

مقاله علمی - پژوهشی

اثر کود کندرها، باگاس نیشکر و بیوجار آن بر آبشویی نیتروژن و بهره‌وری مصرف آب ذرت بهاره

آذرخش عزیزى^{۱*}، امیر سلطانی محمدی^۲، عبدعلی ناصری^۳ و علیرضا حسن اقلی^۴

چکیده

این پژوهش باهدف بررسی اثر کود کندرها، باگاس نیشکر و بیوجار آن بر آبشویی نیتروژن، عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه ذرت بهاره در سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا شد. پژوهش حاضر به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. دو نوع کود (N_1 : اوره معمولی و N_2 : اوره نیتروژل به عنوان کود کندرها) و دو نسبت ماده اصلاح کننده خاک در شش سطح (B_1 : صفر درصد باگاس و صفر درصد بیوجار، B_2 : ۱۰۰ درصد باگاس و صفر درصد بیوجار، B_3 : ۷۵ درصد باگاس و ۲۵ درصد بیوجار، B_4 : ۵۰ درصد باگاس و ۵۰ درصد بیوجار، B_5 : ۲۵ درصد باگاس و ۷۵ درصد بیوجار، B_6 : صفر درصد باگاس و ۱۰۰ درصد بیوجار) استفاده شد. نتایج نشان داد که استفاده از کود کندرها موجب افزایش ۲۰/۲ درصد عملکرد دانه، افزایش ۲۹/۳ درصد عملکرد زیست توده، افزایش ۲۰/۲ درصد بهره‌وری مصرف آب، افزایش ۷۲/۶ درصد کارایی بازیافت نیتروژن و افزایش ۱۹/۹ درصد کارایی زراعی در مقایسه با شاهد در کشت گیاه ذرت بهاره گردید. همچنین استفاده از مواد اصلاح کننده خاک باعث افزایش ۲۱/۴ درصد عملکرد دانه، افزایش ۳۴/۲ درصد عملکرد زیست توده، کاهش ۳۹/۶ درصد زه آب خروجی، افزایش ۲۱/۴ درصد بهره‌وری مصرف آب، کاهش ۶۰/۶ درصد آبشویی نیتروژن، افزایش ۸۳/۳ درصد کارایی بازیافت نیتروژن و افزایش ۲۱/۰ درصد کارایی زراعی در مقایسه با شاهد شد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر تأیید کننده تأثیر مثبت کود کندرها، باگاس و بیوجار آن در کاهش آبشویی نیتروژن و افزایش بهره‌وری مصرف آب ذرت بهاره در شرایط اقلیمی اهواز است و با توجه به مشکلاتی مانند عملکرد کم محصول، بالا بودن سطح ایستایی، آلودگی خاک و مخاطرات محیط زیستی در منطقه مورد مطالعه، به کارگیری نتایج پژوهش می‌تواند سبب ارتقاء کشاورزی منطقه و پایداری تولید شود.

واژه‌های کلیدی: اصلاح کننده خاک، خوزستان، عملکرد دانه، کارایی زراعی، لایسیمتر

مقدمه

در سال‌های اخیر، دسترسی آسان به آب شیرین به یک چالش بزرگ برای جهان تبدیل شده و منابع مختلفی مانند فاضلاب صنعتی، شهری و کشاورزی از عوامل اصلی آلودگی آب هستند. نیترات که یک شکل غیرآلی از نیتروژن است، می‌تواند با ایجاد یوتروفیکاسیون در آب‌های سطحی مشکلاتی برای انسان و حیوانات ایجاد کند (Choudhary et al., 2022). آلودگی نیترات در منابع آب زیرزمینی و سطحی در سراسر جهان به‌طور کلی با استفاده مداوم از کودهای نیتروژن در کشاورزی مرتبط است. پس از سال ۱۹۹۰، با افزایش مصرف کودهای نیتروژن در کشورهای درحال توسعه، به‌ویژه در شرق و جنوب آسیا، نسبت به کشورهای

^۱ دانش آموخته دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران (* نویسنده مسئول: a.azizy@yahoo.com)

^۲ استاد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

^۳ استاد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

^۴ عضو هیئت علمی (دانشیار) مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۴

سالانه یک میلیون و ۲۰۰ هزار تن باگاس مازاد تولید می‌شود که به علت نبود صنایع تبدیلی سوزانده می‌شود (مقیمی و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین از باگاس نیشکر به منظور کاهش نیترات در زه آب خروجی کشاورزی استفاده شده است.

یک پژوهش میدانی در دو فصل کشت ذرت در شمال غرب چین نشان داد که کود کندها به طور قابل توجهی ماده خشک، عملکرد دانه، جذب نیتروژن و کارایی جذب نیتروژن را نسبت به استفاده از کودهای اوره معمولی افزایش داده و نیترات باقیمانده در خاک را کاهش می‌دهد (Guo et al., 2021).

در تحقیقی کاکس و همکاران نشان دادند که ترکیب بیوجار و کمپوست، یک اصلاح‌کننده مؤثر برای افزایش زیست‌توده (بیوماس) و بهبود حاصلخیزی خاک است و می‌تواند سبب افزایش دسترسی گیاه به مواد غذایی شود (Cox et al., 2021). پنگ و همکاران در پژوهش بلندمدتی (۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹) نشان دادند که استفاده از بیوجار موجب کاهش تلفات نیتروژن، بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش کربن آلی خاک، تثبیت نیتروژن و افزایش جذب نیتروژن توسط ذرت خواهد شد. همچنین بیوجار ماده مؤثری برای بهبود اکوسیستم کشاورزی است (Peng et al., 2021). در یک پژوهش دو ساله تأثیر توأم آبیاری (آبیاری کامل، ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی) و بیوجار (۰ و ۲۰ تن در هکتار) و کود دامی (۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر جذب نیتروژن و عملکرد گیاه ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از بیوجار سبب افزایش عملکرد دانه ذرت خواهد شد. علاوه بر این، کاربردهای ترکیبی بیوجار و کود باعث بهبود مواد مغذی خاک، افزایش جذب مواد غذایی و کاهش آبشویی مواد معدنی در همه تیمارها بوده است (Faloye et al., 2020). نتایج پژوهش دهقانی احمدآبادی (۱۴۰۳) نشان داد که افزایش مصرف بیوجار منجر به افزایش میزان عملکرد دانه ذرت شده، به طوری که تیمار مصرف ۲۱ کیلوگرم در هکتار بیوجار دارای بیشترین عملکرد دانه به میزان ۱۱۵۵۹ کیلوگرم در هکتار و تیمار عدم مصرف بیوجار دارای کمترین مقدار عملکرد دانه به مقدار ۸۲۵۳ بوده است. نتایج نشان داد که کاربرد ۲۰ تن در هکتار خاک رس و بیوجار پوسته برنج، خواص فیزیکی خاک را بهبود بخشیده و موجب کاهش چگالی ظاهری خاک، افزایش تخلخل خاک شده

صنعتی در آمریکای شمالی و اروپا، آلودگی نیترات در آب‌های شیرین به طور فزاینده‌ای به یک مشکل جهانی تبدیل شده است. پژوهش‌ها نشان داده که کمتر از ۵۰ درصد از کود نیتروژنی که به گیاه داده شده، جذب گیاه شده و بقیه آن وارد آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی می‌گردد (Sing and Craswell, 2021). به علت پایین بودن مواد آلی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه-خشک مانند ایران، مقدار نیتروژن در خاک پایین بوده و کمبود نیتروژن یکی از مشکلات گیاهان کشت‌شده در این مناطق است و این کمبود با استفاده از انواع کودهای آلی و شیمیایی جبران می‌شود (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳).

