

## اثر فیلترکیک نیشکر، کودشیمیایی و کودهای زیستی بر جذب عناصر کم مصرف، پر مصرف و عناصر سنگین توسط گیاه کلزا (*Brassica napus* L.)

حسین منجزی<sup>۱</sup>، محمد رضا مرادی تلاوت<sup>۲\*</sup>، سید عطاءالله سیادت<sup>۳</sup>  
احمد کوچک زاده<sup>۲</sup> و حسن حمدی<sup>۴</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۱۱)

### چکیده

با هدف بررسی تأثیر کاربرد فیلترکیک نیشکر به همراه کودهای شیمیایی و کودهای زیستی بر جذب عناصر غذایی در کلزا آزمایشی در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه پژوهشی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. ترکیب‌های مختلف فیلترکیک نیشکر و کودهای شیمیایی در پنج سطح (A<sub>1</sub>: ۱۰۰ درصد فیلترکیک، A<sub>2</sub>: ۷۵ درصد فیلترکیک + کود شیمیایی، A<sub>3</sub>: ۵۰ درصد فیلترکیک + کود شیمیایی، A<sub>4</sub>: ۲۵ درصد فیلترکیک + کود شیمیایی، A<sub>5</sub>: کود شیمیایی) به عنوان فاکتور اول، و کودهای زیستی در دو سطح مصرف و عدم مصرف به عنوان فاکتور دوم مورد بررسی قرار گرفتند. در این آزمایش از کودهای زیستی نیتروکسین و بارور-۲ استفاده شد. سطوح مختلف ترکیب فیلترکیک و کودهای شیمیایی تأثیر معنی‌داری بر محتوی نیتروژن و فسفر دانه کلزا داشت. کاربرد فیلترکیک باعث افزایش عناصر روی، مس، آهن و سرب دانه شد. محتوی کادمیوم دانه تحت تأثیر کودهای زیستی و تیمار فیلترکیک + شیمیایی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش مصرف فیلترکیک نسبت به کود شیمیایی عناصر روی، مس، آهن و سرب جذب شده در دانه کلزا افزایش یافت ولی مقدار کادمیوم و فسفر و نیتروژن دانه کاهش یافت. نتایج نشان داد که مصرف کودهای زیستی باعث افزایش مقدار کادمیوم و مقدار فسفر دانه شد. به‌طور کلی افزودن مواد آلی از جمله فیلترکیک به خاک نیازمند بررسی میزان جذب عناصر مختلف از جمله عناصر سنگین خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: نیتروژن، فسفر، کادمیوم، سرب، کشاورزی پایدار

۱ و ۲. به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، استادیاران و استاد دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۴. استادیار مرکز تحقیقات و توسعه کشت نیشکر خوزستان

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: moraditelavat@yahoo.com

## مقدمه

تولید موفقیت‌آمیز محصولات کشاورزی مستلزم وجود خاک مناسب و مقدار کافی از عناصر غذایی قابل استفاده گیاه است. نگاه یک جانبه به تأمین مواد غذایی بدون توجه به مسایل زیست محیطی و تأثیر کودهای شیمیایی بر ویژگی‌های خاک و کیفیت محصولات زراعی موجب استفاده بی‌رویه از این نوع کودها و در نتیجه بروز اثرات مخربی از قبیل کاهش نفوذپذیری خاک، افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک، محدود شدن رشد ریشه و در نهایت تخریب خاک و کاهش رشد محصول اجتناب ناپذیر شده است (۷). کودهای آلی و شیمیایی لازم و ملزوم یکدیگرند و برای ایجاد شرایط مناسب رشد گیاهان هر دو نوع کود مورد نیاز هستند (۲۷). افزودن کودهای آلی به خاک افزون بر نداشتن عوارض نامطلوب موجب افزایش هوموس خاک و نگهداری آن در سطحی مناسب می‌شوند (۲۴). فیلترکیک یک محصول جانبی صنعت نیشکر است که در طی فرایند رسوبگذاری و تصفیه شربت خام به دست می‌آید. کیفیت آن به فرایندی که برای رسوبگذاری مواد ناخالص عصاره نیشکر استفاده می‌شود، بستگی دارد. ماده آلی موجود در فیلترکیک حدود ۶۴ درصد وزن خشک آن است و یک منبع غنی برای کلسیم است (۲۲). مقادیر فراوان فیلترکیک تولید شده که می‌تواند به وسیله فرایند تجزیه زیستی به یک منبع با ارزش تبدیل شود، این ماده را به عنوان یک مکمل کود شیمیایی معرفی کرده است (۲۳). این ترکیب دارای حدود ۱ درصد وزنی فسفر و تا بیش از ۱ درصد نیز نیتروژن است که همانند سایر افزودنی‌های آلی به خاک، عناصر غذایی را به تدریج رها می‌کند و در اختیار گیاه قرار می‌دهد و موجب اصلاح شیمیایی و فیزیکی خاک نیز می‌شود (۲۳). در استان خوزستان چندین واحد تولید نیشکر با سطح زیر کشت بالغ بر ۸۵۰۰۰ هکتار مشغول به کار هستند. در حال حاضر قسمت اعظم فیلترکیک تولیدی کارخانه‌های شکر به طرق مختلف دور ریخته می‌شود. از آنجایی که فیلترکیک منبع مهمی برای عناصر غذایی مورد نیاز گیاه است افزودن آن به خاک می‌تواند باعث بهبود حاصلخیزی

و ویژگی‌های خاک گردد.

