19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

اثر زمان‌بندی کوددهی بر کارایی مصرف کود اوره و عملکرد کمی و کیفی نیشکر

علی معتمدی امین*، حسنعلی خاتین زاده، ، سید احسان امام، منصور نوری، داریوش نیکفر

تحقیقات کشاورزی، کشت و صنعت نیشکر کارون، شوشتر، ایران

*نویسنده مسئول: alimahohi@yahoo.com

چکیده

کارایی پایین جذب نیتروژن در بسیاری از مزارع نیشکر، عمدتاً به‌دلیل تلفات بالای آن از طریق آبشویی، یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت تغذیه این محصول محسوب می‌شود. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر زمان‌بندی مصرف کود اوره بر کاهش تلفات نیتروژن و بهبود عملکرد نیشکر اجرا شد. در روش اصلاح‌شده، اختلاط اوره با آب آبیاری به ساعت‌های پایانی نوبت آبیاری موکول شد. آزمایش به‌مدت ۷۰ روز ادامه یافت و شامل اندازه‌گیری روزانه دبی و حجم آب آبیاری و زه‌آب خروجی از تایل‌های زهکشی، همراه با نمونه‌برداری در هر نوبت آبیاری بود. شاخص‌هایی نظیر تلفات اوره و نیترات در آب زهکشی، غلظت نیترات و نیتروژن کل خاک، وضعیت نیتروژن گیاه، رشد و رطوبت گیاه و همچنین عملکرد کمی و کیفی نیشکر بین دو تیمار مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که به‌تعویق‌انداختن زمان اختلاط اوره با آب آبیاری باعث کاهش معنی‌دار تلفات نیتروژن شده و منجر به افزایش غلظت نیترات خاک، رطوبت غلاف، نیتروژن برگ و بهبود رشد گیاه گردید. این تغییر در نهایت باعث بهبود عملکرد کمی و کیفی نیشکر نسبت به روش مرسوم کوددهی شد.

واژگان کلیدی: کودآبیاری، زه‌آب، تلفات اوره، نیترات، نیشکر

مقدمه

در دهه‌های اخیر، گسترش سیستم‌های کشاورزی با مدیریت فشرده در ایران، به افزایش قابل‌توجه تولیدات زراعی منجر شده است؛ یکی از عوامل مؤثر در این روند، کاربرد فزاینده کودهای نیتروژنه بوده است. نیتروژن یکی از عناصر ضروری برای رشد و توسعه گیاهان محسوب می‌شود که در فرآیندهای حیاتی نظیر فتوسنتز و سنتز پروتئین نقش محوری دارد (Erisman et al., 2011). اهمیت این عنصر به حدی است که تخمین زده می‌شود حدود نیمی از جمعیت جهان به‌واسطه مصرف کودهای نیتروژنه تغذیه می‌شوند (Erisman et al., 2008). با وجود این، تنها بخشی از نیتروژن مصرف‌شده توسط گیاه جذب می‌شود و مقدار قابل‌توجهی از آن به محیط‌زیست نشت می‌یابد. آبشویی نیتروژن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مسیرهای اتلاف این عنصر، منجر به آلودگی منابع آب زیرزمینی و بروز پدیده سرشارسازی در اکوسیستم‌های آبی می‌شود، که تأثیرات منفی آن بر کیفیت آب، سلامت انسان و تنوع زیستی به خوبی مستند شده است (Chislock et al., 2013; Sabo et al., 2019). افزون بر این، نگرانی‌های جهانی در خصوص پایداری محیط‌زیست، توجه محققان و سیاست‌گذاران را به شاخص‌هایی مانند نیتروژن مازاد جلب کرده است که معیاری برای ارزیابی تلفات بالقوه نیتروژن در سیستم‌های زراعی به‌شمار می‌رود (OECD, 2001; Zhang et al., 2015).