یکی از راه‌های کاهش خطرات محیط‌زیستی و بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی استفاده از کودهای کندها است. حلالیت کودهای کندها در آب نسبت به کودهای اوره معمولی کم‌تر است و آزاد شدن عناصر به تدریج و آرامی صورت می‌گیرد (حسن‌اقلی، ۱۳۹۹). کودهای کندها با ویژگی رهاسازی تدریجی و یا کنترل‌شده، محتویات غذایی خود را به آرامی و تقریباً منطبق با نیاز غذایی گیاه در خاک آزاد می‌کنند. این کودها به منظور افزایش کیفیت و عملکرد محصول، کارایی بهتر مواد کودی و بهره‌وری اقتصادی تولیدشده‌اند. کودهای کندها از پوشش‌دار کردن ذرات کودهای شیمیایی معمولی توسط موادی که سبب کاهش سرعت انحلال آن‌ها در آب می‌شوند، تهیه می‌گردند (Ye et al., 2020). استفاده از بیوجار یا زغال‌زیستی یکی دیگر از راه‌های جلوگیری از آبشویی نیترات است. بیوجار از تجزیه حرارتی زیست‌توده، مانند برگ گیاهان، چوب، کودهای حیوانی و باقی‌مانده‌های کشاورزی که سرشار از کربن هستند، در فضای بسته که حاوی اکسیژن محدود و یا فاقد اکسیژن و تحت حرارت زیاد است به دست می‌آید. بیوجار ماندگاری زیادی در خاک داشته و مقاومت زیادی نسبت به تخریب‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی دارد. بیوجار مشکلی برای محیط‌زیست ایجاد نمی‌کند و همچنین سبب کاهش فرسایش خاک می‌شود (Chen et al., 2019).

تقاله نیشکر یا باگاس، از دیگر مواد اصلاح‌کننده خاک بوده که ۳۴ درصد وزن ساقه نیشکر را تشکیل می‌دهد و در صنایع مختلفی همچون کاغذسازی کاربرد دارد. در مجتمع‌های تولید نیشکر

۲۰ گرم در کیلوگرم خاک می‌تواند میزان آبشویی نیترات را تا ۳۰ درصد در خاک کاهش دهد (Kanthle et al., 2016). همچنین از بیوجار برای کاهش نیترات در زه‌آب استفاده گردیده است. وی و همکاران با استفاده از بیوجار در pH بین ۲ تا ۱۲، کاهش ۷۵ تا ۹۰ درصد نیترات را گزارش داده‌اند (Wei et al., 2018).

هاشمی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی کاربرد باگاس با قطر ذرات متفاوت در تصفیه زه‌آب را بررسی کرده و بازده جذب نیترات توسط الیاف باگاس نیشکر در گستره قطر ذرات ۱۰۵ تا ۱۰۰۰ میکرومتر را در محلول آبی، ۶۰ درصد برآورد کردند. تنگسیر و همکاران (۱۳۹۶) در یک مطالعه آزمایشگاهی بر روی دو نوع بستر متفاوت، نوع اول، ستون خاک فاقد باگاس نیشکر و نوع دوم، حاوی ۳۰ درصد حجمی باگاس نیشکر و ۷۰ درصد خاک، تحت شرایط کاملاً اشباع، گزارش کردند که بیش‌ترین درصد حذف نیترات در بستریهای حاوی باگاس در اواخر دوره، ۹۴ درصد است.

با توجه به بررسی‌های به‌عمل‌آمده، بازدهی کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار در کشاورزی کشور به دلایل مختلف، کم بوده و به همین دلیل ضروری است راه‌کارهای اجرایی و مدیریتی مناسب و سازگار با محیط‌زیست ارائه شود که در عین سادگی، بهره‌وری مصرف نیتروژن را افزایش داده و اثرات مخرب این شرایط را کاهش دهد. استفاده از کودهای کندرها به‌تنهایی و تأثیر مثبت آن در کاهش آبشویی نیتروژن در تحقیقات مختلف بر روی ذرت، برنج، گندم و غیره اثبات شده است. در عین حال، استفاده از مواد اصلاح‌کننده خاک مانند بیوجار و باگاس به‌دست‌آمده از محصولات کشاورزی و ضایعات آن، نه‌تنها به بهره‌برداری بهتر از پسماندهای کشاورزی و افزایش غنای مواد آلی خاک کمک می‌کند، بلکه در جذب و کاهش انتقال عوامل شیمیایی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی نیز مؤثر است. حال این ایده مطرح می‌شود که کاربرد توأم این دو عامل با یکدیگر تا چه حد می‌تواند بر کارایی مصرف نیتروژن در مزارع کشاورزی و کاهش آبشویی نیترات در خاک، به‌عنوان یک آلاینده عمده، در شرایط منطقه و تحت کشت ذرت بهاره مطرح باشد و کشاورزان با بهره‌گیری از چه روشی می‌توانند ضمن افزایش عملکرد و کاهش نهاده‌های اولیه، سبب کاهش مخاطرات محیط زیستی شوند. این پژوهش باهدف بررسی و

و عملکرد ذرت را افزایش داده است (Adriana et al., 2024). به‌منظور بررسی تأثیر بیوجار بر خصوصیات هیدرولیکی خاک و عملکرد ذرت، پژوهشی توسط تیرگرسلطانی و همکاران انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد که اضافه کردن بیوجار به خاک موجب کاهش سرعت خشک شدن خاک شده و بیوماس ۹ درصد، عملکرد دانه خشک ۷۶ درصد و بهره‌وری آب ۵۸ درصد افزایش یافته است (Tirgarsoltani et al., 2021). در پژوهشی دو ساله تأثیر توأم آبیاری (آبیاری کامل، ۶۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی) و بیوجار (۰ و ۲۰ تن در هکتار) و کود دامی (۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر جذب نیتروژن و عملکرد گیاه ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از بیوجار سبب افزایش عملکرد دانه ذرت خواهد شد. علاوه بر این، کاربردهای ترکیبی بیوجار و کود باعث بهبود مواد مغذی خاک، افزایش جذب مواد غذایی و کاهش آبشویی مواد معدنی در همه تیمارها بوده است (Faloye et al., 2020). پرتوی و همکاران تحقیقی به‌منظور تأثیر بیوجار و کاه و کلش بر آبشویی نیترات و عملکرد ذرت انجام دادند. تیمار کاه و کلش، ۵ و ۱۰ تن در هکتار و تیمار بیوجار ۲/۵ و ۵ تن در هکتار بود. نتایج نشان داد که کاربرد ۵ تن در هکتار موجب افزایش ۲۸ درصدی عملکرد دانه ذرت، کاهش ۳۱ درصدی نفوذ عمقی و کاهش ۷۱ درصدی آبشویی نیترات خواهد شد. همچنین بیوجار سبب افزایش حفظ رطوبت در ناحیه ریشه می‌گردد (Partovi et al., 2020). در تحقیقی بر روی آبشویی نیترات و تصعید آمونیاک با استفاده از ۴ سطح بیوجار (۰/۵، ۱، ۲ و ۴ درصد وزنی) بر خاک شور ساحلی صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد کاهش آبشویی نیترات در هر ۴ سطح معنی‌دار بوده و در ۰/۵ و ۱ درصد بیوجار، آبشویی نیترات با شیب زیادی کاهش یافته است (Sun et al., 2017). همچنین استفاده از بیوجار بر عمق ریشه، ماده خشک و عملکرد گیاه چغندر قند مؤثر بوده و سبب افزایش عملکرد خواهد شد (Snekapriya and Jayachandran, 2018). در کشت چغندر قند، سبب افزایش فتوسنتز گیاه و کاهش شدت تبخیر-تعرق در طی فصل رشد خواهد شد که این بهبود شرایط برای کشت‌های متوالی وجود خواهد داشت (Liao et al., 2018). در پژوهشی محققین گزارش کردند که استفاده از بیوجار با میزان

از سطح دریا است. گیاه ذرت جزو کشت‌های رایج استان خوزستان است و در دو نوبت از سال (بهاره و تابستانه) کشت می‌شود. بذره‌های کاشت شده در پژوهش حاضر، بذره‌های ضد عفونی شده ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۳ (SC 703) با قوه نامیه بالای ۹۰ درصد در کشت بهاره بود. بر اساس منابع (برزگری و همکاران، ۱۳۸۶ و کاظمی زاده، ۱۳۹۸) و نظر کارشناسان، تراکم کشت ۸۰ هزار بوته در هکتار در نظر گرفته شد. از آنجایی که سطح لایسیمترها حدود ۰/۳ مترمربع بود، برای هر لایسیمتر ۳ عدد بوته ذرت در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن تلفات احتمالی در طول فصل کشت، ۱۲ عدد بذر در عمق حدود ۵ سانتی‌متر در هر لایسیمتر با فواصل مناسب کشت گردید. سه، شش و هفت هفته بعد از شروع کشت، تنک کردن جوانه‌ها انجام شد و به ترتیب تعداد بوته‌ها به ۹، ۶ و ۳ بوته در هر لایسیمتر کاهش یافت. در جدول ۱ خصوصیات خاک محل آزمایش آورده شده است. وزن مخصوص ظاهری ذرات خاک به روش استوانه و بافت خاک به روش هیدرومتری، EC و pH در عصاره ۱۰ گرم خاک به ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر (Ming et al., 2012) و نیتروژن کل به روش کج‌لدال (Santibanez et al., 2007) اندازه‌گیری شد.

