٪ در مصرف آب صرفه‌جویی شد. (جدول ۱).

بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش (۱۰)، در شرایط فراهم بودن آب آبیاری برای حصول حداکثر عملکرد دانه در ذرت سینگل کراس ۷۰۴، آبیاری می‌تواند پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر صورت گیرد و در این شرایط مصرف زئولیت طبیعی ضرورتی ندارد، ولی در شرایط کمبود آب در منطقه، آبیاری پس از ۹۵ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر به همراه مصرف ۱۲ تن در هکتار زئولیت در جهت حفظ رطوبت اطراف محیط ریشه و

جدول ۱- میزان صرفه جویی در مصرف آب و تفاوت عملکرد ذرت دانه‌ای در سیستم تنش خشکی ملایم و مصرف ۱۲ تن در هکتار زئولیت

تیمار	تغییرات عملکرد نسبت به شاهد (درصد)	صرفه جویی در مصرف آب (درصد)	تفاوت صرفه جویی در مصرف آب و عملکرد (درصد)
تنش ملایم	-۱۹	+۱۳	
مصرف زئولیت (۱۲ تن در هکتار)	+۱۰		
کل	-۹	+۱۳	+۴

استفاده از زئولیت‌ها در خاک است (۵).

مزایای استفاده از زئولیت‌های طبیعی به عنوان اصلاح کنندگان خاک در جهت نگهداری نیتروژن به فرم آمونیوم و جلوگیری از هدر رفتن آن بر اثر آبیاری و یا باران، نگهداری آب، صرفه جویی در مصرف آب و جلوگیری از هدر رفتن عناصر مفید خاک به دلیل خاصیت تبادل کاتیونی بالا بیان شده است (۲). همچنین اضافه کردن یک درصدی زئولیت در ایتالیا به خاک‌های کشاورزی غلظت کاتیون پتاسیم را از ۴۲۰ ppm به ۷۱۰ ppm و کلسیم را از ۴۷۰۰ ppm به ۵۰۳۶ ppm افزایش داده است (۱۵).

در آزمایش دیگری در کرج (۹ و ۱۹) اثر چهار سطح صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار مصرف زئولیت بر روی عملکرد چهار رقم ذرت سینگل کراس ۷۰۴، ۷۰۰، ۶۴۷ و ۶۰۴ بررسی شد. مصرف پنج تن در هکتار زئولیت باعث افزایش معنی دار عملکرد دانه به میزان ۲۴٪ نسبت به تیمار شاهد شد و عملکرد دانه از ۷۷۷۰ به ۹۶۵۴ کیلوگرم دانه در هکتار افزایش

یافت. مصرف بیشتر زئولیت باعث کاهش عملکرد دانه به اندازه تیمار شاهد گردید. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش (۹ و ۱۹) در شرایط آب و هوایی کرج استفاده از زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت به میزان پنج تن در هکتار در خاک قبل از کشت رقم سینگل کراس ۷۰۴ ذرت توصیه گردید و مصرف بیش از این مقدار در شرایط آب و هوایی کرج به دلیل احتمال ورس و خوابیدگی بوته‌ها مناسب نبود.

مزایای استفاده از زئولیت‌ها در کود

کوتاه شدن زمان تخمیر کودهای دامی به میزان چهار تا پنج برابر، پاستوریزاسیون کودهای آلی، کمپوست و کود دامی و نیز از بین بردن عناصر سمی و قارچی موجود در آنها بخصوص افلاتوکسین، تصفیه و پاکسازی کودهای دامی از آلودگی‌های میکروبی و قارچی، از بین بردن انگل‌ها و بذر علف‌های هرز در کودهای دامی، از بین بردن بوی نامطبوع کودهای دامی تازه، جذب سریع اوره در کودهای دامی و تبدیل آن به نیتروژن قابل جذب را می‌توان از مزایای استفاده از زئولیت‌ها در کودهای دامی

دانست (۵).

