

تأثیر زئولیت در کاهش آبشویی نیتروژن در یک خاک شنی تحت کشت کلزای علوفه‌ای

مجید غلامحسینی، مجید آقا علیخانی^{۱*} و محمد جعفر ملکوتی

دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس و عضو باشگاه پژوهشگران جوان

دانشگاه آزاد؛ Gholamhosinitmu1541@yahoo.com

استادیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس؛ maghaalikhani@modares.ac.ir

استاد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس؛ mjmalakouti@hotmail.com

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد زئولیت طبیعی ایرانی بر کاهش آبشویی نیتروژن در اراضی سبک، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۸۵-۸۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل سطوح مختلف زئولیت (۰، ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار) و مقدار کود نیتروژن در سه سطح (۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰) کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره، بود. کلزای پائیزه رقم OKAPI در دهم مهر ماه در مزرعه کشت و برای ارزیابی محصول علوفه گیاه، کل زیست توده اندام هوایی کلزا در ابتدای مرحله غلاف‌دهی برداشت شد. میزان آبشویی نیتروژن با اندازه‌گیری غلظت یون نترات و آمونیوم موجود در زه‌آب خروجی زیر عمق توسعه ریشه کلزا و سپس ضرب آن در مقدار نفوذ عمقی آب، محاسبه گردید. نتایج نشان داد اثرات اصلی زئولیت و نیتروژن بر عملکرد کمی علوفه کلزا و مهار آبشویی نیتروژن از خاک معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$)، اما اثر متقابل آن دو بر هیچیک از صفات مورد مطالعه معنی‌دار نشد. بکارگیری زئولیت در سطوح ۶ و ۹ تن در هکتار، باعث کاهش معنی‌دار غلظت نترات (NO_3^-) در نمونه زه‌آب شد. اما سطوح مختلف زئولیت تأثیر معنی‌داری بر کاهش شستشوی آمونیوم (NH_4^+) نداشت. با افزایش کاربرد زئولیت از ۳ تن در هکتار به ۹ تن در هکتار، غلظت نیتروژن در توده گیاهی کاهش یافت. بیشترین عملکرد علوفه تر و خشک به ترتیب معادل ۷۰/۶۶ و ۱۱/۳۱ تن در هکتار از تیمار ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد. افزایش نیتروژن مصرفی از ۹۰ به ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار موجب افزایش ۱۵ و ۶ درصدی به ترتیب در غلظت نیتروژن توده گیاهی و میزان کلروفیل برگ شد. در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از زئولیت‌های طبیعی افزون بر تأثیر غیر مستقیم برای حصول عملکردهای مطلوب، مانع هدرروی نیتروژن از خاک‌های زراعی می‌گردد. انجام آزمایش‌های بیشتر در خصوص نقش احتمالی زئولیت‌ها در جلوگیری از آبشویی نترات مورد انتظار است.

واژه‌های کلیدی: زئولیت طبیعی، نیتروژن، آبشویی، کلزای علوفه‌ای

مقدمه

هدر روی کودهای شیمیایی مصرفی به ویژه از انواع نیتروژنی آن می‌باشد. بیشتر تلفات نیتروژن در اراضی شنی به صورت آبشویی نترات به اعماق است (Waddel و همکاران، ۲۰۰۰). با عنایت به حلالیت زیاد ترکیبات نیتراتی، این مواد همراه آب جریان یافته، به اعماق نیم‌رخ

تشدید اثرات مخرب زیست محیطی در کشاورزی سنتی که ناشی از مصرف بی‌رویه نهاده‌های کشاورزی از جمله کودهای شیمیایی است، روز به روز بر اهمیت توجه به کشاورزی پایدار می‌افزاید. از مهم‌ترین مشکلات سیستم‌های کشاورزی متداول،

۱- نویسنده مسئول، آدرس: تهران، جلال آل احمد، پل نصر، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت

* دریافت: ۸۶/۸/۲۶ و پذیرش: ۸۷/۱۰/۴

خاک منتقل شده و در بسیاری از موارد از دسترس گیاه خارج می‌گردند (ملکوئی و همائی، ۱۳۸۳). مقدار آبشویی نیترات در یک سیستم زراعی معمول بین ۲۵ تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار در سال گزارش شده است (Basso و Ritchie، ۲۰۰۵). عوامل متعددی بر میزان آبشویی نیترات تأثیر دارند که از آن جمله می‌توان به مقدار و پراکنش بارندگی، مقدار کود نیتروژنی مصرفی، تناوب زراعی و تیپ خاک اشاره کرد (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۳). در بین این عوامل نوع خاک نقش بسزایی در افزایش آبشویی نیترات دارد. زمین‌های شنی از جمله اراضی زراعی هستند که پتانسیل بالایی برای شستشوی نیتروژن و در نهایت آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی دارند. این اراضی در کنار اندک خصوصیات مطلوب خود مانند تهویه مناسب و عدم ماندابی، بدلیل پائین بودن ظرفیت تبادل کاتیونی، قابلیت نگهداری و تأمین مقدار ناچیزی از عناصر غذایی را دارند. کشاورزان در این گونه از زمین‌ها به منظور حصول عملکرد مناسب، ناچار از بکارگیری مقادیر بالایی از کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنه می‌باشند که سرانجام آن هدررفت نیتروژن و ورود مقادیر زیادی از نیترات به آب‌های زیرزمینی و افزایش غلظت آن از حد مجاز (۱۰ میلی‌گرم در لیتر) (USEPA¹، ۲۰۰۲) می‌باشد.

برای کاهش آبشویی نیتروژن مواد گوناگونی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از آن جمله می‌توان به کودهای کند رها و بازدارندگان نیتراتی و اوره‌از اشاره کرد (ملکوئی و سپهر، ۱۳۸۲). اگر چه این مواد دارای اثرات مثبتی در کاهش آبشویی نیتروژن هستند اما به دلیل گرانی و یا عدم فراهمی، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. از جمله مواد دیگری که به منظور جلوگیری از شستشوی نیتروژن مخصوصاً در زمین‌های شنی مورد توجه قرار گرفته‌اند، زئولیت‌ها می‌باشند (Mumpton، ۱۹۹۹). زئولیت‌ها شامل گروه وسیعی از آلومینوسیلیکات‌های هیدراته دارای یک شبکه تتراهیدرال اتم‌های اکسیژن هستند که در اطراف سیلیسیوم و آلومینیوم قرار گرفته‌اند (کاظمیان، ۱۳۸۳). بر خلاف کانی‌های معمول رسی، در زئولیت‌ها چارچوب ساختمانی به اندازه کافی باز است و این ویژگی باعث بوجود آوردن خواص منحصر به فرد زئولیت‌ها شده است. مولکول‌های آب و همچنین کاتیون‌ها به راحتی می‌توانند در داخل شبکه حرکت کرده بدون اینکه ساختار شبکه دچار تغییر شود. همچنین بار منفی موجود در ساختمان زئولیت‌ها ناشی از حضور آلومینیوم باعث ایجاد پدیده تبادل کاتیونی با سایر کاتیون‌های موجود در محیط می‌شود (Shaw و Andrews،