مقایسه اثر کاربرد کودهای کندرها و معمولی و درصدهای مختلف باگاس نیشکر و بیوچار حاصل از باگاس نیشکر به‌عنوان مواد اصلاح‌کننده خاک و تعیین معنی‌داری اثر کاربرد ترکیبی این دو عامل بر عملکرد، بهره‌وری و آبشویی نیترات در خاک تحت کشت ذرت بهاره انجام شد.

مواد و روش‌ها

هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی و مقایسه اثر کاربرد کودهای کندرها و معمولی و درصدهای مختلف از باگاس نیشکر و بیوچار حاصل از باگاس نیشکر به‌عنوان ماده اصلاح‌کننده خاک و تعیین معنی‌دار بودن اثر کاربرد ترکیبی این دو عامل بر جذب نیترات تحت کشت ذرت بهاره بود. آزمایش‌ها در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در لایسیمترهای زهکش‌دار با کشت گیاه ذرت در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و با دو نسبت ماده اصلاح‌کننده خاک در ۶ سطح و ۳ تکرار انجام گرفت. محل انجام آزمایش‌ها با مختصات طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و ارتفاع ۲۴ متر

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

| جرم مخصوص ظاهری | رطوبت نقطه پژمردگی دائم | رطوبت ظرفیت زراعی | رطوبت اشباع | بافت | شن | سیلت رس | هدایت الکتریکی | اسیدیته | کربن آلی |
|-------------------------|-------------------------|-------------------|-------------|--------|--------|--------------------|--------------------|---------|----------|
| (گرم بر سانتی‌متر مکعب) | (درصد) | (درصد) | (درصد) | (درصد) | (درصد) | (دسی‌زیمنس بر متر) | (دسی‌زیمنس بر متر) | (درصد) | (درصد) |
| ۱/۵۲ | ۱۱/۰ | ۲۴/۲ | ۳۹/۷ | رسی | ۲۷ | ۳۰ | ۴۳ | ۲/۹ | ۸/۱ |

گرفته شده است. در تیمار ۱۰۰ درصد بیوچار، مقدار بیوچار حاصل از باگاس نیشکر به میزان ۲ درصد وزن خاک و در تیمار ۱۰۰ درصد باگاس، مقدار باگاس برابر ۳ درصد وزن خاک است. در بقیه تیمارها، مقدار مواد اصلاح‌کننده برحسب نسبت‌های عنوان شده، لحاظ شد. بیوچار موردنیاز در این تحقیق از باگاس نیشکر (ضایعات نیشکر بعد از فرآوری در کارخانه تولید شکر) تهیه گردید. لایسیمترهای مورد استفاده شده ۳۶ عدد بشکه‌های استوانه‌ای فلزی پوشش داده شده با پشم‌شیشه به قطر ۶۰ و ارتفاع ۹۵ سانتی

دو نوع کود (N₁؛ کود اوره معمولی و N₂؛ کود اوره نیتروژل به‌عنوان کود کندرها) و دو نسبت ماده اصلاح‌کننده خاک در ۶ سطح (B₁؛ صفر درصد باگاس و صفر درصد بیوچار، B₂؛ ۱۰۰ درصد باگاس و صفر درصد بیوچار، B₃؛ ۷۵ درصد باگاس و ۲۵ درصد بیوچار، B₄؛ ۵۰ درصد باگاس و ۵۰ درصد بیوچار، B₅؛ ۲۵ درصد باگاس و ۷۵ درصد بیوچار، B₆؛ صفر درصد باگاس و ۱۰۰ درصد بیوچار) استفاده شد و تیمار N₁B₁ (کود نیتروژل و صفر درصد باگاس و صفر درصد بیوچار) به‌عنوان تیمار شاهد در نظر

از رسیدن رطوبت خاک داخل لایسیمتر به ظرفیت زراعی، ۲۰ درصد به حجم آب آبیاری محاسبه شده اضافه گردید. بر این اساس حجم آب آبیاری در همه تیمارها یکسان و برابر ۸۷۹۶ مترمکعب در هکتار بود. برای تعیین نیتروژن زه آب، در طول دوره رشد گیاه و به منظور بررسی آبشویی نیترات در تیمارهای مختلف، در پایان هر آبیاری، کل زه آب لایسیمترها در ظروف مخصوص دردار جمع‌آوری و مقدار آن ثبت شد. به منظور بررسی تغییرات آبشویی نیترات در اعماق مختلف نیمرخ خاک، اندازه‌گیری نیترات در طول دوره آزمایشی، در فواصل مشخص و در هفت نوبت آبیاری صورت گرفت. این هفت نوبت عبارتند از ۱: آبیاری اول، ۲: آبیاری دوم (تقسیم اول کود اوره معمولی)، ۳: آبیاری قبل از تقسیم دوم کود اوره معمولی، ۴: آبیاری در حین تقسیم دوم کود اوره معمولی، ۵: آبیاری قبل از تقسیم سوم کود اوره معمولی، ۶: آبیاری در حین تقسیم سوم کود اوره معمولی و ۷: آبیاری آخر. برای اندازه‌گیری نیترات، درپوش زهکش‌ها در اعماق ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متری برداشته شد و زهاب در ظروف مخصوص جمع‌آوری و مجدداً درپوش زهکش‌ها بسته شد. در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR5000 مقدار نیترات هر نمونه اندازه‌گیری شد و طول موج اشعه تابشی دستگاه در این روش برابر ۲۷۵ نانومتر بود (رمضانی مقدم، ۱۳۹۳). در بعضی موارد مقدار نیترات بیشتر از حد مجاز اندازه‌گیری دستگاه بود که در این صورت با رقیق کردن نمونه، مقادیر نیترات اندازه‌گیری و سپس اصلاح شد. در پایان فصل کشت در تاریخ ۳ خرداد ۱۳۹۹، برداشت به صورت دستی انجام شد و گیاه از قسمت طوقه بریده و همراه با برچسب (که مشخص‌کننده شماره لایسیمتر و نوع تیمار اعمال شده بود) به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه وزن هر گیاه اندازه‌گیری و سپس کل گیاه ذرت در گرم‌خانه در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و وزن خشک زیست‌توده و وزن دانه‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری نیترات جذب‌شده توسط گیاه، پس از انجام آزمایش، بوته گیاه از زیر محل طوقه چیده و با شستشوی آن‌ها توسط آب و آب مقطر، نمونه‌ها به مدت ۲ روز در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و پس از خشک شدن، وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد به منظور تعیین درصد

متر بود میزان مواد اصلاح‌کننده موردنیاز برای هر لایسیمتر، در حجمی از خاک و دربرگیرنده سطح لایسیمتر در عمق ۲۵ سانتی‌متر محاسبه و پس از اختلاط کامل با خاک در لایسیمترها ریخته شد. در تاریخ ۲۰ اسفند ۱۳۹۸ در هر لایسیمتر پنج بذر ذرت سینگل کراس ۷۰۳ کشت شد. مقدار کودهای موردنیاز بر اساس آزمون خاک و توصیه کارشناسان بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع خوزستان تعیین شد. نیتروژن موردنیاز گیاه به مقدار ۲۷۳ کیلوگرم در هکتار تعیین گردید که با توجه به بازدهی کودهای اوره معمولی و کود کندرها (نیتروژن) به خاک اضافه شد. کود اوره نیتروژل به صورت پایه در آبیاری دوم و کود اوره معمولی در سه تقسیم مساوی، تقسیم اول قبل از آبیاری دوم، تقسیم دوم در مرحله چهار تا شش برگی شدن گیاه و تقسیم سوم قبل از ظهور گل تاجی (گل نر) به گیاه داده شد. همچنین مقدار ۲۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس و فسفات تربیل به خاک اضافه و تا عمق ۱۰ سانتی‌متری مخلوط شد. آبیاری لایسیمترها به صورت سطحی و تعیین زمان آبیاری بر اساس ۵۰ میلی‌متر تبخیر جمعی از تشتک تبخیر صورت گرفت (شکوه‌فر و همکاران، ۱۳۸۸). تشتک تبخیر در فاصله حدود ۱۵ متری لایسیمترها و بر اساس دستورالعمل‌های موجود نصب گردید (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷). تبخیر- تعرق روزانه گیاه مرجع (ET_o) با توجه به تبخیر از تشتک تبخیر و اعمال ضریب تشتک محاسبه شد. تشتک تبخیر استفاده‌شده در این پژوهش مربوط به پروژه‌های انجام‌گرفته در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان بود و ضریب تشتک استفاده‌شده از طریق واسنجی مقدار ۰/۸۲ به دست آمده است. تبخیر- تعرق گیاه (ET_c) در هر مرحله از رشد با اعمال ضریب گیاهی ذرت محاسبه گردید. ضریب گیاهی با توجه با فصل کشت و طول دوره رشد گیاه متغیر بوده و بر اساس منابع (برزگری و همکاران، ۱۳۸۶ و معیری، ۱۳۹۷) انتخاب و با توجه به تجربه کارشناسان و محققین مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اصلاح شد. حجم آب آبیاری در هر نوبت با توجه به سطح لایسیمتر، مقدار تبخیر از تشتک تبخیر با اعمال ضریب تشتک تبخیر و ضریب گیاهی در هر مرحله رشد محاسبه و به منظور خروج زه آب قابل قبولی از لوله‌های زهکش و اطمینان

کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین مقدار میانگین عملکرد دانه و وزن زیست‌توده در تیمار N_1 (تیمار کود اوره) به‌ترتیب با ۳۱۱۰ و ۱۴۱۱۸ کیلوگرم در هکتار بود. استفاده از کود کندها موجب افزایش ۲۰/۲ درصد عملکرد دانه و افزایش ۲۹/۳ درصد عملکرد زیست‌توده نسبت به شاهد شد. در تیمارهای اصلاح‌کننده‌های خاک، بیشترین مقدار میانگین عملکرد دانه و وزن زیست‌توده در تیمار B_2 (تیمار ۱۰۰ درصد باگاس) به‌ترتیب با ۳۲۷۶ و ۱۴۹۱۵ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین مقدار میانگین عملکرد دانه و وزن زیست‌توده در تیمار B_1 (تیمار بدون ماده اصلاح‌کننده خاک) به‌ترتیب با ۲۸۱۸ و ۱۱۳۹۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۳). کاربرد مواد اصلاح‌کننده خاک باعث افزایش ۲۱/۴ درصد عملکرد دانه و افزایش ۳۴/۲ درصد عملکرد زیست‌توده نسبت به شاهد گردید. مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه و وزن زیست‌توده نشان‌دهنده آن است که استفاده از کودهای اوره کندها و مواد اصلاح‌کننده خاک تأثیر معنی‌دار بر عملکرد دانه و وزن زیست‌توده داشته و سبب افزایش آن می‌شود. همچنین استفاده از باگاس، بیوجار و نسبت‌های آن‌ها بر عملکرد دانه و وزن زیست‌توده در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار با هم نداشته است، باین‌حال استفاده از باگاس، عملکرد دانه و وزن زیست‌توده را به‌ترتیب ۲۱/۴ درصد و ۳۴/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد که این افزایش به دلیل بهبود ساختمان خاک، افزایش نگهداشت آب و مواد آلی در خاک نسبت به استفاده از بیوجار است. در یک آزمایش دو ساله با مقایسه کاربرد کودهای کندها در مقابل کود اوره معمولی، کاربرد اوره پوشش داده‌شده با گوگرد، عملکرد دانه ذرت را ۲/۳ درصد افزایش داد (Guo et al., 2021). همچنین در تحقیقی در چین، استفاده از کود کندها موجب افزایش ۱۰/۰۸ درصدی عملکرد دانه ذرت نسبت به شاهد (کود اوره معمولی) شد (Zhang et al., 2022). کاظمی‌زاده (۱۳۹۸) بر اساس نتایج پژوهشی بیان کرد که کاربرد مواد اصلاح‌کننده خاک به دلیل سطح ویژه بیشتر و همچنین داشتن خلل و فرج درشت به شکل حفره‌های لانه‌زنبوری، اثر زیادی بر افزایش عملکرد دانه داشته است. این افزایش عملکرد ناشی از اثرات مستقیم (عناصر غذایی موجود در زیست‌توده که طی فرآیند تجزیه حرارتی به بیوجار و

جذب نیترات توسط گیاه تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی، نمونه‌ها آسیاب شده و پس از اعمال روش هضم تر به‌وسیله اسیدسولفوریک، اسید سالیسیک، سلنیم و آب‌اکسیژنه، مقدار نیترات کل در نمونه‌های گیاهی به روش تیتراسیون بعد از تقطیر با استفاده از دستگاه کج‌دال اندازه‌گیری شد (Eastin, 1978). همچنین مقدار نیترات جذب‌شده توسط کل گیاه، از حاصل ضرب وزن زیست‌توده گیاه (کیلوگرم در هکتار) در مقدار درصد نیترات نمونه گیاه به دست آمد. بهره‌وری آب از رابطه (۱)، کارایی بازیافت نیتروژن از رابطه (۲) و کارایی زراعی از رابطه (۳) محاسبه شد (کاظمی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹، کاظمی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸، جوادی، ۱۳۹۷ و Timsina et al. 2001).

$$WP = G_w / W \quad (1)$$

$$N_{upE} = (N_{off} / N_s) \times 100 \quad (2)$$

$$N_{uEg} = (G_w / N_s) \quad (3)$$

که در روابط بالا WP بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، G_w عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)، W آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)، N_{upE} کارایی بازیافت نیتروژن (درصد)، N_{off} نیتروژن جذب‌شده توسط زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار)، N_s نیتروژن مصرفی (کیلوگرم در هکتار) و N_{uEg} کارایی زراعی (کیلوگرم بر کیلوگرم) می‌باشند. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS.v22 و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک (درصد‌های مختلف ترکیب باگاس و بیوجار) و کودهای مختلف (کود اوره و کود کندها) بر عملکرد دانه و وزن زیست‌توده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، اما برهم‌کنش متقابل کودهای مختلف و کاربرد اصلاح‌کننده خاک بر عملکرد دانه و وزن زیست‌توده اثر معنی‌دار نداشت. در تیمارهای نوع کود، بیش‌ترین مقدار میانگین عملکرد دانه و وزن زیست‌توده در تیمار N_2 (تیمار کود کندها) به‌ترتیب با ۳۲۴۵ و ۱۴۲۶۹

۰/۳۷ و ۰/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. مقایسه میانگین‌های بهره‌وری مصرف آب نشان‌دهنده آن است که استفاده از کودهای اوره کندرها و مواد اصلاح‌کننده خاک تأثیر معنی‌دار بر بهره‌وری مصرف آب داشته و سبب افزایش آن می‌شود. هم‌چنین استفاده از باگاس، بیوپار و نسبت‌های آن‌ها بر بهره‌وری مصرف آب در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار با هم نداشته است، اما استفاده از باگاس بهره‌وری مصرف آب را نسبت شاهد، ۲۱/۴ درصد افزایش داده است. استفاده از کودهای کندرها، موجب افزایش ۲۰/۲ درصدی بهره‌وری مصرف آب نسبت به شاهد شده است که در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است. در پژوهشی مشابه افزودن بیوپار به خاک موجب افزایش عملکرد دانه شده و در نتیجه بهره‌وری آب ۵۸ درصد افزایش یافته است (Tirgarsoltani et al., 2021). میانگین بهره‌وری مصرف آب در کشت بهاره با کاربرد بیوپار حاصل از نیشکر ۱۷ درصد و در کشت تابستانه ۵ درصد نسبت به کاربرد کود اوره افزایش یافته است (کاظمی زاده، ۱۳۹۸). در خصوص زه‌آب خروجی از لایسیمتراها، با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر کودهای مختلف (اوره و کندرها) بر زه‌آب خروجی در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌دار نداشت، اما اثر کاربرد اصلاح‌کننده خاک (درصدهای مختلف ترکیب باگاس و بیوپار) در سطح احتمال پنج درصد بر مقدار زه‌آب خروجی از لایسیمتراها مؤثر است. به دلیل بهبود ساختمان خاک در اثر مواد اصلاح‌کننده و افزایش خلل و فرج، ظرفیت نگهداشت آب در خاک بالا رفته و از خروج زه‌آب جلوگیری می‌کند (نیک‌روش و همکاران، ۱۳۹۷). در تیمارهای اصلاح‌کننده‌های خاک، بیشینه زه‌آب خروجی در تیمار B₁ (تیمار بدون ماده اصلاح‌کننده خاک) و کمینه زه‌آب خروجی در تیمار B₂ (تیمار ۱۰۰ درصد باگاس) به ترتیب با ۱۶۷/۷ و ۱۰۳/۶ میلی‌متر مشاهده شده است. مقایسه میانگین‌های زه‌آب خروجی نشان‌دهنده آن است که استفاده از مواد اصلاح‌کننده خاک تأثیر معنی‌دار بر زه‌آب خروجی داشته و سبب کاهش آن می‌شود. استفاده از باگاس زه‌آب خروجی را نسبت به شاهد، ۳۹/۶ درصد کاهش داده است. به دلیل بهبود ساختمان خاک در اثر مواد اصلاح‌کننده و افزایش خلل و فرج، ظرفیت نگهداشت آب در خاک بالا رفته و از خروج زه‌آب جلوگیری می‌کند (نیک‌روش و همکاران،