ژئولیت نانو متخلخل اصلاح شده توسط سورفکتانت هگزادسیل تری متیل آمونیوم به عنوان ناقل کودی جهت کنترل رها سازی نیترات به اثبات رسیده است، به طوری که ژئولیت نانو متخلخل به نحوی مطلوب نیترات را جذب می کند و به واسطه برخورداری از تخلخل نانو به آرامی آن را رها سازی و در اختیار گیاه قرار می دهد. قرار گرفتن آمونیوم در کانال‌های درونی کلینوپتیلولیت موجب رها سازی آرام این کاتیون در خاک می شود و امکان جذب تدریجی آن توسط گیاه را فراهم می کند و در نتیجه سبب افزایش عملکرد محصول خواهد شد (۱۲). افزایش کارایی کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنی در حضور ژئولیت توسط آقاعلیخانی و همکاران (۱۳) و غلامحسینی و همکاران (۱۶ و ۱۷) گزارش شده است. افزایش کارایی مصرف نیتروژن ناشی از به کار گیری ژئولیت‌های طبیعی در گیاهان در ارتباط با کاهش هدرروی نیتروژن، افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه و نهایتاً عملکرد بالاتر گیاهان در حضور ژئولیت می باشد.

بهبود کارایی مصرف فسفر در اثر مصرف

ژئولیت

ژئولیت‌های اشباع شده توسط آمونیوم قادر به افزایش انحلال کانی‌های حاوی فسفات بوده و در نتیجه موجب بهبود جذب فسفر توسط گیاه و افزایش عملکرد آن می شوند. مطالعات

مدنی و همکاران (۱۱) بیان کردند که بالاترین عملکرد غده سیب زمینی، رقم اگریا با کاربرد ۲۷۶ کیلوگرم نیتروژن خالص و شش تن ژئولیت به میزان ۶۱ تن در هکتار به دست آمد که اختلاف معنی داری با تیمار مصرف ۱۸۴ کیلوگرم نیتروژن و ۶ تن ژئولیت در هکتار نداشت. بنابراین نتایج حاکی از آن است که می توان با مصرف کمتر کود نیتروژن تا ۱۸۴ کیلوگرم در هکتار همراه با ژئولیت بدون کاهش معنی دار عملکرد، در مصرف کود نیتروژن صرفه جویی به عمل آورد.

بهبود کارایی مصرف نیتروژن در اثر مصرف

ژئولیت

استفاده غیر اصولی از کودهای شیمیایی نیتروژنی موجب آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی در بسیاری از مناطق جهان شده است. با استفاده از کودهای نیتروژنی کند رها شونده (Slow Release Nitrogen Fertilizers) می توان شدت آلودگی محیط زیست را کاهش و عملکرد محصول را افزایش داد. سرعت رها سازی نیتروژن محصور شده در منافذ ژئولیت نانو متخلخل بسیار آرام تر از سرعت آزاد سازی این عنصر از کودهای شیمیایی مرسوم است. بنابراین می توان از طریق بارگذاری نیتروژن در درون منافذ ژئولیت و متعاقباً آزاد سازی آرام آن در خاک، به نوعی کود نیتروژنی کند رها شونده دست یافت (۱۲). امکان استفاده از

صورت گرفته به منظور بررسی انحلال‌پذیری و تبادل کاتیون در مخلوط‌های سنگ فسفات و کلینوپتیلولیت اشباع شده توسط آمونیوم و پتاسیم نشان داد که مخلوط‌های زئولیت و سنگ فسفات از طریق وقوع واکنش تبادل یون و انحلال موجب رهاسازی آرام عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک شدند. اثر کلینوپتیلولیت اشباع شده توسط آمونیوم و پتاسیم بر قابلیت جذب فسفر در خاک‌های فرسولس نشان داد که کلینوپتیلولیت هم‌زمان با فراهم کردن پتاسیم و آمونیوم مورد نیاز گیاه قادر به افزایش انحلال‌پذیری فسفر نیز می‌باشد و بدین طریق موجب افزایش رشد و بهبود عملکرد گیاه می‌شود (۱۲).