۲۰۰۱). زئولیت‌ها به عنوان موادی کاملاً طبیعی با توجه به ویژگی‌های منحصر به فردشان مانند قابلیت تبادل کاتیونی بالا (حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌اکی‌والان در صد گرم) و همچنین قابلیت جذب انتخابی کاتیون‌های مفید مانند آمونیوم (NH_4^+) و آزادسازی کنترل شده آنها (Dwairi، ۱۹۹۸)، می‌توانند اثرگذاری کودهای شیمیایی را بیشتر کرده و ضمن افزایش کارایی کودها، باعث مصرف بهینه کودهای شیمیایی نیز شوند. با توجه به این ویژگی‌ها و فراوانی زئولیت‌های طبیعی در کشور (Kazemian، ۲۰۰۰)، استخراج آسان و در نهایت قیمت اقتصادی مناسب، کاربرد این مواد در سطوح مختلف تولیدات کشاورزی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

کلزا (*Brassica napus L.*) از جمله دانه‌های روغنی است که به دلیل سازگاری‌های اکولوژیک با شرایط کشاورزی کشور موضوعات تحقیقات متنوعی در زمینه به-زراعی و به‌نژادی را به خود اختصاص داده است. کمبود علوفه در ابتدای فصل بهار از یکسو و خصوصیات مطلوب علوفه کلزا از جمله درصد پروتئین خام مناسب (Amin و همکاران، ۲۰۰۲)، خوشخوراکی بالا (رضاپور، ۱۳۷۸) و در نهایت پتانسیل تولید علوفه سبز و خشک بالا (آقاعلیخانی، ۱۳۸۲) باعث شده از این گیاه به عنوان علوفه آینده (رضاپور، ۱۳۷۸) یاد شود. از عوامل تأثیرگذار بر تولید علوفه کلزا، نیاز نیتروژنی این گیاه می‌باشد. کلزای پائیزه یک مصرف کننده قوی نیتروژن بوده و نیتروژن قابل دسترس مهم‌ترین عامل محدود کننده عملکرد دانه و علوفه آن در بسیاری از سیستم‌های کشاورزی دنیا می‌باشد (Rathke و همکاران، ۲۰۰۶). با توجه به پائین بودن کارایی مصرف نیتروژن در گیاه کلزا و از طرفی زمان کشت آن در پائیز که احتمال افزایش آبشویی نیتروژن ناشی از وقوع بارندگی‌های شدید وجود دارد، زراعت کلزا به عنوان دریافت کننده نیتروژن اضافی شناخته می‌شود (Dreccer و همکاران، ۲۰۰۰). مصرف کود نیتروژنه اضافه، افزون بر افزایش تجمع گلوکوزینولات در توده گیاهی (Evans و همکاران، ۱۹۹۰) که باعث کاهش خوشخوراکی علوفه کلزا برای دام می‌شود، منجر به افزایش تلفات آبشویی نیترات و نهایتاً آلودگی محیط زیست خصوصاً در اراضی شنی می‌گردد.

هدف از انجام این آزمایش بررسی تأثیر کاربرد مقادیر مختلف زئولیت طبیعی ایرانی و نیتروژن بر آبشویی نیتروژن از خاک و عملکرد علوفه کلزا در یک خاک دارای بافت سبک می‌باشد.

خاک منتقل شده و در بسیاری از موارد از دسترس گیاه خارج می‌گردند (ملکوئی و همائی، ۱۳۸۳). مقدار آبشویی نیترات در یک سیستم زراعی معمول بین ۲۵ تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار در سال گزارش شده است (Basso و Ritchie، ۲۰۰۵). عوامل متعددی بر میزان آبشویی نیترات تأثیر دارند که از آن جمله می‌توان به مقدار و پراکنش بارندگی، مقدار کود نیتروژنی مصرفی، تناوب زراعی و تیپ خاک اشاره کرد (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۳). در بین این عوامل نوع خاک نقش بسزایی در افزایش آبشویی نیترات دارد. زمین‌های شنی از جمله اراضی زراعی هستند که پتانسیل بالایی برای شستشوی نیتروژن و در نهایت آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی دارند. این اراضی در کنار اندک خصوصیات مطلوب خود مانند تهویه مناسب و عدم ماندابی، بدلیل پائین بودن ظرفیت تبادل کاتیونی، قابلیت نگهداری و تأمین مقدار ناچیزی از عناصر غذایی را دارند. کشاورزان در این گونه از زمین‌ها به منظور حصول عملکرد مناسب، ناچار از بکارگیری مقادیر بالایی از کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنه می‌باشند که سرانجام آن هدررفت نیتروژن و ورود مقادیر زیادی از نیترات به آب‌های زیرزمینی و افزایش غلظت آن از حد مجاز (۱۰ میلی‌گرم در لیتر) (USEPA¹، ۲۰۰۲) می‌باشد.

برای کاهش آبشویی نیتروژن مواد گوناگونی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از آن جمله می‌توان به کودهای کند رها و بازدارندگان نیتراتی و اوره‌از اشاره کرد (ملکوئی و سپهر، ۱۳۸۲). اگر چه این مواد دارای اثرات مثبتی در کاهش آبشویی نیتروژن هستند اما به دلیل گرانی و یا عدم فراهمی، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. از جمله مواد دیگری که به منظور جلوگیری از شستشوی نیتروژن مخصوصاً در زمین‌های شنی مورد توجه قرار گرفته‌اند، زئولیت‌ها می‌باشند (Mumpton، ۱۹۹۹). زئولیت‌ها شامل گروه وسیعی از آلومینوسیلیکات‌های هیدراته دارای یک شبکه تتراهیدرال اتم‌های اکسیژن هستند که در اطراف سیلیسیوم و آلومینیوم قرار گرفته‌اند (کاظمیان، ۱۳۸۳). بر خلاف کانی‌های معمول رسی، در زئولیت‌ها چارچوب ساختمانی به اندازه کافی باز است و این ویژگی باعث بوجود آوردن خواص منحصر به فرد زئولیت‌ها شده است. مولکول‌های آب و همچنین کاتیون‌ها به راحتی می‌توانند در داخل شبکه حرکت کرده بدون اینکه ساختار شبکه دچار تغییر شود. همچنین بار منفی موجود در ساختمان زئولیت‌ها ناشی از حضور آلومینیوم باعث ایجاد پدیده تبادل کاتیونی با سایر کاتیون‌های موجود در محیط می‌شود (Shaw و Andrews،

مواد و روش‌ها

موقعیت اجرای آزمایش

آزمایش در سال ۸۶-۱۳۸۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، واقع در کیلومتر ۱۶ اتوبان تهران-کرج به اجرا درآمد. ارتفاع محل آزمایش از سطح دریا ۱۳۵۲ متر، طول و عرض جغرافیائی آن به ترتیب $51/10^{\circ}$ شرقی و $35/44^{\circ}$ شمالی است. متوسط بارندگی از شروع آزمایش تا انتهای فصل ۲۶۳ میلی‌متر بود که نسبت به میانگین‌های چند سال گذشته اندکی افزایش پیدا کرده بود. قبل از اجرای آزمایش به منظور آگاهی از وضعیت خاک مزرعه، نمونه‌ای مرکب از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد و مورد تجزیه فیزیکی و شیمیائی قرار گرفت (جدول ۱).

طراحی آزمایش

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. ترکیب سطوح مختلف زئولیت شامل ۰، ۳، ۶ و ۹ تن در هکتار (آنالیز شیمیائی زئولیت مورد استفاده در جدول ۲ آمده است همچنین زئولیت مصرفی قبل از مخلوط کردن با خاک از الک ۴ میلی‌متر عبور داده شد) و نیتروژن خالص به مقدار ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم بر هکتار از منبع اوره، تیمارهای دوازده گانه آزمایش را تشکیل دادند.