عناصر کمیاب از طرق مختلف وارد محیط خاک می‌شوند. از مهم‌ترین راه‌های ورود عناصر کمیاب به خاک می‌توان به زباله‌های شهری و صنعتی، حشره‌کش‌ها، کودهای شیمیایی، لجن فاضلاب و غیره اشاره کرد. برخی از عناصر کمیاب برای رشد گیاه ضروری هستند و به نام عناصر کم مصرف خوانده می‌شوند. این عناصر به مقدار کم برای رشد گیاه لازمند و در غیاب آنها رشد گیاه محدود خواهد شد (۱۶). مواد آلی با تولید ترکیبات کمپلکس کننده باعث انحلال و تحرک عناصر غذایی به ویژه عناصر کم مصرف می‌گردد. محققین توانستند با مصرف مواد آلی کمبود روی و آهن را در خاک‌های آهکی در گیاه ذرت رفع کنند (۲۳). در یک آزمایش دراز مدت، خاک با فضولات مرغی به مدت ۲۵ سال تیمار شده و سپس غلظت کل برخی عناصر در آن اندازه‌گیری گردید. گزارش‌های حاصل از این تحقیق نشان داد که غلظت سرب، نیکل، روی و منگنز تفاوت معنی‌داری داشتند که حاکی از تجمع این عناصر در خاک است (۱۱). با این حال، خطرات احتمالی افزودن مواد آلی به زمین‌های کشاورزی، باید قبل از ارزش کودی و اقتصادی آن مورد ارزیابی قرار گیرد. یکی از مواردی که باید به آن توجه شود وجود فلزات سنگین در پسماندهای آلی است. بسیاری از مواد آلی افزودنی به خاک اغلب دارای مقادیر زیادی از عناصر کادمیوم، سرب و نیکل هستند. هنگامی که این مواد به زمین اضافه می‌شوند، گیاه همراه با عناصر غذایی مورد نیاز، این عنصر سمی را جذب و وارد زنجیره غذایی انسان و حیوان می‌کند. تحقیقات نشان داده است که استفاده دراز مدت از لجن و کمپوست حاوی غلظت‌های بالای فلزات سنگین موجب تجمع عناصری مانند کادمیوم و سرب در گیاه می‌شوند (۱۲). محققان در یک مطالعه گلخانه‌ای نشان دادند که مقدار جذب فلزات روی، مس، سرب و کادمیوم به وسیله ذرت و کاهو با افزایش مقدار لجن فاضلاب افزایش می‌یابد (۵). نتایج حاصل از یک مطالعه نشان داد که با کاربرد شیرابه کمپوست غلظت آهن به طور چشمگیری در گیاه ذرت افزایش یافته، به نحوی که

کلزا در هنگام کاربرد این مواد طراحی و اجرا گردید.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر نسبت‌های مختلف فیلترکیک نیشکر، کود شیمیایی و کودهای زیستی بر جذب برخی از عناصر پرمصرف، کم مصرف و برخی از عناصر سنگین توسط دانه کلزا آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و ۴ تکرار در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه پژوهشی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان واقع در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی اهواز اجرا شد. این منطقه در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی، با ارتفاع ۲۲ متر از سطح دریا قرار دارد. میانگین بارندگی آن ۲۶۹ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت ۲۳ و متوسط حداکثر و حداقل درجه حرارت به ترتیب ۳۶ و ۹/۵ درجه سانتی‌گراد است.

فاکتور اول ترکیب‌های مختلف فیلترکیک نیشکر و کودهای شیمیایی در پنج سطح (A<sub>1</sub>: ۱۰۰ درصد فیلترکیک، A<sub>2</sub>: ۷۵ درصد فیلترکیک + کود شیمیایی، A<sub>3</sub>: ۵۰ درصد فیلترکیک + کود شیمیایی، A<sub>4</sub>: ۲۵ درصد فیلترکیک + کود شیمیایی، A<sub>5</sub>: کود شیمیایی) و فاکتور دوم کودهای زیستی در دو سطح (مصرف بر اساس توصیه شرکت سازنده و عدم مصرف) بود. مقدار مصرف فیلترکیک در این آزمایش بر اساس ترکیب تیمارها به ترتیب ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵ و صفر تن در هکتار بود. در این آزمایش مقدار پتاسیم برای تمام تیمارها ثابت بود. کود شیمیایی نیتروژن بر اساس ترکیب تیمارهای A<sub>1</sub> تا A<sub>5</sub> به ترتیب برابر صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص از منبع اوره در هکتار و کود شیمیایی فسفر برای تیمارهای فوق‌الذکر به ترتیب برابر صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص از منبع سوپر فسفات تریپل مصرف شد. در این پژوهش کودهای زیستی نیتروکسین و باور-۲ استفاده شد که مقادیر مصرف این کودها بر اساس کارخانه سازنده برای کلزا ۴ لیتر نیتروکسین به صورت سرک و نیم لیتر به صورت

غلظت آهن در آن از ۹۷ به ۱۶۲ میلی‌گرم وزن خشک گیاه رسید. این افزایش نشان داد که شیرابه کمپوست موجب تحرک بیشتر آهن در خاک می‌شود (۹). مواد آلی اهمیت زیادی در تغذیه عناصر کم مصرف توسط گیاهان دارند این ترکیبات شامل مواد بیوشیمیایی موجود در بدن موجودات زنده و اسیدهای هیومیک و فلویک است. این اسیدها ترکیبات پیچیده‌ای با اغلب کاتیون‌ها و هم‌چنین بعضی از آنیون‌ها می‌سازند که موجب حلالیت بیشتر این عناصر و در نتیجه جذب بهتر عناصر کم مصرف مانند مس و روی و منگنز توسط گیاه می‌گردند (۲). کاربرد ۱۰ و ۱۵ تن فیلترکیک در هکتار، فسفر قابل جذب خاک را به ترتیب ۳۰۰ و ۴۶۱ درصد افزایش داد (۱۴). محققان در تحقیقی بر روی گندم افزایش عملکرد دانه و میزان جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم جذب شده توسط گیاه با کاربرد کمپوست زباله و کود شیمیایی را گزارش کردند (۵).