تأثیر زئولیت‌ها در افزایش کمیت و کیفیت

محصولات کشاورزی

افزایش تولید و مرغوبیت محصولات کشاورزی، افزایش مقدار جذب و انتقال ویتامین C در میوه و گیاه، بهبود کیفیت پوسته محصولات و در نتیجه افزایش توان انبارداری آنها، افزایش وزن و تعداد محصولات گیاهی، کاهش تعداد میوه‌های نارس و کاهش ریزش شکوفه‌ها، افزایش شادابی، نشاط و حجم محصولات کشاورزی، جلوگیری از خرابی و فساد محصولات در انبار به مدت طولانی بعد از فصل برداشت، افزایش مواد معدنی در محصولات، تاثیر مثبت و بسیار محسوس در رنگ و طعم محصولات کشاورزی در نتیجه

مصرف زئولیت بیان شده است (۸).

در کشور رومانی با اضافه کردن ۲۵ تا ۱۰۰ تن زئولیت کلینوپتیلولیت در هکتار در زمین‌های زیر کشت سیب‌زمینی بین ۳۰ تا ۷۰ درصد افزایش عملکرد حاصل شد (۲۱). در یک تحقیق اضافه کردن ۸ تا ۱۶ تن زئولیت در هکتار به خاک باعث افزایش عملکرد گندم (۱۵-۱۳ درصد)، بادمجان (۵۵-۱۹ درصد)، سیب (۱۸-۱۳ درصد)، هویج (۶۳ درصد) و تربچه (۵۳-۲۹ درصد) شد (۲۰).

گزارش شده است که حداکثر عملکرد دانه آفتابگردان با میانگین دو تن در هکتار در یک خاک کم بازده شنی با مصرف ۱۸۰۰ تا ۲۵۰۰ کیلوگرم زئولیت در هکتار همراه با کود دامی حاصل شد (۶). همچنین غلامحسینی و همکاران (۷) طی آزمایشی بر روی گیاه کلزای پاییزه به این نتیجه رسیدند که با افزایش مصرف کود نیتروژن، شستشوی نیتروژن افزایش و با مصرف زئولیت به طور معنی‌داری شستشوی نیتروژن کاهش یافت. در این مطالعه، کاربرد ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در تلفیق با نه تن زئولیت در هکتار بیشترین افزایش در صفات کمی و کیفی علوفه کلزا را ایجاد کرد (۷).

تأثیر زئولیت‌ها در مورفولوژی گیاه

جلوگیری از سوختگی ریشه گیاهان و بهبود رشد ریشه و گیاه، استفاده گیاه از تمام عناصر موجود خاک به سبب بالا بودن خاصیت تبادل یونی زئولیت، افزایش ارتفاع شاخ و برگ،

زئولیت‌ها می‌توان از کود طبیعی تازه و خیس بلافاصله بهره‌برداری کرد. به این ترتیب زئولیت‌ها نقش خود را در چرخه اکولوژیک و سلامت محیط زیست نیز نشان می‌دهند (۵).

یکی از علل استفاده از زئولیت‌ها در تولیدات کشاورزی و بهره‌وری خاک، خاصیت جذب رطوبت و نگهداری آن برای مدت طولانی و صرفه‌جویی در مصرف کود شیمیایی و جلوگیری از آلودگی‌های زیست محیطی می‌باشد. در یک آزمایش در اراک، کمترین مقدار کادمیم قابل عصاره‌گیری، پنج میلی‌گرم کادمیم در هر کیلوگرم خاک، در خاک تیمار شده با ۳۰ مگاگرم در هکتار کمپوست زباله شهری و ۱۰٪ وزنی زئولیت مشاهده شد، این در حالی است که بیشترین مقدار کادمیم، ۲۰ میلی‌گرم کادمیم در هر کیلوگرم خاک، مربوط به خاک فاقد کمپوست زباله شهری و زئولیت بود. بر اساس نتایج این آزمایش کاربرد زئولیت و کمپوست زباله شهری می‌تواند با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک باعث کاهش غلظت کادمیم در خاک و گیاهان شود (۱).