عملیات زراعی

پس از اجرای عملیات شخم و دیسک در زمین محل اجرای آزمایش، تیمارها به صورت تصادفی پیاده شدند. تمام زئولیت و یک‌سوم نیتروژن هر تیمار، به طور یکنواخت در سطح خاک پاشیده شد بعد بوسیله دیسک و فاروئر با خاک مخلوط گردید. همچنین در این مرحله به منظور کنترل علف‌های هرز، مزرعه با علفکش ترفلان تیمار شد. سپس کرت‌هائی با ۱۰ خط کاشت به طول ۴ متر به فاصله ۳۰ سانتی‌متر از هم ایجاد شد. بذور کلزا رقم (OKAPI) در تاریخ دهم مهر ماه سال ۸۵ به صورت متراکم کاشته شد. در دو مرحله شامل ۳ و ۵ برگی گیاهان به فاصله ۴ سانتی‌متر از هم تنک شدند تا تراکم ۸۳ بوته در مترمربع حاصل شود (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۳). برای آبیاری واحدهای آزمایشی از لوله‌های پلی‌اتیلن همراه با یک کنتور حجمی استفاده شد. برای جلوگیری از ایجاد روان آب، سیکل آبیاری هر کرت به صورت بسته و مجزا از کرت مجاور اجرا گردید. دو قسمت باقیمانده از کود نیتروژنی به صورت مساوی به ترتیب در ابتدای مراحل ساقه‌دهی (خروج از روزت) و گلدهی به کار برده شد. با توجه به کافی بودن مقادیر پتاسیم، فسفر و سایر عناصر کم مصرف قابل دسترس خاک (جدول ۱) هیچگونه کود

دیگری مصرف نشد. برای جلوگیری از وارد شدن تنش رطوبتی به گیاه، و همچنین مصرف بی‌رویه آب که هر دو عامل باعث افزایش اشتباه آزمایشی می‌شدند در یک کرت از هر تکرار، لوله‌های دستگاه T.D.R¹ مدل Trime-FM در عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک (عمق توسعه ریشه) نصب شد. عمق ۰ تا ۵۰ سانتی‌متری به عنوان عمق توسعه ریشه نیز بر اساس تحقیقات Kjellstrom (۱۹۹۱) که گزارش کرد بیشترین ماده خشک و تعداد انشعابات ریشه کلزا در عمق ۰ تا ۵۰ سانتی‌متری خاک مشاهده می‌شود و همچنین با در نظر داشتن عمق اندک خاک زراعی در محل اجرای آزمایش، انتخاب گردید. آبیاری مزرعه پس از مصرف ۵۰٪ رطوبت قابل استفاده (M.A.D.² برابر ۰/۵) که با دستگاه T.D.R. کنترل می‌گردید، انجام شد. در اواسط رشد گیاه برای جلوگیری از خسارت شته، از سم دیازینون استفاده شد. حدود ۱۷۰ روز بعد از کاشت مصادف با ابتدای مرحله غلاف‌دهی (قانع، ۱۳۸۳)، با رعایت حاشیه سطحی معادل ۴ مترمربع از هر کرت برای تعیین عملکرد علوفه برداشت گردید. علوفه برداشت شده بلافاصله توزین و وزن تر کل بدست آمد. سپس نمونه‌ها سه روز در هوای آزاد قرار گرفت تا وزن خشک طبیعی آن حاصل شود. همچنین قبل از برداشت علوفه، میزان کلروفیل برگ به صورت غیر تخریبی و بوسیله دستگاه Chlorophyll Meter spad-502 اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب که از قسمت مرکزی هر کرت ۵ بوته به تصادف انتخاب و میزان کلروفیل در جوان‌ترین برگ بالغ شاخه اصلی اندازه‌گیری شد. از گیاهان برداشت شده هر کرت ۸ بوته به تصادف انتخاب و در آن ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد، بعد نمونه‌ها آسیاب و به روش هضم در لوله‌های مخصوص با اسید سولفوریک، اسد سالیسیلیک، آب اکسیژنه و سلنیم (امامی، ۱۳۷۵) هضم گردید و بوسیله روش تیتراسیون بعد از تقطیر با استفاده از دستگاه Kjeltec Auto 1030 Analyzer, Tecator نیتروژن کل نمونه‌های گیاهی اندازه‌گیری شد.

- اندازه‌گیری آبشویی نیتروژن

برای اندازه‌گیری نترات و آمونیوم، شسته شده به صورت کیلوگرم در هکتار، تعیین دو عامل الزامی می‌باشد. (۱) غلظت نترات و آمونیوم در نمونه زه‌آب در عمق پائین تر از توسعه ریشه و (۲) میزان نفوذ عمقی آب (Pathak و همکاران، ۲۰۰۴). در این آزمایش برای تهیه نمونه زه‌آب از زیر منطقه توسعه ریشه، از دستگاه Soil Water Sampler (S.W.S.) (Model 1900, Soil Moisture

1- Time-Domain Reflectometry

2- Management Allowed Depletion

مشخص نموده، دقت مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده با رابطه فائو- پنمن - مانیتث در مقایسه با مقادیر لایسیمتری، همبستگی نزدیکی دارد (Allen, ۱۹۹۶؛ Allen و همکاران، ۱۹۹۸)؛ Humphreys؛ Allen و همکاران، ۲۰۰۳) لذا برای تعیین ET_0 از این رابطه و داده‌های هواشناسی ایستگاه چینگر وابسته به سازمان هواشناسی کشور (در فاصله کمتر از ۵۰۰ متر از محل انجام آزمایش) استفاده شد. مقادیر K_C نیز از نشریه FAO-56 (Allen و همکاران، ۱۹۹۸) برای گیاه کلزا بدست آمد. با توجه به سیکل بسته آبیاری هر کرت مقدار R در رابطه (۱) صفر فرض شد. بعد از تعیین غلظت نترات و آمونیوم در نمونه زه‌آب و تعیین میزان نفوذ عمقی، از حاصل ضرب این دو عامل مقدار کیلوگرم نترات و آمونیوم شسته شده در هکتار تعیین شد.

آنالیز داده‌ها

برای مرتب‌سازی داده‌ها و برخی محاسبات از صفحات گسترده در برنامه Excel و برای تجزیه آماری داده‌ها نرم افزار SAS استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه

با توجه به این نکته که علوفه حاصل از کشت کلزا قابلیت مصرف به صورت تازه، سیلو شده و حتی علوفه خشک را دارد (قانع، ۱۳۸۳) از این رو علاوه بر ذکر نتایج مربوط به عملکرد علوفه بر مبنای وزن خشک که متداول‌ترین شیوه ارزیابی علوفه و منعکس کننده تغییرات مواد غذایی است، گزارش نتایج بر مبنای وزن تر علوفه نیز درخور اهمیت می‌باشد. بر اساس تجزیه و اریانس داده‌ها، اثر سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد علوفه تر و خشک معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد علوفه تر (۷۰/۶۶ تن در هکتار) از تیمار بکارگیری ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (N_3) و کمترین آن (۵۰/۱۲ تن در هکتار) از تیمار بکارگیری ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (N_1) حاصل شد (جدول ۴). با افزایش نیتروژن مصرفی، عملکرد علوفه خشک افزایش یافت، به طوری که افزایش نیتروژن مصرفی از ۹۰ به ۱۸۰ و از ۱۸۰ به ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب ۳۰ و ۱۶ درصد افزایش وزن خشک علوفه را به همراه داشت (جدول ۴). همچنین بیشترین مقدار عملکرد علوفه خشک از ترکیب بالاترین سطح نیتروژن و زئولیت مصرفی (Z_3N_3) به مقدار ۱۲/۶۱ تن در هکتار بدست آمد که در مقابل مصرف ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدون مصرف زئولیت (Z_0N_3) افزایشی ۳۳ درصدی را نشان داد (نمودار ۱). به نظر می‌رسد با