کودهای زیستی حاوی جمعیت میکروبی ریزوسفر و اغلب شامل باکتری‌های افزایش دهنده رشد هستند. این باکتری‌ها از طریق فراهم کردن مواد غذایی، تولید مواد شبه هورمونی، کاهش سطح اتیلن گیاه و ایجاد مقاومت به تنش‌های مختلف از جمله کمبود آب و عناصر غذایی و کاهش سمیت عناصر سنگین، گیاه را یاری می‌کنند. پژوهشگران در تحقیقی تأثیر کود زیستی بارور ۲ بر عملکرد و سایر خصوصیات سبب زمینی رقم آگریا دریافتند که به کارگیری باکتری حل کننده فسفات برای بهبود جذب فسفر و کاهش مصرف کودهای فسفر یکی از راهکارهای اساسی برای جبران کمبود فسفر مورد نیاز گیاه است (۱۷). هم‌چنین گزارش داده‌اند که پیش تیمار بذر با ازتوباکتر همراه با کود دامی سبب افزایش عملکرد دانه و درصد جذب نیتروژن و فسفر، درصد روی و پروتئین دانه، عملکرد اندام‌های هوایی و ریشه گندم می‌شود (۱۸).

در مجموع مشخص می‌گردد استفاده از فیلترکیک و کودهای زیستی یک راه حل مناسب جهت بهبود وضعیت ماده آلی و جذب بهتر مواد غذایی توسط گیاه است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی تجمع عناصر مختلف در دانه

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق نمونه برداری (سانتی متر)	نیترژن (درصد)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم)	اسیدیته	شوری (میکروموس بر سانتی متر)	مواد آلی (درصد)	بافت خاک
۰-۳۰	۰/۰۶	۷	۲۲۴	۷/۷	۳۴۰	۰/۵	رسی لومی

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی فیلتریک مصرفی

مقدار	ویژگی‌های فیلتریک
۱۱	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
۶/۲۱	اسیدیته خاک
۰/۴۵	نیترژن قابل جذب (درصد)
۴۸۰	فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)
۱۱/۸	پتاسیم قابل جذب (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)
۲۵/۸	مواد آلی (درصد)
۱۰	خاکستر (درصد)
۴۸/۲	درصد رطوبت
۱۹۸	روی (میلی گرم بر کیلوگرم)
۵۱۰	آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)
۶۴	مس (میلی گرم بر کیلوگرم)

تر مورد نیاز، دو نمونه به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه خشک و با توجه به رطوبت توده، مقدار فیلتریک مورد نیاز محاسبه شد و در کرت‌های مورد نظر توزیع شد. زمین مورد نیاز آزمایش در اواسط پاییز جهت شخم و هم‌چنین سبزشدن بذر علف‌های هرز، یک مرتبه آبیاری سنگین شد. پس از کاهش میزان رطوبت خاک به حد مطلوب (گاورو) عملیات شخم صورت گرفت. به منظور خردکردن کلوخه‌ها و تسطیح اولیه دو مرحله دیسک عمود برهم زده و سپس تسطیح نهایی با لولر انجام شد. کرت‌های مورد نیاز به وسیله مرزبند ایجاد و شکل نهایی و تسطیح نهایی کرت‌ها به وسیله بیل و به صورت دستی انجام گردید. اولین آبیاری در تاریخ ۸ آذر به عنوان تاریخ کاشت در نظر گرفته شد و آبیاری‌های بعدی بر اساس شرایط آب و هوایی منطقه و نیاز گیاه صورت گرفت. جهت تعیین اندازه‌گیری عناصر جذب شده در گیاه در اواخر فروردین و در مرحله رسیدگی دانه‌ها، ۵ بوته از ۲ ردیف وسط با حذف حاشیه انتخاب و دانه‌های آنها جدا شد و از این دانه‌ها جهت اندازه‌گیری عناصر جذب شده استفاده گردید. جهت اندازه‌گیری عناصر کم مصرف از روش خاکسترگیری خشک و دستگاه جذب اتمی استفاده شد. برای این کار حدود ۱۰ گرم دانه در آن به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند و سپس در کوره در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت خاکسترگیری شد و در نهایت عصاره‌گیری توسط اسید کلریدریک انجام شد و عصاره‌ها از کاغذ صافی عبور داده شده و آماده‌ی قرائت گردیدند. مقدار فسفر دانه به روش اولسون به نقل از (۲۵) و دستگاه اسپکتروفتومتر محاسبه شد و برای اندازه‌گیری درصد نیترژن دانه از دستگاه کج‌دال استفاده گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها

تلقیح بذر و برای باور-۲ صد گرم در هکتار بود. لازم به ذکر است که این کودها هم به صورت تلقیح و هم به صورت سرک مصرف گردید. زمان مصرف سرک نیتروکسین همراه با آبیاری دوم و زمان مصرف باور-۲ به صورت سرک در مرحله ۲ برگی کلزا بود. ویژگی‌های خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ و کمپوست در جدول ۲ ارائه شده است. بذر هیبرید هایولا ۴۰۱ در تاریخ یکم آذر ماه ۱۳۹۰ در کرت‌هایی به طول ۳ متر و عرض ۲/۴ متر شامل ۸ ردیف کشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از همدیگر و با تراکم ۹۰ بوته در مترمربع به صورت مسطح با عمق کشت ۲ سانتی‌متر کشت شد. جهت رسیدن به تراکم نهایی (۹۰ بوته در مترمربع) میزان بذر مورد استفاده ۱/۵ برابر مقدار مورد نیاز بود. سپس در مرحله ۴ - ۳ برگی اقدام به تنک کردن و تنظیم تراکم نهایی شد. به منظور تعیین میزان فیلتریک