زئولیت‌ها و کم آبی

زئولیت‌ها با توان زیاد جذب و نگهداری آب می‌توانند رطوبت هوا و خاک را جذب و در خود نگه‌داشته و در زمان خشکی آنرا به تدریج در اختیار ریشه گیاه که مانند یک پمپ مکنده قوی عمل می‌نماید قرار دهند (۳). در

تعداد پنجه‌ها و انشعابات گیاهان و درختان، افزایش مقاومت گیاه در مقابل آفات و بیماری‌ها، افزایش ضریب جذب گیاه، عامل رشد و تقویت گیاه در اثر مصرف زئولیت بیان شده است (۸).

اثرات اکولوژیک کاربرد زئولیت‌ها

کاربرد زئولیت‌ها به خاک‌های کشاورزی باعث عدم آلودگی آب‌های تحت الارضی بر اثر نشت کودهای شیمیایی می‌گردد. همچنین زئولیت‌ها عناصر سمی سنگین در خاک را به دام می‌اندازند و از تجمع سموم بخصوص افلاتوکسین در خاک و محصول بدست آمده جلوگیری می‌کنند. این موضوع نه تنها باعث تهیه محصولات کشاورزی سالم‌تر می‌شود بلکه کاهش حضور این سموم در غذای حیوانات اهلی و همچنین افزودن زئولیت به عنوان مکمل غذایی به غذای حیوانات باعث تولید پروتئین سالم‌تر می‌گردد که خود منجر به تغذیه سالم جامعه می‌شود. علاوه بر این، فضولات دام‌هایی که مصرف‌کننده زئولیت و علوفه سالم هستند به خودی خود از سموم کمتری برخوردارند، به سرعت سفت و کلوخ نمی‌شوند، تخم انگل‌ها در آنها رشد نمی‌کنند و بوی نامطبوع کمتری دارند. کودهای همراه با زئولیت رطوبت کمتری دارند و اوره آنها به سرعت در خاک جذب نمی‌شود. زئولیت این اوره را به سرعت جذب و به نیتروژن قابل جذب تبدیل می‌نماید. لذا با استفاده از

اثرگذار است. قیمت زئولیت‌های فرآوری شده جهت مصارف تغذیه‌ای دام‌ها فقط حدود ۱۰٪ قیمت خوراک است و این امر باعث شده که تولید کنندگان خوراک دام و طیور آن را صرفاً به عنوان یک پرکننده ارزان در جیره بکار برند. استفاده از زئولیت مناسب در جیره دام‌ها و کشاورزی علاوه بر کاهش قیمت تمام شده باعث افزایش کیفیت و کمیت محصول، سلامت و بهداشت پروتئین و ماندگاری بیشتر محصولات می‌شود. استفاده از زئولیت بعنوان یک ماده معدنی کاملاً طبیعی و ارزان قیمت، می‌تواند جایگزین بسیار مناسبی برای روش‌ها، مواد و سیستم‌های تکنولوژیک گران قیمت در تصفیه آب و فاضلاب باشد. زئولیت‌ها جایگزین شایسته‌ای برای کاتالیست‌ها و جداکننده‌های سینتیک بسیار گران در صنایع پتروشیمی و پالایشگاه‌ها هستند (۸).