(Equipment Co.) استفاده شد (شکل ۱). بدین منظور در قسمت مرکزی کرت‌ها، بوسیله اوگر دستی حفره‌ای به قطر ۵ سانتی‌متر و عمق ۶۵ سانتی‌متر ایجاد شد. سپس خاک بیرون آورده شده، الک گردید و مقداری از آن با آب مخلوط شد تا حالت خمیری پیدا کند، که از آن برای ارتباط بهتر قسمت سرامیکی لوله با خاک، در انتهای حفره استفاده شد. سپس فضای مابین لوله دستگاه و حفره با مابقی خاک پر شد. از آنجائی که نفوذ عمقی آب و به همراه آن آبشویی نیتروژن از خاک هنگامی اتفاق می‌افتد که رطوبت در یک عمق معین خاک، بیش از ظرفیت زراعی باشد (Hermanson و همکاران، ۱۹۹۸) در هر زمان از اجرای آزمایش که رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه (۰ تا ۵۰ سانتیمتری) بیش از ظرفیت زراعی قرار داشت، بوسیله پمپ مکش دستی (Soil Model 2005G2, Moisture Equipment Co.) مکشی به میزان ۳۰ سانتی‌بار که فقط قابلیت جمع‌آوری رطوبت ثقلی را دارد، به لوله‌های دستگاه S.W.S. اعمال گردید. سپس بعد از رسیدن رطوبت خاک به کمتر از ظرفیت زراعی (کنترل رطوبت خاک برای تعیین زمان مکش به وسیله دستگاه T.D.R. انجام شد)، زه‌آب جمع شده از لوله S.W.S.، خارج و در ظروف پلاستیکی ریخته شد (شکل ۲). به منظور جلوگیری از تغییر در ترکیب شیمیائی نمونه‌ها از اسید سولفوریک غلیظ به میزان اسی‌سی در لیتر استفاده شد. نمونه‌ها تا زمان تجزیه شیمیائی در دمای زیر ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در هر مرحله نمونه‌ها به روش Cadmium Reduction Method 8039 (Hach Co.) برای اندازه‌گیری نترات و Salicylate Method (Hach Co.) برای اندازه‌گیری آمونیوم، بوسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Model dr/2500, Hach Co.) تجزیه شدند. برای اندازه‌گیری نفوذ عمقی از رابطه ۱ استفاده شد (Pathak و همکاران، ۲۰۰۴).

$$DPR = I + P - ET - R \quad (1)$$

در این فرمول، DPR نفوذ عمقی آب به میلی‌متر، I آبیاری به میلی‌متر، P بارندگی به میلی‌متر، ET تبخیر و تعرق مزرعه به میلی‌متر و R روان آب به میلی‌متر. در مجموع ۴۹۰ مترمکعب برابر ۳۵۰ میلی‌متر آب، در مزرعه آزمایشی به مساحت ۱۴۰۰ مترمربع به صورت آبیاری در این آزمایش مصرف شد، کل بارندگی نازل شده در مدت زمان اجرای آزمایش ۲۶۳ میلی‌متر بود. برای تعیین تبخیر و تعرق از رابطه (۲) استفاده شد (Allen و همکاران، ۱۹۹۸):

$$ET_{CROP} = ET_0 \times K_C \quad (2)$$

در این رابطه، ET_{CROP} تبخیر و تعرق گیاه، ET_0 تبخیر و تعرق پتانسیل و K_C ضریب گیاهی می‌باشند. با توجه به تحقیقات انجام گرفته در نقاط مختلف جهان که

مصرفی، تجمع بیشتری از نیترات در خاک حاصل می‌شود که با توجه به بار منفی این ترکیب (NO_3^-) و عدم نگهداری آن توسط ذرات خاک، یون نیترات همراه با آب به لایه‌های پائین‌تر خاک حرکت و از منطقه توسعه ریشه خارج می‌شود که در نهایت باعث افزایش غلظت آن در نمونه زه‌آب می‌گردد. در صورتی که این روند در مورد یون آمونیوم (NH_4^+) مشاهده نشد به طوری که اولاً سطوح مختلف نیتروژن از نظر غلظت آمونیوم در نمونه زه‌آب تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۴) و ثانیاً به طور متوسط غلظت آمونیوم در زه‌آب ۹۶ درصد کمتر از غلظت نیترات بود. در مورد غلظت نیترات و آمونیوم در زه‌آب تحقیقات مختلفی صورت گرفته و در عمده این پژوهش‌ها غلظت نیترات در نمونه زه‌آب بسیار بیشتر از آمونیوم بوده است (Gupta و همکاران، ۲۰۰۴). بار مثبت یون آمونیوم و عدم پایداری طولانی مدت آن در خاک که ناشی از تبدیل آمونیوم به نیترات در اثر فعالیت میکروارگانیسم‌ها می‌باشد، مهمترین دلایل برای پائین بودن غلظت آمونیوم در زه‌آب می‌باشد.

بین مقادیر مختلف زئولیت از نظر غلظت نیترات در نمونه زه‌آب تفاوت معنی‌داری مشاهده شد ($p \leq 0.05$) (جدول ۳). بیشترین غلظت نیترات از تیمارهای بدون مصرف زئولیت (Z_0) و کاربرد ۳ تن در هکتار زئولیت (Z_1) به ترتیب به مقدار ۱۲/۲۳ و ۱۲/۳۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین آن از تیمار کاربرد ۹ تن در هکتار زئولیت (Z_3) به مقدار ۷/۸۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد (جدول ۴). کاهش ۲۶ درصدی غلظت نیترات در نمونه زه‌آب در تیمار (Z_3) در مقایسه با (Z_0) ناشی از ویژگی‌های مثبت زئولیت مصرفی از قبیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، قدرت جذب آمونیوم و آزادسازی کنترل شده آن می‌باشد. با توجه به قابلیت تبادل کاتیونی زئولیت و از طرفی جاذب انتخابی بودن این ماده برای یون آمونیوم (Polat و همکاران، ۲۰۰۴) هنگامی که در اثر مصرف کود، یون (NH_4^+) در خاک افزایش می‌یابد، توسط زئولیت جذب شده و لذا از دسترس مستقیم آنزیم‌های تولیدکننده نیترات خارج می‌شود، در حالی که در تیمارهای بدون زئولیت افزایش فراهمی یون آمونیوم، در اثر فعالیت آنزیم آورده‌آز تولید مقدار قابل توجهی از نیترات کرده که با توجه به بار منفی آن توسط ذرات خاک جذب نشده و در اثر آبیاری و یا بارندگی به طبقات پائین‌تر پروفیل خاک حرکت کرده و در نهایت غلظت آن در نمونه زه‌آب افزایش پیدا می‌کند. در مقابل بین سطوح مختلف زئولیت مصرفی از نظر غلظت آمونیوم در نمونه زه‌آب تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳)، با توجه به پائین بودن قابلیت تحرک یون

افزایش نیتروژن مصرفی، آسمیلاسیون آمونیاک باعث افزایش رشد برگ و سپس افزایش شاخص سطح برگ می‌شود. افزایش شاخص سطح برگ با افزایش فتوسنتز خالص مرتبط است (Anonymous, ۲۰۰۴) که در نهایت باعث افزایش وزن خشک گیاه می‌شود. اساساً بین تأمین نیتروژن و افزایش تولید ماده خشک گیاهی رابطه نزدیکی وجود دارد (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۶). نتایج تحقیقات Asar و Scarisbrich (۱۹۹۵) نیز موید این نکته می‌باشد که با افزایش فراهمی نیتروژن، عملکرد ماده خشک کلزا افزایش می‌یابد.