هیدروچار تبدیل‌شده) و غیرمستقیم (بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک) آن‌ها می‌باشد اضافه کردن بیوپار به خاک موجب افزایش ۹ درصدی وزن زیست‌توده و ۷۶ درصدی عملکرد دانه خشک‌شده است (Tirgarsoltani et al., 2021). در پژوهشی، کاربرد بیوپار حاصل از نی به مقدار ۸ تن و ۱۶ تن در هکتار در کشت ذرت موجب افزایش معنی‌دار عملکرد به مقدار ۶۵/۴ و ۷۲/۱ درصد نسبت به تیمار شاهد شد (Hu et al., 2021). در کشت بهاره ذرت، گرم شدن هوا در مرحله رویشی و زایشی گیاه تعداد دانه و در مرحله پرشدن دانه، وزن دانه را کاهش داده و موجب کاهش عملکرد دانه خواهد شد و کشت بهاره ذرت به‌عنوان تولید علوفه کاربرد دارد. هوای گرم از یک‌سو باعث کاهش قدرت باروری دانه‌های گرده شده و در نتیجه درصد کچلی بلال افزایش می‌یابد و از سوی دیگر با ایجاد ناهماهنگی در ظهور گل‌های نر و ماده می‌تواند درصد بوته‌های نازا را افزایش دهد. گزارش‌ها حاکی از آن است که تعداد دانه در بلال تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفته و با افزایش طول دوره رشد، تعداد دانه در بلال افزایش پیدا می‌کند (Oktem et al., 2004). در خوزستان، کشت بهاره به دلیل مناسب بودن دمای هوا، سطح برگ و رشد رویشی گیاه با شیب بیشتری افزایش یافته و همین عامل دلیل اصلی افزایش علوفه‌تر در این فصل کشت است (کیهانی، ۱۳۹۵).

با توجه به اینکه مقدار آب مصرفی برای همه تیمارها یکسان بود، می‌توان انتظار داشت که مقایسه میانگین‌ها و معنی‌دار بودن اثر تیمارها بر بهره‌وری مصرف آب نتایج مشابهی با نتایج عملکرد دانه داشته باشد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر کودهای مختلف (کود اوره و کود کندرها) و کاربرد مواد اصلاح‌کننده خاک (درصدهای مختلف ترکیب باگاس و بیوپار) در سطح احتمال پنج درصد بر بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار بود. در تیمارهای نوع کود، کمینه بهره‌وری مصرف آب در تیمار N₁ (تیمار کود اوره) با ۰/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب و بیشینه بهره‌وری مصرف آب در تیمار N₂ (تیمار کود کندرها) با ۰/۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود و در تیمارهای اصلاح‌کننده‌های خاک، بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب در تیمار B₂ (تیمار ۱۰۰ درصد باگاس) و کم‌ترین بهره‌وری مصرف آب در تیمار B₁ (تیمار بدون ماده اصلاح‌کننده خاک) به ترتیب با

۱۳۹۷). در پژوهشی استفاده از ۵ تن در هکتار کاه و کلش به عنوان ماده اصلاح کننده خاک، موجب کاهش ۷۱ درصدی آبشویی نیترات گردیده است (Partovi et al., 2020). همچنین استفاده از پنج درصد وزنی بیوجار و کود دامی در خاک لوم شنی، باعث کاهش ۸۶ درصدی آبشویی نیترات و مواد مغذی در مقایسه با کود معمولی شد (Lebrun et al., 2022). کاربرد دو درصد وزنی بیوجار، در کشت ذرت موجب کاهش ۲۵ تا ۵۲ درصد تلفات نیتروژن نسبت به استفاده از کود معمولی گردید (Xia et al., 2022).

جدول ۲- تجزیه واریانس پارامترهای اندازه گیری شده

| میانگین مربعات | | | | | | | | |
|---------------------------|------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| منابع تغییر | درجه آزادی | عملکرد دانه | وزن زیست توده | بهره وری مصرف آب | زه آب | آبشویی نیترات | کارایی باز یافت نیتروژن | کارایی زراعی |
| تکرار | ۲ | ۲۵۴۳/۱۵ ^{ns} | ۵۲۱۲/۳۰ ^{ns} | ۰/۰۰۰۰۳ ^{ns} | ۲/۰۸ ^{ns} | ۳/۳۸ ^{ns} | ۰/۴۰۳ ^{ns} | ۰/۰۳۵ ^{ns} |
| نوع کود | ۱ | ۱۶۲۵۷۳/۸* | ۵۶۷۵۴۴/۶۸ ^{ns} | ۰/۰۰۲۱۰* | ۲۴/۵۰ ^{ns} | ۲۴/۰۱ ^{ns} | ۱۹۷/۴۰۲* | ۲/۵۶* |
| نوع اصلاح کننده | ۵ | ۱۸۱۷۳۱/۲۲* | ۵۸۶۸۹۷۳۰/۰* | ۰/۰۰۲۴۳* | ۳۱۷۲/۰۶* | ۶۶/۹۰* | ۹۶۹/۶۶۰* | ۲/۹۴* |
| نوع کود X نوع اصلاح کننده | ۵ | ۴۲۶۳/۲۴ ^{ns} | ۱۸۲۳۱۳/۸۳ ^{ns} | ۰/۰۰۰۰۵ ^{ns} | ۲۵/۳۲ ^{ns} | ۱/۴۳ ^{ns} | ۰/۸۹۹ ^{ns} | ۰/۰۵۲ ^{ns} |
| خطا | ۲۲ | ۱۴۶۶۰/۷۸ | ۱۴۶۶۰/۷۸ | ۰/۰۰۰۱۸ | ۱۳/۴۱ | ۱۷/۱۵ | ۱/۸۰۹ | ۰/۲۳۹ |
| ضریب تغییرات | | ۶/۴ | ۸/۱۷ | ۶/۴۱ | ۱۶/۹۱ | ۴۳/۰۶ | ۱۷/۰۰ | ۶/۴۰ |

ns: فاقد اثر معنی دار، **: معنی دار در سطح پنج درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین های پارامترهای اندازه گیری شده

| تیمار | عملکرد دانه | وزن زیست توده | بهره وری مصرف آب | زه آب | آبشویی نیترات | کارایی باز یافت نیتروژن | کارایی زراعی |
|------------------|--------------------|--------------------|----------------------|------------|--------------------|-------------------------|----------------------|
| | (کیلوگرم در هکتار) | (کیلوگرم در هکتار) | (کیلوگرم در مترمکعب) | (میلی متر) | (کیلوگرم در هکتار) | (درصد) | (کیلوگرم در کیلوگرم) |
| نوع کود | | | | | | | |
| N ₁ | ۳۱۱۰ b | ۱۴۱۱۸ b | ۰/۲۵ b | ۱۲۸/۳ | ۱۰/۶ | ۶۸/۶ b | ۱۲/۲ b |
| N ₂ | ۳۲۴۵ a | ۱۴۲۶۹ a | ۰/۳۶ a | ۱۲۶/۶ | ۹/۰ | ۷۳/۲ a | ۱۲/۸ a |
| ماده اصلاح کننده | | | | | | | |
| B ₁ | ۲۸۱۸ b | ۱۱۳۹۲ b | ۰/۳۲ b | ۱۶۷/۷ a | ۱۵/۱ a | ۴۵/۱ b | ۱۱/۱ b |
| B ₂ | ۳۲۷۶ a | ۱۴۹۱۵ a | ۰/۳۷ a | ۱۰۳/۶ f | ۱۲/۱ ab | ۷۴/۷ a | ۱۳/۰ a |
| B ₃ | ۳۲۷۳ a | ۱۴۸۴۷ a | ۰/۳۶ a | ۱۱۰/۱ e | ۱۰/۱ bc | ۷۵/۸ a | ۱۲/۹ a |
| B ₄ | ۳۲۴۶ a | ۱۴۸۱۴ a | ۰/۳۶ a | ۱۱۸/۹ d | ۸/۰ c | ۷۵/۷ a | ۱۲/۹ a |
| B ₅ | ۳۲۳۴ a | ۱۴۷۷۵ a | ۰/۳۵ a | ۱۲۸/۲۱ c | ۷/۲ c | ۷۶/۵ a | ۱۲/۲ a |
| B ₆ | ۳۲۱۶ a | ۱۴۷۲۰ a | ۰/۳۶ a | ۱۳۶/۲ b | ۶/۳ c | ۷۷/۸ a | ۱۲/۸ a |