توصیه‌های ترویجی

۱- زئولیت‌ها به دلیل داشتن چارچوبی محکم و قوی در شرایط سختی چون دماهای بالا، محیط‌های اسیدی و قلیایی، فعالیت میکروبی و شرایط اکسیداسیون و احیا و حتی در برابر تشعشعات یونیزه کننده پایدار می‌باشند. هیدراسیون و دهیدراسیون زئولیت‌ها (جذب آب و از دست دادن آب) تغییری در ساختمان آنها بوجود نمی‌آورد و نیز به دلیل عدم تغییر محل کاتیون‌ها در اثر دهیدراسیون، جذب مجدد آب بدون هیچ تغییر ساختمانی صورت

مورد تأثیر مثبت استفاده از زئولیت به ویژه در شرایط تنش خشکی و یا در اراضی با قابلیت ضعیف نگهداری رطوبت (خاک‌های شنی) بر افزایش عملکرد آفتابگردان (۱۷)، کلزا (۱۳) و گندم (۱۸) گزارش‌هایی ارائه شده است. اکثر این محققین علت افزایش عملکرد گیاهان در شرایط کم آبی را در حضور زئولیت به حفظ و ذخیره آب توسط زئولیت و افزایش دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی نسبت داده‌اند. همچنین در آزمایشی مصرف سه سطح زئولیت (صفر، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) و سه سطح تنش خشکی (۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) بر روی قدرت جوانه‌زنی بذور کلزا بررسی شد. در این آزمایش تفاوت سطوح مختلف زئولیت تأثیر معنی‌داری بر نسبت ریشه و اندام هوایی کلزا داشت. همچنین با مصرف زئولیت، کاهش تأثیرات نامطلوب تنش خشکی بر خصوصیات گیاهچه کلزا و افزایش وزن خشک گیاه مشاهده گردید (۱۴).

نتایج اقتصادی حاصل از استفاده از

زئولیت‌ها

سال‌های زیادی از فراگیر شدن استفاده از زئولیت‌ها در جهان بویژه کشورهای صنعتی و پیشرفته می‌گذرد، از نظر قیمت و امکان دسترسی، تهیه این کانی‌ها در ایران بسیار ارزان و میسر است. به همین دلیل استفاده از آنها علاوه بر کسب نتایج فوق‌العاده خوب زیست محیطی از نظر اقتصادی نیز بسیار

دامداری‌ها و مخلوط شدن کود مرغی و یا دامی به همراه زئولیت می‌تواند منجر به تولید ترکیب کودی جدید با خاصیت کند رها شونده گردد که می‌تواند به طور آهسته و طولانی مدت عناصر غذایی را در اختیار گیاهان قرار دهد.

۸- کاربرد زئولیت‌ها به دلیل خاصیت تبادل یونی، جذب مواد آلوده کننده و محبوس کردن آن در شبکه فضایی خود و جایگزین کردن مواد جدید می‌تواند باعث دفع میکروبی کودهای آلی و سلامت مزرعه گردد.

۹- زئولیت‌ها می‌توانند با دفع کامل آلودگی و تصفیه فاضلاب‌های شهری باعث تبدیل آب خاکستری (آب فاضلاب) به آب قابل استفاده برای گیاه شوند.

۱۰- باید توجه داشت که زئولیت‌های تشکیل شده در محیط‌های به شدت نمکی که حاوی مقادیر زیادی از یون سدیم می‌باشند، می‌توانند اثرات منفی را بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک اعمال کنند. برای مثال زئولیت‌های غنی از سدیم می‌توانند باعث افزایش شوری و pH خاک، ناپایداری خاکدانه‌ها و ساختار خاک، پراکندگی مواد کلوئیدی و آلی خاک، کاهش نفوذپذیری و عدم تعادل عناصر غذایی خاک شوند.

۱۱- در صورت مصرف بیش از حد زئولیت‌ها در خاک این امکان وجود دارد که عناصر غذایی کم مصرف سودمندی همچون استرنسیوم، منگنز، روی، مس و غیره در کانال‌ها و حفرات زئولیت محبوس شده و از دسترس

می‌پذیرد. بنابراین با یکبار مصرف زئولیت‌ها در خاک می‌توان تا چندین سال از مزایای آنها بهره جست.