تأثیر سطوح مختلف زئولیت بر عملکرد علوفه (تر و خشک) معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین وزن تر (۶۶/۳۴ تن در هکتار) و خشک (۱۱/۲۱ تن در هکتار) از تیمار بکارگیری ۹ تن در هکتار زئولیت (Z_3) و کمترین وزن تر (۴۶/۸۱ تن در هکتار) و خشک (۸/۰۲ تن در هکتار) از تیمار بدون مصرف زئولیت (Z_0) حاصل شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد با توجه به افزایش کارایی کودها ناشی از کاربرد زئولیت (Polat و همکاران، ۲۰۰۴) عملکرد در تیمارهای حاوی سطوح بالای زئولیت (Z_2, Z_3) افزایش یافته است. با توجه به قابلیت تبادل کاتیونی زئولیت به کار رفته (جدول ۲) از طرفی پائین بودن این ویژگی در خاک مزرعه (جدول ۱) احتمالاً کاربرد زئولیت توانسته فراهمی بیشتری از عناصر غذایی در طول دوره رشد گیاه فراهم کند. تحقیقات Polat و همکاران (۲۰۰۴) و Supapron و Ptayakon (۱۹۹۹) نشان داد ترکیب زئولیت‌های طبیعی با کودهای شیمیایی می‌تواند بوسیله افزایش قابلیت نگهداری عناصر، در طولانی مدت کیفیت خاک را بهبود بخشیده، افزون بر فراهمی عناصری مانند نیتروژن و پتاسیم در نگهداری و در اختیار گذاشتن کاتیون‌هایی مانند کلسیم، منیزیم و عناصر کم مصرف موثر باشد. افزایش عملکرد گیاهان مختلف مانند گندم، جو، سیب‌زمینی و غیره در اثر کاربرد زئولیت‌ها گزارش شده است (Mumpton, ۱۹۹۹; Rehakova و همکاران، ۲۰۰۴)

آبشویی نیتروژن

غلظت نیترات و آمونیوم در نمونه زه‌آب

مقدار کود نیتروژن مصرفی تأثیر معنی‌داری بر غلظت نیترات در نمونه زه‌آب ایجاد کرد، اما این اثر در مورد غلظت آمونیوم معنی‌دار نبود (جدول ۳). با افزایش نیتروژن مصرفی، غلظت نیترات در نمونه زه‌آب افزایش یافت. به طوری که در تیمارهای کاربرد ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، غلظت نیترات از حد استاندارد آن، ۱۰ میلی‌گرم در لیتر (USEPA, ۲۰۰۲) بیشتر شد که عامل بسیار نامطلوبی می‌باشد. با افزایش نیتروژن

کاربرد ۳ تن در هکتار زئولیت (Z_1) به مقدار ۳۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۴). کاهش ۳۷/۵ درصدی نیترات شسته شده در تیمار (Z_3) در مقایسه با تیمار (Z_0) اثرات مثبت بکارگیری زئولیت را نشان می‌دهد. مقایسه بین ترکیبات تیماری نشان داد بکارگیری ۹ تن زئولیت همراه با ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (Z_3N_3) در مقایسه با مصرف ۶ تن زئولیت + ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (Z_2N_3)، مصرف ۳ تن زئولیت + ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (Z_1N_3) و مصرف ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بدون زئولیت (Z_0N_3) به ترتیب موجب کاهش ۲۷، ۴۳ و ۴۴ درصدی نیترات شسته شده از محیط ریشه شد (نمودار ۲). در اثر مصرف زئولیت در خاک، آبشویی نیتروژن کاهش یافته و موجب فراهمی طولانی مدت نیتروژن در خاک می‌گردد (Polat و همکاران، ۲۰۰۴). زئولیت با جذب یون آمونیوم، مانع تبدیل سریع آن به نیترات و در نتیجه باعث کاهش هدر روی نیتروژن می‌شود که این اثر در زمین‌های شنی به دلیل پائین بودن ظرفیت تبادل کاتیونی، بارزتر می‌باشد. کاهش آبشویی نیتروژن در اثر کاربرد زئولیت‌های طبیعی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Perrin و Hang، ۱۹۹۴؛ Petrovic، ۱۹۹۸) و همکاران، ۱۹۹۸).

غلظت نیتروژن در توده گیاهی و میزان کلروفیل برگ

افزایش نیتروژن مصرفی تا ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار، غلظت نیتروژن در زیست توده کلزا را به طور معنی‌داری افزایش داد ($p \leq 0.05$)، اما مقادیر بیشتر نیتروژن هر چند غلظت نیتروژن در گیاه را افزایش داد ولی تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد. غلظت نیتروژن در گیاه به عوامل متعددی بستگی دارد، مشخص شده هرچه نیتروژن خاک بیشتر باشد مقدار نیتروژن گیاه تا حد مشخصی افزایش می‌یابد (ملکوتی و همائی، ۱۳۸۳). بین مقادیر مختلف نیتروژن از نظر میزان کلروفیل برگ تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). این صفت نیز روندی مشابه با غلظت نیتروژن گیاه را ارائه نمود (جدول ۴). تیمارهای کاربرد ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (N_2) و (N_3) در گروه آماری برتر و تیمار کاربرد ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (N_1) در گروه آماری پائین‌تر قرار داشت. به تبعیت از این نکته که میزان کلروفیل برگ به صورت تنگاتنگی با فراهمی نیتروژن در ارتباط است (Yang و همکاران، ۲۰۰۳) در تیمارهای (N_2) و (N_3) با توجه به افزایش نیتروژن خاک و بالتبع افزایش جذب توسط گیاه، میزان کلروفیل برگ افزایش پیدا کرده است. تأثیر مقادیر مختلف زئولیت بر غلظت نیتروژن و میزان کلروفیل برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش

آمونیوم در مقایسه با یون نیترات (Shukla و همکاران، ۲۰۰۶) و همچنین تبدیل سریع آمونیوم به نیترات طی فرایند نیتریفیکاسیون (نیترات سازی)، مدت زمانی که یون آمونیوم در خاک حضور دارد کوتاه است و بنابراین پتانسیل بالائی برای شستشوی این یون وجود ندارد. هر چند نتایج تحقیقات Bigelow و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد، حضور زئولیت کلینوپتیلولیت در نمونه‌های خاک استریل شده و حاوی ۱۰۰ درصد شن، موجب کاهش غلظت آمونیوم در نمونه زه‌آب می‌گردد که با نتایج بدست آمده در این آزمایش مغایرت داشت. عدم وجود میکروارگانسیم‌های نیتریفیکاسیون کننده در خاک‌های استریل شده، مهمترین دلیل برای تفاوت در نتایج بدست آمده بود.