بر اساس آزمون دانکن، در هر ستون و برای هر عامل آزمایشی، میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک باشند، از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

اثر کودهای مختلف (اوره و کندرها) بر آبشویی نیترات در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی دار نداشت، اما اثر کاربرد اصلاح کننده خاک (درصد های مختلف ترکیب باگاس و بیوجار) در سطح احتمال پنج درصد بر آبشویی نیترات مؤثر است. در تیمارهای

درصد افزایش داده‌است. در تیمارهایی که از درصدهای بیش‌تری از بیوجار استفاده شده‌است، به دلیل قابلیت نگهداشت نیتروژن و جلوگیری از آبشویی آن، نیتروژن به سهولت در اختیار گیاه قرار گرفته و توسط گیاه جذب شده‌است. به همین علت مقادیر کارایی بازیافت نیتروژن در این تیمارها بیش‌تر می‌باشد. همچنین استفاده از کودهای کُندرها، موجب افزایش ۷۲/۶ درصدی کارایی بازیافت نیتروژن نسبت به شاهد شده که در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است. استفاده از بیوجار سبب بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش کربن آلی خاک، کاهش تلفات نیتروژن، تثبیت نیتروژن و افزایش جذب نیتروژن توسط ذرت خواهد شد (Peng et al., 2021).

کودهای کُندرها، آزادسازی مواد غذایی به خاک را کندتر و یکنواخت‌تر از کوددهی متداول ممکن می‌سازد. در مقایسه با کود اوره معمولی، کود اوره پوشش‌دار می‌تواند موجب افزایش عملکرد محصول، کارایی بازیافت نیتروژن و کاهش آلودگی آب، خاک، مزارع و محیط‌زیست شود (Blackshaw et al. 2011). با کاربرد کود کُندرها، راندمان مصرف نیتروژن ۴۷/۵۵ درصد نسبت به شاهد (کود اوره معمولی) افزایش یافته است (Zhang et al., 2022). اثر کودهای مختلف (اوره و کُندرها) و کاربرد اصلاح‌کننده خاک بر کارایی زراعی در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بود. در تیمارهای نوع کود، حداکثر کارایی بازیافت نیتروژن در تیمار N₂ (تیمار کود کُندرها) با ۱۲/۸ کیلوگرم بر کیلوگرم و حداقل آن در تیمار N₁ (تیمار کود اوره) با ۱۲/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم و در تیمارهای اصلاح‌کننده‌های خاک، بیش‌ترین کارایی زراعی در تیمار B₂ (تیمار ۱۰۰ درصد باگاس) و کم‌ترین کارایی زراعی در تیمار B₁ (تیمار بدون ماده اصلاح‌کننده خاک) به ترتیب با ۱۳/۰ و ۱۱/۱ کیلوگرم بر کیلوگرم مشاهده می‌شود.

مقایسه میانگین‌های کارایی زراعی نشان‌دهنده آن است که استفاده از کودهای اوره کُندرها و مواد اصلاح‌کننده خاک تأثیر معنی‌دار بر کارایی زراعی داشته و سبب افزایش آن می‌شود. استفاده از باگاس، بیوجار و نسبت‌های آن‌ها بر کارایی زراعی در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار با هم نداشته است، اما استفاده از باگاس کارایی زراعی را نسبت به شاهد، ۲۱/۰ درصد

اصلاح‌کننده‌های خاک، حداکثر آبشویی نیترات در تیمار B₁ (تیمار بدون ماده اصلاح‌کننده خاک) و حداقل آبشویی نیترات در تیمار B₆ (تیمار ۱۰۰ درصد بیوجار) به ترتیب با ۱۵/۱ و ۶/۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شده است. مقایسه میانگین‌های آبشویی نیترات نشان‌دهنده آن است که استفاده از مواد اصلاح‌کننده خاک در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌دار بر آبشویی نیترات داشته و سبب کاهش آن می‌شود. استفاده از بیوجار آبشویی نیترات را نسبت به شاهد، ۶۰/۶ درصد کاهش داده است. دلیل این کاهش به علت سطح ویژه بیش‌تر و جذب نیترات توسط بیوجار و نگهداری آن در خلل و فرج‌های بیوجار می‌باشد. نتایج مشابهی توسط خداحمی و همکاران (۱۳۹۸)، کاظمی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹)، نیک‌روش و همکاران (۱۳۹۷) و خادم و همکاران (۱۳۹۵) در خصوص کاربرد مواد اصلاح‌کننده خاک بر افزایش جذب نیترات به دست آمده است. با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر کودهای مختلف (اوره و کُندرها) و کاربرد اصلاح‌کننده خاک بر کارایی بازیافت نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری بود. در تیمارهای نوع کود، بیشینه کارایی بازیافت نیتروژن در تیمار N₂ (تیمار کود کُندرها) با ۷۳/۲ درصد و کمینه آن در تیمار N₁ (تیمار کود اوره) با ۶۸/۶ درصد و در تیمارهای اصلاح‌کننده‌های خاک، بیش‌ترین کارایی بازیافت نیتروژن در تیمار B₆ (تیمار ۱۰۰ درصد بیوجار) و کم‌ترین کارایی بازیافت نیتروژن در تیمار B₁ (تیمار بدون ماده اصلاح‌کننده خاک) به ترتیب با ۷۷/۸ و ۴۵/۱ درصد می‌باشد. در هر دو نوع کود استفاده شده، مقدار نیتروژنی که وارد خاک شده مقدار یکسانی است، ولی به علت ویژگی‌های کود کُندرها، نیتروژن به‌مرور و به تدریج وارد محلول خاک شده و گیاه قابلیت جذب و عملکرد بیشتری داشته و به همین دلیل مقادیر کارایی بازیافت نیتروژن در کودهای کُندرها بیشتر است. مقایسه میانگین‌های کارایی بازیافت نیتروژن نشان‌دهنده آن است که استفاده از کودهای اوره کُندرها و مواد اصلاح‌کننده خاک تأثیر معنی‌دار بر کارایی بازیافت نیتروژن داشته و سبب افزایش آن می‌شود. استفاده از باگاس، بیوجار و نسبت‌های آن‌ها بر کارایی بازیافت نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار با هم نداشته است، اما استفاده از بیوجار کارایی بازیافت نیتروژن را نسبت به شاهد، ۸۳/۳

باشد و با مدیریت صحیح مزرعه می‌توان به‌خوبی از این ماده اصلاح‌کننده خاک استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

با تشکر از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (SCU.WI99.273:GN) که هزینه‌های این پژوهش را تأمین نمودند. همچنین از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به خاطر فراهم کردن امکانات و همکاری در انجام این پژوهش، قدردانی می‌شود.

منابع

برزگری، م.، آفرینش، ع.، اسلامی‌زاده، ر.، قنبری بیرگانی، د.، زاده دباغ، غ.، میرزاشاهی، ک.، سلیم پور، س. و خرمیان، م. ۱۳۸۶. نشریه ترویجی کاشت، داشت و برداشت ذرت در استان خوزستان. وزارت جهاد کشاورزی، سازمان جهاد کشاورزی خوزستان ترویج و نظام بهره‌برداری، ۲۸ صفحه.