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس مربوط به غلظت عناصر کم مصرف دانه کلزا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		روی	مس	آهن	سرب
تکرار	۳	۲۱/۰۷ <sup>ns</sup>	۲/۸۵ <sup>ns</sup>	۲۵۰/۲ <sup>ns</sup>	۰/۵۳ <sup>ns</sup>
فیلترکیک + شیمیایی	۴	۲۵۶/۳۰ <sup>**</sup>	۱۲/۷۳ <sup>**</sup>	۴۹۴۹/۲۳ <sup>**</sup>	۲/۶۴ <sup>*</sup>
کود زیستی	۱	۶۸/۵۵ <sup>ns</sup>	۲/۱۸ <sup>ns</sup>	۹۲۹/۶۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۸ <sup>ns</sup>
فیلترکیک + شیمیایی × کود زیستی	۴	۶۷/۱۸ <sup>ns</sup>	۰/۵۲ <sup>ns</sup>	۵۳۵/۹۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۴۶ <sup>ns</sup>
اشتباه آزمایشی	۱۸	۳۲/۷۶	۱/۷۲	۴۴۶/۲۲	۰/۵۹
ضریب تغییرات (درصد)		۱۵/۶۱	۱۴/۸۲	۹/۵۰	۱۰/۱۶
		۴/۱۹			

\* و \*\*. به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد، ns غیر معنی دار

با روش LSD با احتمال خطای ۵ درصد انجام شد. جهت رسم نمودارها از نرم افزار EXCEL استفاده شد.

## نتایج و بحث

### عناصر کم مصرف و سنگین در دانه

نتایج نشان داد که تفاوت معنی داری بین تیمارهای فیلترکیک + شیمیایی بر روی مقدار آهن، مس، روی و سرب دانه وجود دارد و مقدار کادمیوم دانه تحت تأثیر اثر متقابل تیمارهای فیلترکیک + کود شیمیایی و کود زیستی قرار گرفت (جدول ۳). با افزایش مصرف فیلترکیک و کاهش مقدار کود شیمیایی مقدار آهن دانه افزایش یافت به طوری که تیمار A<sub>1</sub> (۱۰۰ درصد فیلترکیک) با مقدار ۲۷۰/۹۲ میلی گرم بر کیلوگرم بیشترین مقدار آهن و تیمار A<sub>5</sub> (۱۰۰ درصد کود شیمیایی) با مقدار ۲۰۱/۰۸ میلی گرم بر کیلوگرم کمترین مقدار آهن را داشتند (جدول ۴). با توجه به این که فیلترکیک مورد استفاده دارای ۵۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم آهن بود (جدول ۲)، انتظار جذب این عنصر توسط گیاه وجود داشت و این می تواند دلیلی برای افزایش مقدار آهن دانه باشد. از طرف دیگر با توجه به این که کودهای آلی با تولید گاز کربنیک در اسیدی کردن خاک نقش دارند که عمل مذکور در جذب عنصر آهن که در شرایط اسیدی جذب می شود می تواند مؤثر واقع شود.

روی یکی دیگر از عناصر کم مصرف گیاه است که می توان

آن را جزء عناصر سنگین نیز طبقه بندی کرد. مقدار کل روی در یک خاک زراعی معمولاً بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم است. نتایج نشان داد که مقدار روی دانه با افزایش فیلترکیک نسبت به شیمیایی افزایش یافت. بیشترین و کمترین مقدار روی دانه در تیمار A<sub>1</sub> و A<sub>5</sub> به ترتیب با ۴۴/۷۹ و ۲۷/۴۲ میلی گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (جدول ۴). با توجه به جدول ۲ فیلترکیک مصرفی ۱۹۸ میلی گرم بر کیلوگرم روی داشت. هم چنین می توان گفت افزایش روی در تیمارهای فیلترکیک همراه با رابطه منفی فسفر و روی مشاهده می شود. افزایش فسفر در خاک باعث کاهش حلالیت روی و کاهش انتقال آن از ریشه ها به سایر قسمت های گیاه می شود (۲۱). از طرف دیگر بین روی و کادمیوم نیز تأثیر منفی وجود دارد (۱). با توجه به نتایج (جدول ۴) افزایش نسبت کودهای شیمیایی مصرفی نسبت به فیلترکیک باعث افزایش کادمیوم دانه شد که این افزایش کادمیوم در تیمارهای شیمیایی باعث کاهش روی در دانه گیاه نسبت به تیمارهای فیلترکیک شد.

مس نیز یکی از عناصر کم مصرف گیاه است که آن را هم می توان در زمره عناصر سنگین به حساب آورد. این عنصر در بیشتر خاک های زراعی به اندازه کافی یافت می شود. افزایش کاربرد فیلترکیک، مقدار مس دانه را افزایش داد (جدول ۴). بیشترین و کمترین مقدار مس دانه مربوط به تیمار A<sub>1</sub> و A<sub>5</sub> به ترتیب با ۱۰/۹۴ و ۷/۴۴ میلی گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۴).

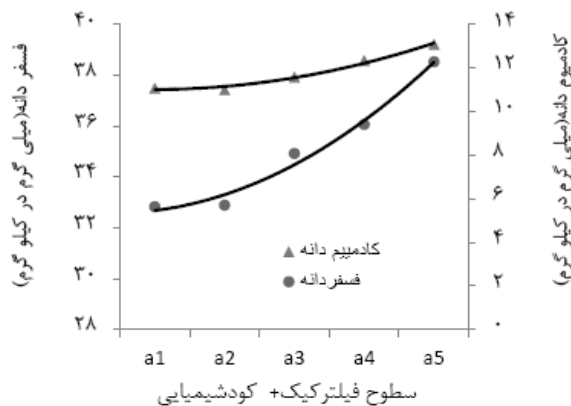
جدول ۴. مقایسه میانگین غلظت عناصر غذایی دانه کلزا تحت تأثیر فاکتورها و تیماری آزمایشی