۲- کاربرد زئولیت‌های طبیعی در خاک‌های شنی مؤثرتر از خاک‌های رسی می‌باشد.

۳- حداقل میزان مصرف زئولیت برای افزایش محصول در گیاهان زراعی به بافت خاک و آب قابل دسترس مزرعه بستگی دارد و در حدود پنج تن در هکتار می‌باشد.

۴- در مناطقی که با مشکل کمبود آب مواجه هستند، کاربرد زئولیت طبیعی می‌تواند تا ۱۵٪ باعث صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری گردد.

۵- در مناطقی که کودهای نیتروژنی بیش از حد کفایت گیاه مصرف می‌گردد و بارندگی در منطقه نیز فراوان می‌باشد (گیلان و مازندران)، آبتشویی نیتروژن باعث آلوده شدن آب‌های زیرزمینی می‌گردد و در این شرایط مصرف زئولیت می‌تواند باعث جلوگیری از نشت نیتروژن و مانع از آلودگی آب‌های زیرزمینی گردد.

۶- در برخی از گیاهان زراعی که حساس به ورس هستند (مانند ذرت) به دلیل نگهداری رطوبت خاک در سطح پوشش زئولیت و به دلیل جلوگیری از عمق توسعه ریشه، میزان مصرف آن باید با حساسیت بیشتری محاسبه گردد.

۷- کاربرد زئولیت در بستر مرغداری‌ها و

گیاه خارج شوند. گلخانه‌ها به ترتیب اندازه ذرات زئولیتی پودری، پودری - شنی و گرانوله بیشترین تاثیر مثبت را به همراه داشته و در صورت عدم رعایت این نکته امکان کاهش حاصلخیزی خاک وجود دارد.

۱۲- لازم است در انتخاب اندازه ذرات زئولیت مورد استفاده با توجه به بستر کشت‌های مختلف توجه کافی را مبذول داشت چرا که اثبات شده است در خاک مزارع، باغ‌ها و

منابع

- ۱- بقایی، ا. ح. ۱۳۹۵. اثر کمپوست زباله شهری و زئولیت بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیم در یک خاک لومی (مطالعه موردی: کمپوست زباله شهری اراک)، نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۶ (۱۴): ۱۰۳-۱۱۷.
- ۲- حسینی ابری، س. ع.، م.، کاوه، ا. و صالح پرهیزکار، م. ر. ۱۳۸۶. بررسی ساختار شیمیایی زئولیت‌های طبیعی و مزایای استفاده از آنها به عنوان اصلاح کننده‌های خاک کشاورزی. مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی (۶۴): ۱۱-۱۸.
- ۳- خاشعی سیوکی، ع.، کوچک زاده، م. و شهابی فر، م. ۱۳۸۷. تأثیر کاربرد زئولیت طبیعی کلینوپتیلولایت و رطوبت خاک بر اجزای عملکرد ذرت. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) ۲۲ (۲): ۲۳۵-۲۴۱.
- ۴- رنجبر چوبه، م. ۱۳۸۲. تأثیر آبیاری و مصرف زئولیت طبیعی بر عملکرد کمی و کیفی توتون کوکر ۳۴۷، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته زراعت، دانشگاه گیلان.
- ۵- غلامحسینی، م. و آقا علیخانی، م. ۱۳۸۵. کاربرد زئولیت‌ها در خاک، گامی در راستای توسعه کشاورزی پایدار. مجله کشاورزی و توسعه پایدار، شماره دوازدهم و سیزدهم، آذر و دی ماه ۱۳۸۵.
- ۶- غلامحسینی، م.، امیر قلاوند، ا.، سید علی محمد مدرس ثانوی، س.ع.م. و جمشیدی، ا. ۱۳۸۶. تأثیر کاربرد کمپوست‌های زئولیتی در اراضی شنی، بر عملکرد دانه و سایر صفات زراعی آفتابگردان. مجله علوم محیطی. ۵ (۱): ۲۳-۳۶.
- ۷- غلامحسینی، م.، آقا علیخانی، م. و ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۷. تأثیر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر عملکرد کمی و کیفی علوفه کلزای پاییزه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲ (۴۵) ب: ۵۳۷-۵۴۸.
- ۸- کاظمیان، ح. ۱۳۸۵. زئولیت‌ها، کانی‌های سحرآمیز. نشر بهشت، تهران.
- ۹- ماهرخ، ع. ۱۳۹۳. تأثیر کاربرد زئولیت طبیعی بر عملکرد چهار هیبرید ذرت دانه‌ای، اولین کنگره بین المللی و سیزدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات، کرج، ایران، صفحه ۱-۴.