تنگسیر، س.، ناصری، ع.ع.، معاضد، ه.، هاشمی گرم دره، س.ا. و برومند نسب، س. ۱۳۹۶. بررسی عملکرد باگاس نیشکر به عنوان منبع کربنی مورد نیاز در طراحی بسترهای دنیتریفیکاسیون. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۴۰ (۲): ۳۹-۵۷.

جوادی، ح.، رضوانی‌مقدم، پ.، راشد‌محصل، م.ح. و ثقه‌الاسلامی، م.ج. ۱۳۹۷. اثر سطوح مختلف نیتروژن و کود سبز بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در خرفه. نشریه به‌زراعی کشاورزی. ۲۰ (۲): ۴۵۳-۴۶۵.

حسن اقلی، ع. ۱۳۹۹. تعیین اثر کاربرد توأم بیوجار نیشکر و کود کندرها بر میزان آبشویی نترات به عمق خاک. گزارش پایانی پروژه تحقیقاتی. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. ۹۸ صفحه.

خادم، ا.، رئیسی، ف. و بشارتی، ح. ۱۳۹۵. تأثیر دمای گرماکافت بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوجار ذرت و تصاعد دی‌اکسید کربن از خاک. دومین کنگره ملی توسعه و ترویج مهندسی کشاورزی و علوم خاک ایران. خرداد. تهران. ۵ (۱): ۱۳-۳۰.

افزایش داده‌است. همچنین استفاده از کودهای کندرها، موجب افزایش ۱۹/۹ درصدی کارایی زراعی نسبت به شاهد شده که در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است. به علت یکسان بودن نیتروژن مصرفی در کلیه تیمارها، عوامل مؤثر بر عملکرد، بر کارایی زراعی نیز مؤثر بوده است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد استفاده از تیمار کودهای کندرها باعث افزایش ۲۰/۲ درصد عملکرد دانه ذرت بهاره، افزایش ۲۹/۳ درصد عملکرد زیست‌توده، افزایش ۲۰/۲ درصد بهره‌وری مصرف آب، ۷۲/۶ درصد افزایش کارایی بازیافت نیتروژن و افزایش ۱۹/۹ درصد کارایی زراعی در مقایسه با تیمار شاهد شده است. کودهای کندرها، اوره را در محلول خاک به‌صورت تدریجی آزاد کرده و از آبشویی نیتروژن جلوگیری کرده و به‌تدریج نیتروژن موردنیاز گیاه را تأمین می‌کنند که این امر باعث افزایش فتوسنتز و رشد رویشی ذرت می‌شود.

با این حال، با توجه به قیمت بالای کودهای کندرها، در صورت تقسیم مناسب کود اوره معمولی و استفاده از سامانه‌های آبیاری نوین و تزریق به‌موقع کود اوره، می‌توان از لحاظ اقتصادی استفاده از کودهای اوره معمولی را توجیه کرد. همچنین استفاده از تیمار مواد اصلاح‌کننده خاک مانند بیوجار و باگاس، باعث افزایش ۲۱/۴ درصد عملکرد دانه، افزایش ۳۴/۲ درصد عملکرد زیست‌توده، کاهش ۳۹/۶ درصد زه‌آب خروجی، افزایش ۲۱/۴ درصد بهره‌وری مصرف آب، کاهش ۶۰/۶ درصد آبشویی نیتروژن، افزایش ۸۳/۳ درصد کارایی بازیافت نیتروژن و افزایش ۲۱/۰ درصد کارایی زراعی در مقایسه با شاهد گردید.

بیوجار به علت داشتن سطح ویژه بیشتر نسبت به باگاس، قابلیت نگهداشت نیتروژن بیشتری نسبت به باگاس دارد، اما به دلیل قیمت زیاد بیوجار و برخی ویژگی‌های باگاس (مانند در دسترس بودن، سهولت تهیه باگاس، افزایش مواد آلی خاک، بهبود ساختمان خاک) استفاده از باگاس مقرون به‌صرفه‌تر بوده و ممکن است کشاورز رغبت بیشتری برای تهیه و استفاده از باگاس داشته

- شده و سوپر جاذب بر برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳ (۲): ۵۱۱-۵۰۰.
- نیک‌روش، ا.، برومند نسب، س.، ناصری، ع.ع. و سلطانی محمدی، ا. ۱۳۹۷. بررسی اثر کاربرد بیوجار و هیدروچار کاه گندم بر خصوصیات فیزیکی یک خاک لوم- شنی. مجله آب و خاک. ۳۲ (۲): ۳۹۷-۳۸۷.
- وزیری، ژ.، انتصاری، م.، حیدری، ن.، سلامت، ع.، مسچی، م. و دهقانی‌سانج، ح. ۱۳۸۷. تبخیر- تعرق- گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب موردنیاز گیاهان). تهران کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۳۶۲ صفحه.
- هاشمی، م.، ناصری، ع.ع. و تکدستان، ا. ۱۳۹۶. بررسی کارایی جاذب باگاس نیشکر در حذف نیترات از زهاب خروجی کشاورزی. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۴۰ (۳): ۱-۱۰.
- Adrinal, Gusmini, Putri, E. L. and Delind, N. M.F. 2024. Application of Clay and Rice Husk Biochar and its effect on Soil Pore Distribution of Psamment and Corn Yield. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 1306(1):012025. DOI:10.1088/1755-1315/1306/1/012025
- Blackshaw, R. E., Hao, X. R., Brandt, N., Clayton, G. W., Harker, K. N., O'Donovan, J. T., Johnson, E. N. and Vera, C. L. 2011. Canola response to ESN and urea in a four-year no-till cropping system. *Agronomy Journal*. 103: 92-99.
- Chen, W., Meng, J., Han, X., Lan, Y. and Zhang, W. 2019. Past, present and future of biochar. *Shenyang Agricultural University*. 1: 75-87.
- Choudhary, M., Muduli, M. and Ray, S. 2022. A comprehensive review on nitrate pollution and its remediation: conventional and recent approaches. *Sustain. Water Resour. Manag.* 8 (4): 113.
- Cox, J., Hue, N. V., Ahmad, A. and Kobayashi, K. D. 2021. Surface-applied or incorporated biochar and compost combination improves soil fertility, Chinese cabbage and papaya biomass. *Biochar journal*. 3:213-227.
- Eastin, E. F. 1978. Total nitrogen determination for plant material containing nitrate. *Analytical Biochemistry*, 85(2): 591-594.
- Faloye, O.T., Ajayi, A.E., Alatise, M.O., Ewulo, B.S and Horn, R. 2020. Nutrient uptake, maximum yield production, and economic return of maize under deficit irrigation with biochar and inorganic fertiliser amendments. *Biochar Journal*. (1): 375-388.
- خدارحمی، ی.، برومندنسب، س.، سلطانی‌محمدی، ا. و ناصری، ع.ع. ۱۳۹۸. ارزیابی و مقایسه تأثیر هیدروچار اصلاح دهقانی احمدآبادی، م. ۱۴۰۳. بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت دانه‌ای (Mays Zea) تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری بخشی ریشه و بیوجار. نشریه علمی و پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۴ (۴): ۲۶۶-۲۸۱.
- رضائی‌مقدم، ج. ۱۳۹۳. مطالعه لایسیمتری اثر توأمان کم آبیاری و کنترل سطح ایستابی در گیاه ذرت بر پایش نیترات خروجی زه آب. رساله دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- شکوه‌فر، ع.، مسجدی، ع. و علوی فاضل، م. ۱۳۸۸. بررسی اثر مقدار و دور آبیاری بر عملکرد گیاه ذرت تابستانه در شرایط آب و هوایی شهرستان اهواز. فصلنامه علمی تخصص فیزیولوژی گیاهان زراعی- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱ (۱): ۴۲-۴۸.
- کاظمی‌زاده، م.، ناصری، ع.ع.، هوشمند، ع.، گلابی، م. و مسکرباشی، م. ۱۳۹۸. بررسی عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و کارایی نیتروژن در کشت ذرت در استان خوزستان. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۹ (۱): ۳۵-۵۰.
- کاظمی‌زاده، م.، ناصری، ع.ع.، هوشمند، ع.، گلابی، م. و مسکرباشی، م. ۱۳۹۹. بررسی تأثیر بیوجار و هیدروچار (باگاس نیشکر) بر عملکرد، بهره‌وری آب و آبشویی نیتروژن در کشت ذرت. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۱ (۳): ۷۵۳-۷۶۱.
- کیهانی، ع. ۱۳۹۵. تأثیر تراکم بوته و فصل کشت بهاره و تابستانه بر ویژگی‌های کمی و عملکرد ذرت. علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۷ (۴): ۵۸۳-۵۷۵.
- معیری، م. ۱۳۹۷. آبیاری مزارع ذرت تابستانه در استان خوزستان. نشریه ترویجی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. معاونت ترویج. نشر آموزش کشاورزی. ۴۰ صفحه.
- مقیم، ن.، ناصری، ع.ع.، سلطانی محمدی، ا. و هاشمی گرم‌دره، س.ا. ۱۳۹۵. بررسی عملکرد باگاس نیشکر در کاهش نیترات خروجی از زهاب زهکش‌های زیرزمینی. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۳۹ (۲): ۴۹-۵۸.
- ملکوتی، م.ج. و همایی، م. ۱۳۸۳. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران. ۵۱۸ صفحه.