نیترات و آمونیوم شسته شده از خاک

تأثیر مقدار نیتروژن بر مقدار نیترات شسته شده از خاک بسیار معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$) (جدول ۳). حداکثر نیترات شسته شده به مقدار ۴۰ کیلوگرم در هکتار از تیمار کاربرد ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (N_3) و حداقل آن به مقدار ۱۷ کیلوگرم در هکتار از تیمار کاربرد ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (N_1) حاصل گردید. به این ترتیب با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی به علت افزایش ترکیبات نیتروژن‌دار خاک، مقدار نیترات شسته شده از خاک افزایش می‌یابد، یافته‌های Vinten و همکاران (۱۹۹۴) موید این بخش از نتایج می‌باشد. نیترات شسته شده از تیمار (N_3)، ۴۷/۵٪ بیشتر از تیمار (N_1) بود، در حالی که عملکرد وزن خشک این تیمار فقط ۲۳ درصد از تیمار (N_1) بالاتر بود. با توجه به این نکته که نیترات قسمت زیادی از نیتروژن کل شسته شده از خاک را تشکیل می‌دهد (Gupta و همکاران، ۲۰۰۴) اگر این ماده را نماینده نیتروژن شسته شده در نظر بگیریم، مشخص می‌شود کاربرد کود نیتروژنه بیشتر به ویژه در اراضی با بافت سبک به منظور حصول عملکرد بیشتر چندان منطقی نباشد. بین تیمارهای کودی از نظر آمونیوم شسته شده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). در تمامی تیمارها مقدار آمونیوم شسته شده کمتر از ۱ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴). ناچیز بودن غلظت آمونیوم در نمونه زه‌آب منجر به کاهش میزان آمونیوم شسته شده در هکتار شد.

تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای زئولیتی از نظر نیترات شسته شده مشاهده شد، اما آمونیوم شسته شده از خاک تحت تأثیر مقدار زئولیت بکار رفته قرار نگرفت (جدول ۳). حداقل نیترات شسته شده از تیمار کاربرد ۹ تن در هکتار زئولیت (Z_3) به مقدار ۲۰ کیلوگرم در هکتار و بیشترین آن در تیمارهای بدون مصرف زئولیت (Z_0) و

زیرزمینی شد. بکارگیری ۶ تا ۹ تن زئولیت در هکتار همراه با سطوح مختلف نیتروژن، علاوه بر تولید عملکرد علوفه بالاتر ناشی از تأثیر غیر مستقیم این ماده طبیعی از طریق افزایش حفظ و نگهداری برخی عناصر غذایی در محیط ریشه، مانع از افزایش غلظت نیترات در نمونه‌های زه‌آب شد. هر چند با بکاربردن زئولیت از غلظت نیتروژن در توده گیاهی کاسته شد اما این کاهش باعث افت عملکرد نگردید. در مجموع با توجه به فراهمی منابع طبیعی زئولیت در کشور و همچنین کیفیت مناسب این ماده از نظر درصد پتاسیم بالا و سدیم اندک، می‌توان به کاربرد این ماده طبیعی مخصوصاً در اراضی شنی امیدوار بود، هر چند تحقیقات جامع بیشتری به منظور بررسی تأثیرات این ماده لازم است.

زئولیت مصرفی، درصد نیتروژن توده گیاهی کاهش یافت، به طوری که تیمار کاربرد ۹ تن در هکتار زئولیت (Z_3) کاهش ۱۷ درصدی را در غلظت نیتروژن توده گیاهی نسبت به تیمار بدون مصرف زئولیت (Z_0) نشان داد (جدول ۴). با توجه به این نکته که آخرین قسمت از نیتروژن مصرفی، حدود یک ماه قبل از برداشت مصرف گردید، به نظر می‌رسد در تیمار بدون مصرف زئولیت (Z_0) فراهمی قابل توجهی از نیتروژن در خاک حاصل شده و گیاه نیز مقدار زیادی نیتروژن جذب نموده است. در حالی که در تیمارهای حاوی زئولیت و به طور مشخص کاربرد ۹ تن در هکتار زئولیت (Z_3)، مقداری از نیتروژن توسط زئولیت جذب و از دسترس گیاه موقتاً خارج شده است، لذا درصد نیتروژن گیاه در این تیمار کاهش پیدا کرده است. احتمالاً بکارگیری موادی با خصوصیات زئولیت، یک آزاد سازی کند و کنترل شده از نیتروژن را باعث می‌شود. هر چند این ویژگی باعث کاهش درصد نیتروژن توده گیاهی می‌شود ولی از طرفی مانع از هدر رفت نیتروژن نیز می‌گردد. نتایج تحقیقات Rehakova و همکاران (۲۰۰۴) نیز مشخص کرد در اثر ترکیب کود شیمیائی نیتروژنه با زئولیت، غلظت نیتروژن در توده گیاهی جو کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نشان داد. به نظر می‌رسد علت اصلی این امر جذب نیتروژن در هنگام فراهمی این ماده غذایی توسط زئولیت و سپس آزادسازی کند آن در طول دوره رشد گیاه باشد، هر چند که این آزادسازی کنترل شده نباید به حدی آهسته گردد که تأثیر نامطلوب در اثر کمبود ماده غذایی برای گیاه ایجاد شود. همچنین روند مشابهی در میزان کلروفیل برگ مشاهده شد، به نظر می‌رسد با توجه به تأثیر مستقیم نیتروژن در تولید کلروفیل (ملکوتی و همائی، ۱۳۸۳) کاهش میزان نیتروژن توده گیاهی در اثر مصرف زئولیت باعث کاهش میزان کلروفیل برگ نیز شده است. اما این کاهش میزان کلروفیل در تیمارهای حاوی زئولیت باعث کاهش عملکرد در این تیمارها نشده است (جدول ۴). بنابراین استنباط می‌شود افزایش بی‌رویه غلظت نیتروژن در توده گیاهی و در ادامه افزایش میزان کلروفیل برگ نتواند تولید عملکرد بیشتر را تضمین کند. همان طور که در تیمار بدون مصرف زئولیت (Z_0) علاوه بر بالا بودن غلظت نیتروژن، میزان کلروفیل نیز در مقایسه با سایر تیمارها بیشتر می‌باشد اما عملکرد نهائی این تیمار نسبت به سایر تیمارها پائین‌تر می‌باشد.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد، می‌توان با بکارگیری زئولیت در ترکیب با کود شیمیائی نیتروژن‌دار، از هدر رفت این ماده غذایی جلوگیری کرده و مانع آلودگی منابع آبی

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق cm	شن	لای درصد	رس	بافت	قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)
درصد حجمی	درصد حجمی	درصد رطوبت	ظرفیت تبادل کاتیونی (meq/100gr)	واکنش گل	درصد مواد
رطوبت در	رطوبت در	قابل دسترس		اشباع	آلی
F.C*	C.E.W**	A.W***			
۲۱	۹	۱۲	۶/۴	۷/۷	۰/۸
درصد نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	آهن قابل جذب (mg/kg)	روی قابل جذب	مس قابل جذب
۰/۰۹	۱۵	۳۸۰	۷/۶	۱	۰/۷

*F.C. = Field Capacity, **C.E.W. = Crop Extractable Water, ***A.W. = Available Water

جدول ۲- درصد ترکیبات شیمیایی موجود در زئولیت مورد استفاده (از نوع کلینوپتیلولیت و از معادن شهر میانه)

CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂
۲/۳	۰/۱	۱/۱	۳/۰	۱۲/۰۰	۶۵/۰
C E C ¹ (meq/100gr)	SO ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃
۲۰۰	-	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۱/۵

جدول ۳- آنالیز واریانس صفات اندازه‌گیری شده

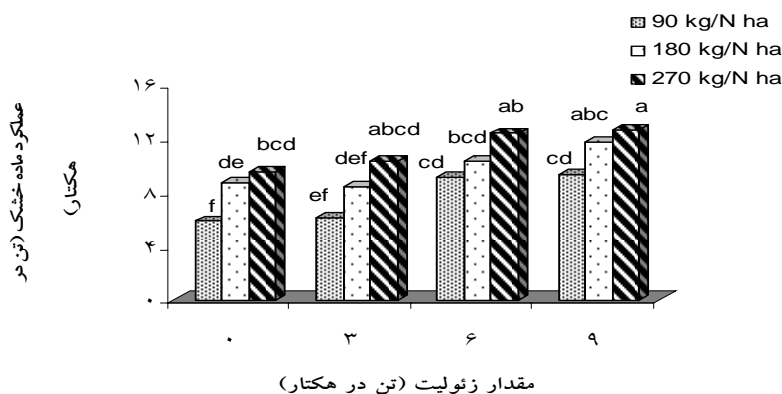
منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر علوفه	وزن خشک علوفه	غلظت نیترات در زه‌آب	غلظت آمونیوم در زه‌آب	غلظت نیترات شسته شده از خاک	غلظت آمونیوم شسته شده از خاک	میزان کلروفیل برگ
تکرار	۲	۴۷۸۸۵۸۴/۲۷*	۲۹۸۸۴۹/۵۵**	۳/۸۴ns	۰/۰۰۰۸ns	۲۶/۱۷ns	۰/۰۰۵ns	۱/۵۸ns
نیتروژن	۲	۱۵۲۵۰۴۹۶/۱۷**	۴۱۹۶۲۳/۷۴**	۲۴۱/۵۲**	۰/۰۰۰۹ns	۱۶۴۵/۲۹**	۰/۰۰۶ns	۲۴/۵۵**
زئولیت	۳	۷۴۰۶۰۰۴/۹۲**	۲۲۲۵۰۳/۰۶**	۴۱/۰۱*	۰/۰۰۱ns	۲۷۹/۳۷**	۰/۰۰۸ns	۷۴/۵۹**
اثر متقابل	۶	۴۹۸۹۱۸/۳۳ns	۷۵۵۷/۰۷ns	۷/۳۷ns	۰/۰۰۲ns	۵۰/۲۲ns	۰/۰۱ns	۱۱/۱۸ns
خطای آزمایشی	۲۲	۹۲۱۰۶۴/۱۴	۲۳۵۸۷/۶۵	۶/۵۰	۰/۰۱۵	۴۴/۳۲	۰/۱۰۶	۷/۳

NS، * و ** بترتیب بدون اثر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

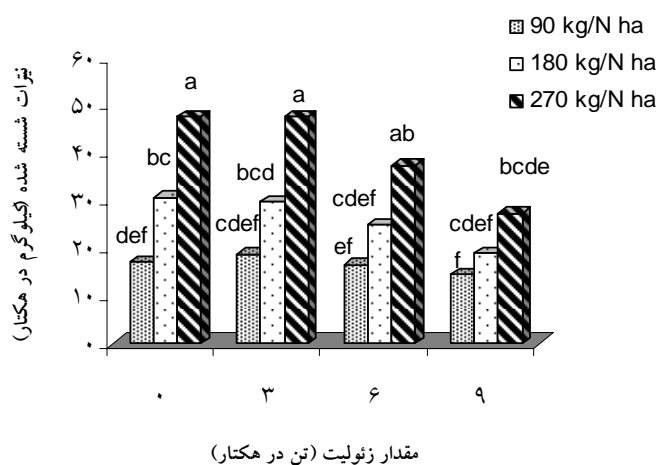
جدول ۴- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده تحت تأثیر مقدار نیتروژن و زئولیت مصرفی

صفات عوامل	وزن تر علوفه (t/ha)	وزن خشک علوفه (t/ha)	غلظت نیترات در زه‌آب (mg/l)	غلظت آمونیوم در زه‌آب (mg/l)	نیترات شسته شده از خاک (kg/ha)	آمونیم شسته شده از خاک (kg/ha)	نیتروژن گیاه (%)	میزان کلروفیل (SPAD Value)
مقدار نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)								
۹۰	۵۰/۱۲b	۷/۵۹c	۶/۴۳C	۰/۳۷۹a	۱۶/۷۹c	۰/۹۸۹a	۳/۲۰b	۴۹/۷۰b
۱۸۰	۵۲/۳۴b	۹/۷۷b	۱۰/۰۲B	۰/۳۶۱a	۲۶/۱۶b	۰/۹۴۴a	۳/۵۷a	۵۲/۲۰a
۲۷۰	۷۰/۶۶a	۱۱/۳۱a	۱۵/۳۵a	۰/۳۶۸a	۴۰/۰۶a	۰/۹۶۱a	۳/۶۷a	۵۲/۶۶a
مقدار زئولیت (تن در هکتار)								
۰	۴۶/۸۱b	۸/۰۲b	۱۲/۲۳a	۰/۳۷۵a	۳۱/۹۲a	۰/۹۸۰a	۴/۱۳a	۵۵/۱۹a
۳	۵۳/۷۸b	۸/۴۲b	۱۲/۳۰a	۰/۳۶۵a	۳۲/۱۰a	۰/۹۵۴a	۳/۵۲b	۴۹/۳۱bc
۶	۶۳/۹۰a	۱۰/۵۸a	۱۰/۰۷ab	۰/۳۸۲a	۲۶/۳۰ab	۰/۹۹۷a	۳/۲۷bc	۴۸/۹۸c
۹	۶۶/۳۴a	۱۱/۲۱a	۷/۸۰b	۰/۳۵۵a	۲۰/۳۵b	۰/۹۲۸a	۳/۰۱c	۵۱/۹۴b

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند.



نمودار ۱- اثر مقادیر مختلف زئولیت و نیتروژن بر عملکرد ماده خشک کلزا



نمودار ۲- اثر مقادیر مختلف زئولیت و نیتروژن بر میزان نیترات شسته

شده از خاک تحت کشت کلزا



شکل ۱- (a) دستگاه Soil Water Sample برای تهیه نمونه زه‌آب



شکل ۲- وسایل نصب شده به منظور کنترل رطوبت و تهیه نمونه زه‌آب
a = Soil Water Sampler; b = Vacuum Hand Pump; c = tube of T.D.R.; d = Vessel of collection.

فهرست منابع:

۱. آقا علیخانی، م. ۱۳۸۲. سودمندی‌های زراعت کلزا در اکوسیستم‌های زراعی ایران. مجموعه مقالات همایش توسعه کشت کلزا، ۱۷ اردیبهشت ۱۳۸۲، دانشکده کشاورزی دانشگاه مازندران. بابلسر، ایران.
۲. امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه. جلد اول. نشریه فنی شماره ۹۸۲. موسسه خاک و آب.
۳. رضاپور، ک. ۱۳۷۸. کلزای علوفه‌ای، غذای آینده دام‌های ایران. مجله کشاورزی و دامپروری برزگر، شماره ۷۹۱-۷۹۰. ص ۴۳-۴۶. تهران، ایران.