- ۱۰- ماهرخ، ع. و عزیزی، ف. ۱۳۹۳. تأثیر کاربرد زئولیت طبیعی بر تحمل به تنش کم آبیاری در ذرت دانه‌ای. پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۲ (۲): ۲۹۶-۳۰۴.
- ۱۱- مدنی، ح.، فرهادی، ا. و چنگیزی، م. ۱۳۸۸. تأثیر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر خصوصیات کمی و کیفی سیب‌زمینی رقم آگریا در منطقه اراک. یافته‌های نوین کشاورزی ۳ (۴)، ۱۲: ۳۷۹-۳۹۱.
- ۱۲- نادری، م. ر.، دانش شهرکی، ع. و نادری، ر. ۱۳۹۱. نقش فناوری نانو در بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی کودهای شیمیایی، نشریه فناوری نانو، ۱۱ (۱۲): ۱۶-۲۳.
13. AghaAlikhani, M., Gholamhoseini, M., Dolatabadian, A., Khodaei-Joghan, A. and Asilan, K.S. 2011. Zeolite influences on nitrate leaching, nitrogen use efficiency, yield and yield components of canola in sandy soil. Archives of Agronomy and Soil Science. 58 (10): 1149-1169.
14. Armandpisheh, O., Irannejad, H., Allahdadi, I., Amiri, R., Ebadi, A. GH. and Koliaei, A. 2009. Application of zeolite in drought stress on vigourity of canola seed (Zarfam cultivar). J. Agric. Envir. Sci. 5 (6): 832-837.
15. Bedeleian, I. 1997. 5th International conference on the occurrence. Properties and utilization of Natural Zeolites, program and Abstract, Ischia, Naples, Italy. sep. 21, 60.
16. Gholamhoseini, M., AghaAlikhani, M., Dolatabadian, A., Khodaei-Joghan, A. and Zakikhani, H. 2012. Decreasing N leaching and increasing canola forage yield in a sandy soil by application of natural zeolite. Agronomy Journal. 104: 1467-1475.
17. 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 & Tillage Research. 126: 193-202.
18. Khodaei Joghan, A., Ghalavand, A., Aghaalikhani, M., Gholamhoseini, M. and Dolatabadian, A. 2012. How organic and chemical nitrogen fertilizers, zeolite, and combinations influence wheat yield and grain mineral content. Journal of Crop Improvement. 26: 116-129.
19. Mahrokh, A. and Zendehtdel, M. 2012. Phonological stage, plant height and grain yield of maize affected using clinoptilolite zeolite natural. 182-183, 3rd Iran International Zeolite Conference, 22-23 may, Arak, Iran.
20. Mompton, F. 1999. Laroca magica: Use of natural zeolites in agriculture and industry. Proc. Natl. Acad. Sci. USA., 96: 3463-3470.
21. Polat, E., Karaca, M., Demir, H. and Naci Onus, A. 2004. use of natural zeolite (Clinoptilolite) in agriculture, J. Fruit ornam. plant Res. Specialed 12: 183.
22. Virta, Z. I. 2002. Zeolites, U.S. Geological survey mineral Yearbook, 84: 1-5.