تیمار	نیتروزن (درصد)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم)	مس (میلی گرم بر کیلوگرم)	آهن (میلی گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی گرم بر کیلوگرم)	سرب (میلی گرم بر کیلوگرم)	کادمیوم (میلی گرم بر کیلوگرم)
A <sub>1</sub>	۲/۶۵ <sup>b</sup>	۳۲/۸۲ <sup>c</sup>	۱۰/۹۴ <sup>a</sup>	۲۷۰/۹۲ <sup>a</sup>	۴۴/۷۸ <sup>a</sup>	۱۷/۴۹ <sup>a</sup>	۱۱/۰۸ <sup>c</sup>
A <sub>2</sub>	۲/۶۴ <sup>b</sup>	۳۲/۹۲ <sup>c</sup>	۹/۵۵ <sup>ab</sup>	۲۲۸/۱۷ <sup>b</sup>	۴۰/۰۶ <sup>ab</sup>	۱۶/۳۷ <sup>b</sup>	۱۱ <sup>c</sup>
A <sub>3</sub>	۲/۸ <sup>b</sup>	۳۴/۹۱ <sup>cb</sup>	۸/۷۸ <sup>cb</sup>	۲۱۰/۸۳ <sup>cb</sup>	۳۷/۱ <sup>b</sup>	۱۵/۹۸ <sup>b</sup>	۱۱/۵۸ <sup>c</sup>
A <sub>4</sub>	۳/۰۶ <sup>ab</sup>	۳۶/۳۳ <sup>ab</sup>	۷/۵۶ <sup>c</sup>	۲۰۴/۳۳ <sup>bc</sup>	۳۳/۸۹ <sup>cb</sup>	۱۵/۷۹ <sup>b</sup>	۱۲/۳۳ <sup>b</sup>
A <sub>5</sub>	۳/۵۷ <sup>a</sup>	۳۸/۴۱ <sup>a</sup>	۷/۴۴ <sup>c</sup>	۲۰۱/۰۸ <sup>c</sup>	۲۷/۴۲ <sup>c</sup>	۱۶/۲۱ <sup>b</sup>	۱۳/۰۸ <sup>a</sup>
B <sub>1</sub>	۳/۰۲ <sup>a</sup>	۳۶/۷۲ <sup>a</sup>	۹/۱۲ <sup>a</sup>	۲۲۸/۶۳ <sup>a</sup>	۳۷/۱۷ <sup>a</sup>	۱۶/۳۷ <sup>a</sup>	۱۱/۹۶ <sup>a</sup>
B <sub>2</sub>	۲/۸۷ <sup>a</sup>	۳۳/۴۳ <sup>b</sup>	۸/۵۹ <sup>a</sup>	۲۱۷/۵ <sup>a</sup>	۳۵/۱۴ <sup>a</sup>	۱۶/۳۷ <sup>a</sup>	۱۱/۶۶ <sup>a</sup>
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	۲/۷۴ <sup>cb</sup>	۳۴/۷۱ <sup>cb</sup>	۱۱/۶۶ <sup>a</sup>	۲۸۸/۵ <sup>a</sup>	۵۱/۱۶ <sup>a</sup>	۱۷/۶۲ <sup>a</sup>	۱۱ <sup>dc</sup>
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	۲/۵۶ <sup>c</sup>	۳۰/۹۱ <sup>cd</sup>	۱۰/۲۲ <sup>ab</sup>	۲۵۳/۳۳ <sup>ab</sup>	۳۸/۴۲ <sup>cb</sup>	۱۷/۳۵ <sup>ab</sup>	۱۱/۱۶ <sup>cd</sup>
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	۲/۷۲ <sup>c</sup>	۳۵/۳۱ <sup>b</sup>	۹/۶۷ <sup>abc</sup>	۲۴۱/۱۷ <sup>cb</sup>	۴۳/۱۳ <sup>ab</sup>	۱۶/۴۶ <sup>abc</sup>	۰/۲۱ <sup>d</sup>
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	۲/۵۶ <sup>c</sup>	۳۰/۵۷ <sup>d</sup>	۹/۴۳ <sup>abcd</sup>	۲۱۵/۱۷ <sup>cd</sup>	۳۷ <sup>bcd</sup>	۲۹/۱۶ <sup>cb</sup>	۱۱/۱۱۶ <sup>dc</sup>
A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	۲/۹۲ <sup>cab</sup>	۳۵/۹۰ <sup>b</sup>	۸/۷۲ <sup>cedb</sup>	۲۰۷/۵ <sup>cd</sup>	۳۷/۶ <sup>cb</sup>	۱۵/۹۹ <sup>c</sup>	۱۱/۸۳ <sup>bc</sup>
A <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	۲/۶۹ <sup>c</sup>	۳۳/۹۲ <sup>cbd</sup>	۸/۸۴ <sup>cedb</sup>	۲۱۴/۱۷ <sup>cd</sup>	۳۶/۵۹ <sup>cbd</sup>	۱۵/۹۸ <sup>c</sup>	۱۱/۳۳ <sup>dc</sup>
A <sub>4</sub> B <sub>1</sub>	۳/۱۵ <sup>cab</sup>	۳۶/۶۵ <sup>b</sup>	۷/۸۶ <sup>ced</sup>	۲۰۸ <sup>cd</sup>	۳۱/۴۵ <sup>cd</sup>	۱۵/۶۵ <sup>c</sup>	۱۲/۳۳ <sup>b</sup>
A <sub>4</sub> B <sub>2</sub>	۲/۹۷ <sup>cab</sup>	۳۶/۰۱ <sup>b</sup>	۷/۲۷ <sup>d</sup>	۲۰۰/۶۷ <sup>d</sup>	۳۶/۳۳ <sup>Cbd</sup>	۱۵/۹۳ <sup>c</sup>	۱۲/۳۳ <sup>b</sup>
A <sub>5</sub> B <sub>1</sub>	۳/۵۸ <sup>a</sup>	۴۱/۰۳ <sup>a</sup>	۷/۷۲ <sup>ced</sup>	۱۹۸ <sup>d</sup>	۲۷/۴۸ <sup>d</sup>	۱۶/۱۳ <sup>cd</sup>	۱۳/۸۳ <sup>a</sup>
A <sub>5</sub> B <sub>2</sub>	۳/۵۶ <sup>ab</sup>	۳۵/۸۰ <sup>b</sup>	۷/۱۷ <sup>c</sup>	۲۰۴/۱۷ <sup>d</sup>	۲۷/۳۷ <sup>d</sup>	۱۶/۲۹ <sup>cd</sup>	۱۲/۳۳ <sup>b</sup>