کاهش تلفات نیتروژن نیازمند درک دقیق از فرآیندهای دینامیکی چرخه نیتروژن در خاک، به‌ویژه در منطقه غیراشباع است. فاکتورهایی مانند بافت و ساختمان خاک، میزان ماده آلی، نوع کود مصرفی، الگوی بارندگی یا آبیاری و شرایط فیزیکی خاک، همگی در فرآیند انتقال، تبدیل و آبشویی نیتروژن نقش دارند (Wang et al., 2019; Wang et al., 2023). بررسی‌ها نشان داده‌اند که بارش‌های شدید یا آبیاری بیش از حد، با تشدید حرکت آب در منطقه غیراشباع، منجر به افزایش انتقال عمقی نیتروژن شده و تلفات آن را افزایش می‌دهند (De Notaris et al., 2018). در کشاورزی ایران، اوره به‌عنوان رایج‌ترین کود نیتروژنه، به‌ویژه در اراضی تحت کشت نیشکر، به‌کار می‌رود. اوره پس از مصرف به‌سرعت در خاک هیدرولیز شده و به فرم‌های قابل جذب نیترات و آمونیوم تبدیل می‌شود (Skiba and Wainwright, 1984). با این حال، اگر مصرف اوره هم‌زمان با بارندگی یا آبیاری شدید باشد، بخشی از آن ممکن است پیش از تبدیل شیمیایی، به‌صورت مولکول محلول در آب شسته شود. نتایج پژوهش Mo و همکاران (۲۰۲۲) نیز نشان می‌دهد که مصرف اوره در فاصله زمانی کوتاه پیش از بارش‌های سنگین، به‌طور معناداری باعث افزایش تلفات نیتروژن و کاهش کارایی کوددهی می‌شود. مطالعات جدید نیز نشان داده‌اند که تلفیق روش‌های مدیریتی مانند زمان‌بندی دقیق کوددهی با پیش‌بینی الگوهای بارش و به‌کارگیری کودهای با رهایش کنترل‌شده می‌تواند نقش مؤثری در کاهش تلفات نیتروژن و بهبود بهره‌وری داشته باشد (Fowler et al., 2023; Wang et al., 2023; Xiang et al., 2024). در این راستا، مطالعه حاضر با هدف بررسی میدانی تلفات اوره و نیترات در خاک‌های تحت کشت نیشکر طراحی شده است. تمرکز اصلی بر مقایسه سناریوهای مختلف زمان‌بندی مصرف کود و تأثیر آن‌ها بر میزان نشت نیتروژن، بهبود غلظت نیتروژن در خاک و گیاه، و ارتقای عملکرد کمی و کیفی نیشکر است. نتایج این پژوهش می‌تواند در جهت بهینه‌سازی مصرف کود و کاهش آثار محیط‌زیستی آن در سامانه‌های کشاورزی ایران مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۲، تحت شرایط مزرعه‌ای در شمال خوزستان و در یکی از مزارع شرکت کشت و صنعت کارون، با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی، اجرا شد. منطقه مورد مطالعه دارای میانگین بارندگی سالانه بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر و دامنه دمایی ۲۳ تا ۳۱ درجه سانتی‌گراد است. بافت خاک منطقه عمدتاً لوم رسی بوده و شوری آب آبیاری و خاک، کمتر از آستانه تحمل نیشکر ($1/7\ dS\ m^{-1}$) قرار دارد. میزان آهک، درصد کربن آلی و نیتروژن کل خاک به‌ترتیب ۴۸، ۰/۴۳ و ۰/۰۵ درصد اندازه‌گیری شد. همچنین غلظت نیترات خاک در محدوده ۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک قرار داشت. آزمایش در دو قطعه مجزا و مجاور یکدیگر از مزارع نیشکر با رقم CP73-21 انجام گرفت. قطعه اول دارای چهار تایل زهکشی و به‌عنوان تیمار شاهد، و قطعه دوم با پنج تایل زهکشی به‌عنوان تیمار مدیریت‌شده در نظر گرفته شد. در برنامه مرسوم تغذیه نیتروژنی، کود اوره به روش کودآبیاری و از منبع کود اوره (معادل ۱۸۴ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) در سه نوبت و با فاصله زمانی یک ماهه اعمال شد. در تیمار شاهد، کودآبیاری طبق روش مرسوم اجرا شد؛ به‌گونه‌ای که کود اوره محلول با غلظتی یکنواخت در کل دوره، از طریق آب آبیاری به گیاه داده می‌شد. در تیمار مدیریت‌شده، زمان کوددهی اوره به ساعات پایانی آبیاری موکول شد؛ به‌گونه‌ای که محلول اوره صرفاً در انتهای آبیاری و پیش از رسیدن آب به انتهای فارو به خاک داده می‌شد، تا از شستشوی زودهنگام آن جلوگیری شود. در طول دوره آزمایش که ۷۰ روز به‌طول انجامید (تا پایان سومین نوبت کوددهی)، اندازه‌گیری مداوم دبی و حجم آب آبیاری و آب زهکشی از تایل‌ها انجام گرفت. همچنین در هر نوبت آبیاری، نمونه‌برداری از آب آبیاری و زهکشی صورت گرفت. اندازه‌گیری غلظت نیترات (Rowell, 1994) به‌صورت روزانه در تمام نوبت‌های آبیاری انجام شد، در حالی‌که تعیین غلظت اوره (Basova et al., 2011) صرفاً در نمونه‌های حاصل از نوبت‌های کوددهی انجام گرفت. در نهایت، تلفات اوره و نیترات در آب زهکشی، تغییرات غلظت نیترات خاک، نیتروژن کل خاک و گیاه (Bremner and Mulvaney, 1982)، رشد و رطوبت گیاه، و عملکرد کمی و کیفی نیشکر در زمان برداشت بین دو تیمار مورد مقایسه قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری Minitab 16 و Excel انجام شد.