- Mediterranean type climate conditions. *Soil Biology and Biochemistry*. 93: 1333–1340.
- Singh, B., Craswell, E. 2021. Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem. *SN Appl. Sci.* 3: 518.
- Snekapriya, V. K. and Jayachandran, M. 2018. Effect of sugarcane trash biochar on growth and yield of sugarcane seed crop. *Madras Agric. J.* 105 (4-6): 147-150.
- Sun, H., Lu, H., Chu, L., Shao, H. and Shi, W. 2017. Biochar applied with appropriate rates can reduce N leaching, keep N retention and not increase NH₃ volatilization in a coastal saline soil. *Science of the Total Environment*. 575: 820-825.
- Timsina, T., Singh, U., Badaruddin, M., Meisner, C. and Amin, M. R. 2001. Cultivar, nitrogen and water effects on productivity, and nitrogen-use efficiency and balance for rice–wheat sequences of Bangladesh. *Field Crop Research*. 72: 143-161.
- Tirgarsoltani, M., Bahmrami, H. and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2021. The potential impact of biochar: Soil hydraulics and responses of maize under soil drying cycles. 401: 115301.
- Wei, A., Ma, J., Chen, J., Zhang, Y., Song, J. and Yu, X. 2018. Enhanced nitrate removal and high selectivity towards dinitrogen for groundwater remediation using biochar-supported nano zero-valent iron. *Chemical Engineering Journal*. 334: 595-605.
- Xia, H., Riaz, M., Zhang, M., Liu, B., Li, Y., El-Desouki, Z. and Jiang, C. 2022. Biochar-N fertilizer interaction increases N utilization efficiency by modifying soil C/N component under N fertilizer deep placement modes. *Chemosphere*. 286(Pt 1):131594.
- Ye, H. M., Lia, H. F., Wanga, C. S., Yang, J., Guoyong Huang, G., Meng, X. and Zhou, Q. 2020. Degradable polyester/urea inclusion complex applied as a facile and environment-friendly strategy for slow-release fertilizer: Performance and mechanism. *Chemical Engineering Journal*. 381:122704.
- Zhang, G., Zhao, D., Liu, S., Liao, Y. and Han, J. 2022. Can controlled-release urea replace the split application of normal urea in China? A meta-analysis based on crop grain yield and nitrogen use efficiency. *Field Crops Research Journal*. 275(5):108343.
- Guo, J., Fan, J., Zhang, F., Yan, S., Zheng, J., Wu, Y., Li, J., Wang, Y., Sun, X., Liu, X., Xiang, Y. and Li, Z. 2021. Blending urea and slow-release nitrogen fertilizer increases dryland maize yield and nitrogen use efficiency while mitigating ammonia volatilization. *Science of The Total Environment*. 790(1–2):148058.
- Hu, Y., Sun, B., Wu, S., Feng, H., Gao, M., Zhang, B., and Liu, Y. 2021. After-effects of straw and straw-derived biochar application on crop growth, yield, and soil properties in wheat (*Triticum aestivum* L.) -maize (*Zea mays* L.) rotations: A four-year field experiment. *Science of The Total Environment Journal*. 780: 146560.
- Kanthle, A. K., Lenka, N. K., Lenka, S., and Tedia, K. 2016. Biochar impact on nitrate leaching as influenced by native soil organic carbon in an Inceptisol of central India. *Soil and Tillage Research*, 157: 65-72.
- Lebrun, M., Bouček, J., Berchová Bímová, K., Kraus, K., Haisel, D., Kulhánek, M., Omara-Ojunga, C., Seyedsadr, S., Beesley, L., Soudek, P., Petrova, S., Pohořelý, M. and Trakal, L. 2022. Biochar in manure can suppress water stress of sugar beet (*Beta vulgaris*) and increase sucrose content in tubers. *Science of The Total Environment*, 814: 152772.
- Liao, F., Yang, L., Li, Q., Xue, J., Li, Y. and Huang, D. 2018. Effect of biochar on growth, photosynthetic characteristics and nutrient distribution in sugarcane. *Society for Sugar Research and Promotion*. August 2018.
- Ming, Q. Z., Yuan, F. S. and M. G. Helmers. 2012. Modeling cadmium transport in neutral and alkaline soil columns at various depths. *Pedosphere*. 22(3): 273–282.
- Oktem, A., Gulgun, A. and Coskum, Y. 2004. Determination of sowing dates of sweet corn. (*Zea mays* L. *Saccharata* Sturt) under Sanliurfa conditions. *Turk Journal Agriculture*, 28, 83-91.
- Partovi, Z., Ramezani Etedali, H. and Kaviani, A. 2020. Effects of applying biochar and straw on nitrate leaching and maize yield production. *Water and Environment journal*. 2021:1–8.
- Peng, J., Han, X., Li, N., Chen, K., Yang, J., Zhan, X., Luo, P. and Liu, N. 2021. Combined application of biochar with fertilizer promotes nitrogen uptake in maize by increasing nitrogen retention in soil. *Biochar journal*. 3:367–379.
- Santibanez, C., Ginocchio, R. and M. Teresa Varnero. 2007. Evaluation of nitrate leaching from mine tailings amended with biosolids under

Effect of Slow-Release Fertilizers, Sugarcane Bagasse, and Its Biochar on Nitrogen Leaching and Water Productivity of Spring Maize

A. Azizi^{1*}, A. Soltani Mohammadi², A.A. Naseri³ and A. Hassanoghli⁴

Abstract

This study was conducted to investigate the effects of slow-release fertilizer, sugarcane bagasse and its biochar on nitrogen leaching, yield, and water productivity of spring corn during the 2019-2020 growing seasons at the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Khuzestan. The experiment was arranged as a factorial in randomized complete block design (RCBD) with three replications. Two types of nitrogen fertilizers were used: N1 (conventional urea) and N2 (NitroGel urea, referred to as Konderha manure) along with six levels of soil amendments composed of different ratios of bagasse and biochar: B1 (0% bagasse and 0% biochar), B2 (100% bagasse and 0% biochar), B3 (75% bagasse and 25% biochar), B4 (50% bagasse and 50% biochar), B5 (25% bagasse and 75% biochar), B6 (0% bagasse and 100% biochar). The results indicated that the application of slow-release fertilizer increased grain yield by 20.2%, biomass yield by 29.3%, water productivity by 20.2%, nitrogen recovery efficiency by 72.6%, and agronomic efficiency by 19.9% compared to the control in spring corn cultivation. Moreover, the use of soil amendments led to a 21.4% increase in grain yield, a 34.2% increase in biomass yield, a 39.6% reduction in drainage, a 21.4% increase in water use efficiency, a 60.6% reduction in nitrogen leaching, an 83.3% increase in nitrogen recovery efficiency, and a 21.0% increase in agronomic efficiency compared to the control. The findings of this study confirm the positive impact of slow-release fertilizer, bagasse and its biochar in reducing nitrogen leaching and enhancing water use efficiency of spring corn under the climatic conditions of Ahvaz and considering issues such as low crop yield, high water table, soil contamination, and environmental hazards in the study area, applying the findings of this research can enhance regional agriculture and promote sustainable production.

Keywords: Agricultural efficiency, Grain yield, Khuzestan, Lysimeter, Soil conditioner

¹ PhD graduate of irrigation and drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (* Corresponding Author Email: a.azizi@yahoo.com)

² Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

³ Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

⁴ Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

Received: 26 Sep 2024

Accepted: 4 Nov 2024