در هر ستون و در داخل هر عامل آزمایشی، میانگین‌های دارای حرف مشابه اختلاف معنی‌داری با هم ندارند  
 A<sub>1</sub>: ۱۰۰ درصد فیلتریک، A<sub>2</sub>: ۷۵ درصد فیلتریک + کود شیمیایی، A<sub>3</sub>: ۵۰ درصد فیلتریک + کود شیمیایی، A<sub>4</sub>: ۲۵ درصد فیلتریک + کود شیمیایی، A<sub>5</sub>: کود شیمیایی. B<sub>1</sub> و B<sub>2</sub>: به ترتیب مصرف و عدم مصرف کودهای زیستی

آزمایش حاضر، مصرف بیشتر کودهای شیمیایی کادمیوم دانه کلزا را افزایش داد. به طوری که در تیمار ۱۰۰ درصد شیمیایی و مصرف کود زیستی بیشترین مقدار کادمیوم با مقدار ۱۳/۸۳ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد (جدول ۴). با توجه به این که یکی از منابع کادمیوم در خاک کودهای شیمیایی مخصوصاً کودهای فسفردار است (۱۵ و ۲۰)، افزایش کادمیوم دانه در تیمارهای سطوح شیمیایی بیشتر نسبت به فیلتریک به دلیل در دسترس بودن کود فسفر برای گیاه و جذب بیشتر این کود توسط گیاه بوده است. این موضوع به وسیله مشاهده رابطه

با توجه به نتایج آنالیز فیلتریک (جدول ۲) که دارای ۶۴ میلی گرم بر کیلوگرم مس بود، انتظار افزایش مس در سطوح بیشتر فیلتریک و جذب بیشتر آن وجود داشت. عنصر مس بیشتر در خاک به صورت غیر قابل استفاده است با افزایش ماده آلی خاک، بخشی از مس غیر قابل استفاده، تبدیل به مس قابل تبادل می‌شود و هم‌زمان مقدار مس آلی افزایش می‌یابد (۲۱). در بین فلزات سنگین کادمیوم دارای اهمیت ویژه‌ای است زیرا به راحتی توسط سیستم ریشه گیاه جذب می‌شود و سمیت آن برای گیاه ۲ تا ۲۰ برابر سایر فلزات سنگین است. در



شکل ۱. تأثیر فیلتر کیک + کود شیمیایی بر فسفر و کادمیم دانه کلزا. A<sub>1</sub>: ۱۰۰ درصد فیلتر کیک، A<sub>2</sub>: ۷۵ درصد فیلتر کیک + کود شیمیایی، A<sub>3</sub>: ۵۰ درصد فیلتر کیک + کود شیمیایی، A<sub>4</sub>: ۲۵ درصد فیلتر کیک + کود شیمیایی، A<sub>5</sub>: کود شیمیایی

مستقیم فسفر و کادمیم (شکل ۱) نیز تأیید می‌شود. از طرف دیگر مصرف کودهای زیستی به‌ویژه کود زیستی بارور ۲ سبب آزادسازی فسفر ثبت شده در خاک و در اختیار قرار دادن این عنصر برای گیاه می‌تواند دلیلی برای افزایش کادمیم دانه باشد. به این دلیل لازم است، کاربرد کودهای زیستی با هر ماده آلی دیگر این مورد را همیشه در نظر گرفت تا از تأثیرات سوء احتمالی جلوگیری شود.

نتایج نشان داد که فیلتر کیک باعث افزایش عنصر سرب در دانه کلزا می‌شود. به‌طوری‌که با افزایش مصرف فیلتر کیک نسبت به کودهای شیمیایی مقدار سرب دانه افزایش یافت. تیمارهای A<sub>1</sub> و A<sub>5</sub> به‌ترتیب با مقدار ۱۷/۴۹ و ۱۶/۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین و کمترین مقدار سرب را داشتند (جدول ۴). این موضوع به‌دلیل پیوند قوی سرب با مواد آلی و تشکیل کمپلکس‌های پایدار، غلظت سرب در تیمارهای با نسبت بیشتر فیلتر کیک نسبت به کود شیمیایی افزایش یافت، که در مطالعه حاضر نیز مشاهده گردید (۱۹).

#### عناصر پرمصرف دانه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس مندرج در جدول ۴

نشان داد که درصد نیتروژن دانه تنها تحت‌تأثیر تیمارهای فیلتر کیک + کود شیمیایی قرار گرفت. بیشترین و کمترین مقدار نیتروژن دانه مربوط به تیمار A<sub>5</sub> (۱۰۰ درصد شیمیایی) و A<sub>1</sub> (۱۰۰ درصد فیلتر کیک)، به‌ترتیب با میانگین ۳/۵۷ و ۲/۶۵ درصد بود. با افزایش کودهای شیمیایی و کاهش فیلتر کیک، درصد نیتروژن دانه افزایش یافت. به‌طوری‌که، این صفت در تیمار ۱۰۰ درصد فیلتر کیک کاهش ۲۵/۷۷ درصدی نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد شیمیایی را نشان داد (جدول ۴). می‌توان دلیل افزایش نیتروژن دانه در سطوح بیشتر کود شیمیایی را به افزودن کودهای شیمیایی مخصوصاً نیتروژن به خاک مزرعه و فراهم شدن این عنصر در خاک و بهبود جذب توسط گیاه نسبت داد. کاربرد کود نیتروژن مقدار واردات نیتروژن را از قسمت‌های رویشی به دانه در مقایسه با کربوهیدرات‌ها افزایش می‌دهد و باعث افزایش نیتروژن دانه می‌گردد. در آزمایش‌های متعددی مشاهده شده است که افزایش کودهای شیمیایی در مقایسه با کودهای آلی، درصد نیتروژن دانه را به مراتب افزایش می‌دهد (۸ و ۲۵).