۴. عزیزی، م.، ا. سلطانی، و س. خاوری خراسانی. ۱۳۸۳. کلزا (فیزیولوژی، زراعت، به‌نژادی، تکنولوژی زیستی). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۳۱ صفحه.
۵. قانع، م.، ر. ۱۳۸۳. تأثیر مقادیر نیتروژن بر تولید علوفه سبز از کلزا و جو پائیزه. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشگاه تربیت مدرس. ۲۰۰ صفحه.
۶. کاظمیان، ح. ۱۳۸۳. مقدمه‌ای بر زئولیت‌ها، کانیهای سحر انگیز. چاپ اول. نشر بهشت. تهران. ۱۰۰ صفحه. مشهد، ایران.
۷. کوچکی، ع.، ا. سلطانی، و م. عزیزی. ۱۳۷۶. اکوفیزیولوژی گیاهی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۸۰ صفحه. مشهد، ایران.
۸. ملکوتی، م. ج. و ا. سپهر، ۱۳۸۲. تغذیه بهینه دانه های روغنی. مجموعه مقالات. انتشارات خانیان. ۲۹۰ صفحه. تهران، ایران.
۹. ملکوتی، م. ج. و م. همائی. ۱۳۸۳. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک. چاپ دوم. دفتر نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس. ۴۸۲ صفحه.
10. Allen. R. G. 1996. Assessing integrity of weather data for use in reference evapotranspiration estimation. *J. Irrig. and Drain. Eng.*, ASCE, 122, 2:97-106.
11. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirement. FAO irrigation and Drainage Paper, NO. 56, Rome, Italy.
12. Amin, E. A., A. I. Ghazy, and M. K. Tahoun. 2002. The influence of *Brassica* species accession on productivity and nutrient quality of forage Rape in Egypt. Available on the url: <http://www.regional.org.au>.
13. Anonymous. 2004. Effect of nitrogen on canola plant growth. Available on the url: <http://www.canola-council.org>.
14. Asar, E., and D. H. Scarisbrick. 1995. Rate of nitrogen and sulfur fertilizers on yield, yield components and seed quality of oilseed rape (*Brassica napuse* L.). *Field Crop Research*. 44:41-46.
15. Basso, B., and J. T. Ritchie. 2005. Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize- alfalfa rotation in Michigan. *Agriculture Ecosystem & Environment*. 108: 329-341.
16. Bigelow, C. A., D. C. Bowman, and D. K. Cassel. 2003. Inorganic soil amendments limit nitrogen leaching in newly constructed sand-based putting green rooting mixture. *USGA Turfgrass and Environmental Research Online* 2(24): 1-7.
17. Dreccer, M. F., A. H. Schapendonk, G. A. Slaferand and R. Rabbinage. 2000. Comparative response of wheat and oilseed rape to nitrogen supply: absorption and utilization efficiency of radiation and nitrogen during reproductive stages determining yield. *Plant and Soil*. 220: 189-205.
18. Dwairi, I. M. 1998. Evaluation of Jordanian zeolite tuff as a controlled slow-release fertilizer for NH_4 . *Environmental Geology*. 34: 1-3.
19. Evans, E. J. and N. Islam. 1990. The influence of late nitrogen on the growth and yield of winter oilseed rape (*B.napus* L.). *Proceeding of 7th Int rapeseed Congress*. Poznan Poland, p.918.
20. Gupta. S., E. Munyankusi, J. Monerief, F. Zvomuya, and M. Hanewall. 2004. Tillage and manure application effects mineral nitrogen leaching from seasonally frozen soils. *Journal of Environmental Quality*., Vol . 33: 1239-1246.
21. Hang, Z. T. and A. M. Petrovic. 1994. Clinoptilolite influence on nitrate leaching and nitrogen use efficiency in simulated sand based golf greens. *Journal of Environmental Quality*. 23: 1190-1194.

22. Hermanson, R., W. Pan, C. Perillo, R. Stevens, and C. Stockle. 1998. Nitrogen use by crop and the fate of nitrogen in the soil and vadose zone. Washington State University and Washington Department of Ecology Interagency Agreement No. C9600177.
23. Humphreys, E., M. Edrak, and M. Bethune. 2003. Deep drainage & Crop water use for irrigation annual crops & Pastures. CSIRO land and Water, Griffith. Technical Report 14/03.
24. Kazemian, H. 2000. Recent research on the Iranian natural zeolite resource (A review). Access in Nanoporous Materials-II. Banff. Alberta. Canada. May. pp: 25-28.
25. Kejellstrom, C. 1991. Growth and distribution of the root system in Brassica napus. In: McGregor DI (Eds). Proceedings of the eight international rapeseed congresses, Saskatoon, Canada, 122-126.
26. Mumpton, F., 1999. la roca magica: Uses of natural zeolite in agriculture and industry. National Academy of Sciences. USA. Vol. 96 : 3467-3470.
27. Pathak, B. K., F. Kazama, and T. Iida. 2004. Monitoring of nitrogen leaching from a tropical paddy field in Thailand. Agriculture Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development Manuscript LW 04 015. Vol. VI.
28. Perrin, T. S., J. L. Boettinger, D. T. Drost, and J. M. Norton. 1998. Decreasing nitrogen leaching from sandy soil with ammonium-loaded clinoptilolite. Journal of Environmental Quality. 27: 656-663.
29. Polat, E., M. Karaca, H. Demir, and A. Naci Onus. 2004. Use of natural zeolita (clinoptilolite) in agriculture. Journal of Fruit Ornam. Plant Research. Special ed. 12 :183-189.
30. Rathke, G. W., T. Behrens, and W. Diepenbrock. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape: A review. Agriculture Ecosystem & Environment. 117: 80-108.
31. Rehakova, M., S. Cuvanova, M. Dzivak, J. Rimar, and Z. Gavalova. 2004. Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. Current Opinion in Solid State and Materials Science. 8: 397-404.
32. Shaw. J.W., and R. Andrews. 2001. Cation exchange capacity affects greens' turf growth. Golf Course Management. March 2001. 73-77.
33. Shukla, S., E. A. Hanlon, F. H. Jaber, P. J. Stoffella, T. A. Obreza, and M. O. Hampton. 2006. Groundwater nitrogen: behavior in flatwoods and gravel soils using organic amendments for vegetable production. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agriculture Sciences. Circular 1494.
34. Supapron, J., and L. Ptayakon. 2002. Effect of zeolite and chemical fertilizer on the change of physical and chemical properties on lat ya soil series for suger cane. Soil and water conservation division, Land development department, Chatuchac, Bangkok 10900.
35. USEPA. 2002. Current drinking water standards. EPA 816-F-02-013. Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
36. Vinten, A. J. A., B. J. Vivian, F. Wright, and R. S. Howard. 1994. A comparative study of nitrate leaching from soils of differing texture under similar climatic and cropping conditions. Journal of Hydrology. 159: 197-213.
37. Waddell, J. T., S. C. Gupta, J. F. Moncrief, C. J. Rosen, and D. D. Steele. 2000. Irrigation and nitrogen management impacts on nitrate leaching under potato. Journal Environmental Quality. 29: 251-261.
38. Yang, W.H., S. Peng, J. Huang, A. L. Sanico, R. J. Buresh, and C. Witt. 2003. Using leaf color charts to estimate leaf nitrogen status of rice. Agronomy Journal. 95:212-217.