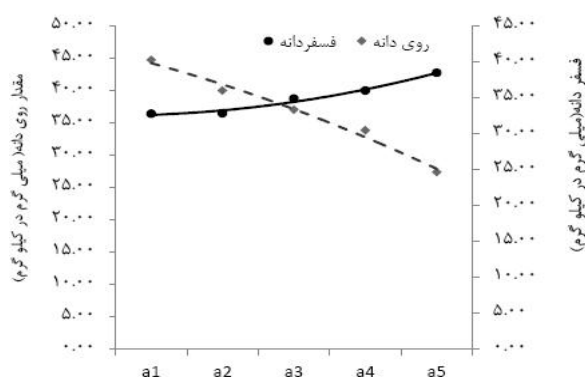
میزان فسفر دانه تحت تأثیر معنی‌دار نسبت‌های فیلتر کیک + شیمیایی و نیز مصرف کودهای زیستی قرار گرفت (جدول ۵). در بین سطوح فیلتر کیک + کود شیمیایی، بیشترین و کمترین مقدار فسفر دانه مربوط به تیمارهای A<sub>5</sub> (۱۰۰ درصد شیمیایی) و A<sub>1</sub> (۱۰۰ درصد فیلتر کیک) به‌ترتیب با میانگین ۳۸/۴۱ و ۳۲/۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. نتایج هم‌چنین نشان داد که مصرف کود زیستی مقدار فسفر دانه کلزا را نسبت به عدم مصرف کود زیستی افزایش داد (جدول ۴). دلیل افزایش فسفر دانه را در سطوح بالاتر کود شیمیایی نسبت به فیلتر کیک، تأثیر مصرف کودهای شیمیایی فسفردار و دسترسی آسان‌تر این عنصر برای گیاه است. از طرف دیگر در سطوح فیلتر کیک بیشترین جذب روی توسط دانه (جدول ۴) افزایش یافت و با توجه به اثر منفی بین روی و فسفر انتظار افزایش کندتر فسفر دانه در سطوح بالاتر فیلتر کیک وجود داشت (شکل ۲). از طرف دیگر استفاده از کودهای زیستی مخصوصاً بارور ۲- باعث

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مربوط به غلظت عناصر غذایی پرمصرف در دانه

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
فسفر	نیتروژن		
۰/۷ <sup>ns</sup>	۰/۲۴ <sup>ns</sup>	۲	تکرار
۸۱/۳۳ <sup>**</sup>	۰/۹۰۸ <sup>*</sup>	۴	فیلترکیک + شیمیایی
۸۱/۰۴ <sup>**</sup>	۰/۱۷ <sup>ns</sup>	۱	کود زیستی
۵/۶۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۹ <sup>ns</sup>	۴	فیلترکیک + شیمیایی × کود زیستی
۵/۲۱	۰/۲۳	۱۸	اشتباه آزمایشی
۶/۵۰	۱۶/۴		ضریب تغییرات (درصد)

\* و \*\*: به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد، ns غیر معنی دار

دانه این گیاه است و محتوی روغن و پروتئین دانه با همدیگر رابطه عکس دارند. از طرفی کاهش درصد نیتروژن و محتوی فسفر دانه می تواند سبب کاهش پروتئین و افزایش درصد روغن دانه گردد. افزایش کاربرد فیلترکیک نیشکر به عنوان کود آلی سبب افزایش محتوی آهن، روی و مس در دانه کلزا گردید. کودهای زیستی مورد استفاده در این آزمایش تأثیری بر محتوی این سه عنصر در دانه کلزا نداشتند. نکته حائز اهمیت دیگر، وجود رابطه منفی بین محتوی فسفر و روی در دانه کلزا بود. این موضوع نشان داد که هرگاه با مصرف کودهای آلی مقدار روی دانه افزایش می یابد، مقدار فسفر دانه نیز به دلیل ارتباط آنتاگونیستی بین این دو عنصر کاهش می یابد. البته این موضوع در رابطه با افزایش فسفر و کاهش روی دانه کلزا در اثر کاربرد کودهای شیمیایی نیز صدق می کند. از طرفی کاربرد کودهای آلی مقدار سرب و کودهای شیمیایی مقدار کادمیوم موجود در دانه کلزا را افزایش داد. علاوه بر آن، شواهد دیگری مانند وجود رابطه مثبت بین فسفر و کادمیوم دانه که خود در اثر کودهای شیمیایی افزایش یافته اند نیز نتایج به دست آمده را تأیید می کند. تمرکز کارهای پژوهشی در زمینه تغذیه گیاهان دانه روغنی مانند کلزا بر تلفیق روش های شیمیایی، زیستی و آلی به درستی در مجامع علمی زراعی صورت گرفته است که علاوه بر پایداری و سلامت خاک می تواند کیفیت و سلامت محصولات از جمله تغذیه متعادل محصولات را فراهم کند.



شکل ۲. تأثیر فیلترکیک + کود شیمیایی بر محتوی روی و فسفر دانه کلزا. A<sub>1</sub>: ۱۰۰ درصد فیلترکیک، A<sub>2</sub>: ۷۵ درصد فیلترکیک + کود شیمیایی، A<sub>3</sub>: ۵۰ درصد فیلترکیک + کود شیمیایی، A<sub>4</sub>: ۲۵ درصد فیلترکیک + کود شیمیایی، A<sub>5</sub>: کود شیمیایی

آزادسازی فسفر تثبیت شده در خاک می شود و در نتیجه فسفر قابل دسترس گیاه افزایش می یابد و از این طریق جذب فسفر توسط گیاه افزایش یافته است. کودهای زیستی فسفر از مهم ترین یاری کنندگان گیاه برای تأمین فسفر قابل جذب در سطح مطلوب به شمار می روند (۲۰).

## نتیجه گیری

به طور کلی افزایش فیلترکیک نیشکر، محتوی نیتروژن و فسفر در دانه کلزا را کاهش داد. هدف از کشت کلزا استحصال روغن

## منابع مورد استفاده

1. Abdel-Sabour, M. F., J. Mortvedt and j. Kelose. 1998. Exactibility of iron, zinc and cadmium in sludge amended calcareous soil. MSc. Thesis, New Mexico State University, New Mexico, USA.
2. Alidoost, R. 2001. Study the effect of different levels of compost, nitrogen and phosphorus on growth and mineral nutrition of forage corn. MSc. Thesis, Tehran University, Tehran, Iran. (In Farsi).
3. Arcila, J., J. N. Arboleda and J. Cuellar. 1989. Sugarcane. Iowa State University Press. USA.
4. Bierman, P. M. and C. J. Rose. 1994. Sewage sludge incinerator ash on soil chemical properties and growth of lettuce and corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 25: 2409-2437.
5. Bresso, L. M., C. Koch, Y. Le Bissonnais, E. Barriuso and V. Lecomte. 2001. Soil surface structure stabilization by municipal waste compost application. *Soil Science Society of America Journal* 65: 1804-1811.
6. Bull, T. A. and K. T. Glaszion. 1978. Sugarcane. PP. 51-72. In: L. T. Evans (Ed.), *Crop Physiology*, Cambridge University Pres. Cambridge, London, New York, Melbourn.
7. Eghball, B. 2002. Soil properties as influenced by phosphorus and nitrogen-based manure and compost application. *Agronomy Journal* 94: 128-135.
8. Emam, Y. and M. Niknejad. 1993. An Introduction to Physiology of Crop Yield. Shiraz University Press. Shiraz. (In Farsi).
9. Glauser, R., H. E. Doner and E. A. Poul. 1988. Soli aggregate stability as a function of particle size in sludge treated soils. *Soil Science Journal* 146: 37-43.
10. Greenland, D. J. and I. Szabolcs. 1994. Soil Resilience and Sustainable Land Use. CAB International, Wallingford, UK.
11. Holliday, D. J. 1956. The Managing of Sugarcane. Centre d'Etude de l'Azote. Geneva. Italy.
12. Hassan Dar, G. and M. M. Mishra. 1994. Influence of cd on carbon and nitrogen mineralization in sewage sludge amended soils. *Environment Pollution* 84: 285-290.
13. Johnston, H. W. 1956. Chelation between calcium and organic anions. *New Zealand Journal of Science and Technology* 37: 522-537.
14. Juan F. L. 1989. Application of Filter Muds to Sugarcane Soils. Huastecas Exprimment Station, CD. Valles, S.L.P., Mexico.
15. Karimian, N. 1998. The results of Zn application in chemical and phosphorus fertilizers. *Scientific and Research Journal of Water and Soil* 12 (14): 47-53. (In Farsi).
16. Kladiko, E. j. and D. W. Nelson 1979. Changes in soil properties from application of anaerobic sludge. *Journal of Water Pollution Control Federation* 51: 325-332.
17. Madani, H. 2004. Effect of biofertilizer barvar2 on yield and other agronomic traits of potato. MSc. Thesis, Islamic Azad University. Branch of Arak, Iran. (In Farsi).
18. Mahmoodi, H., H. Khosravi and A. Asgharzadeh. 2004. The role of biofertilizer of azetobacter in dryland wheat yield. In: Proceeding of 8<sup>th</sup> Congress of Agronomy and Plant Breeding Sciences. Iran. (In Farsi).
19. Mahmoodi, Sh. and M. Hakimian. 2005. Principals of Agrology. Tehran University Press. Tehran, Iran (In Farsi).
20. Malakouti, M. J. and M. Tehrani. 1999. The Role of Micronutrient in Maximizing of Yield and Improvement of Agricultural Productions. Tarbiat-e Modarres University Press. Tehran, Iran. (In Farsi).
21. Malakouti, M. J., M. Torabi and S. J. Tabatabaei. 2000. Effect of Cd and Methods of Alleviation of its Concentration in Agricultural Productions. Manual 67. Tat press. Jahade- Keshavarzi Ministry. Tehran, Iran. (In Farsi).
22. Martin, J. P. and K. Haider, 1976. Decompositin of specifically babeled carbon-14 labeled folic acid free and linked into model humic acid – tep polymers. *Journal of Water Pollution Control Federation* 40: 377-380.
23. Mary A. G., 1988. Bio-Recycling of Cellulosic Residues of Sugarcane to augment their Agro-Industrial Value. Sugar Processing Research Institute. Inc., New Orleans, Louisiana, USA.
24. Mazinani, H. and G. Saeid. 2004. A Glance to Compost production in Tehran. Recovery and Material Production Press. Tehran, Iran. (In Farsi).
25. Moradi Telavat, M. R. and S. A. Siadat. 2013. Introduction and Production of Oilseed Crops. Education and Extension of Agriculture. Tehran, Iran. (In Farsi).
26. Navas, A., F. Bermudez and J. Machin, 1998. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties Gypsisols. *Geoderma* 87: 123-135.
27. Robertes, T. L. 2008. Improving nutrient use efficiency. *Turkish Journal of Agriculture* 32: 177-182.