نتایج و بحث

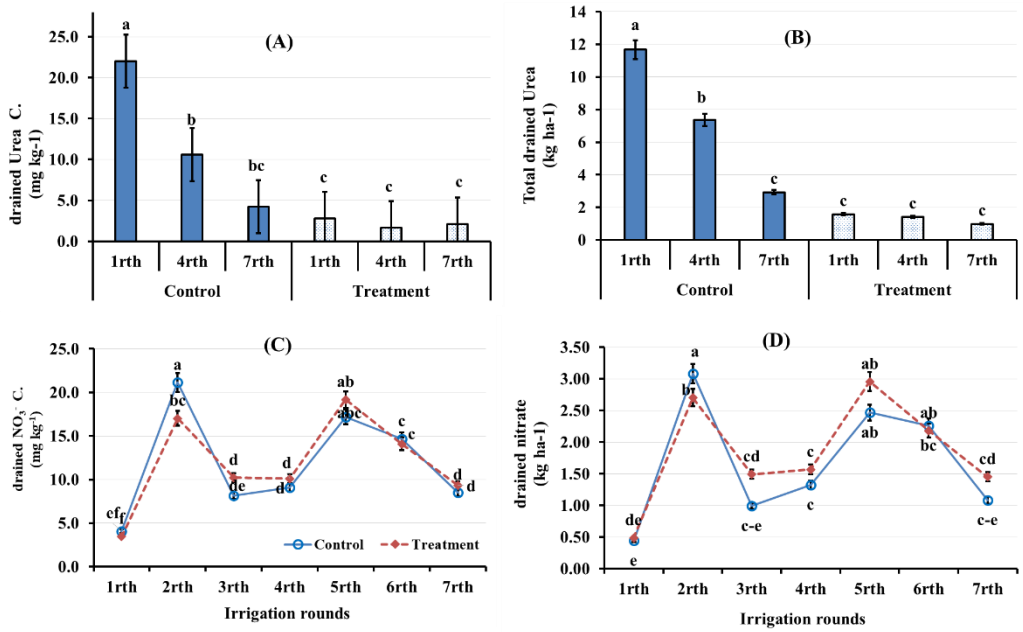
الف- تلفات اوره و نیترات

به‌طور کلی، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی و متقابل تیمار کوددهی و نوبت آبیاری بر غلظت و مقدار تلفات اوره در زه‌آب، از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۱). در تیمار شاهد (کوددهی به روش مرسوم)، غلظت و مقدار تلفات اوره در زه‌آب مربوط به نوبت اول آبیاری به‌طور قابل توجهی بیشتر از نوبت‌های دوم و سوم کودآبیاری بود (شکل ۱A,B). به‌طوری‌که پس از کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در نوبت اول، حدود ۱۱/۷ درصد از کود مصرفی از طریق زه‌آب از دست رفت. این در حالی است که با وجود مصرف بیشتر کود اوره در نوبت‌های دوم و سوم (هرکدام ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار)، تلفات اوره به‌ترتیب به ۴/۹ و ۱/۹۹ درصد کاهش یافت (شکل ۱B).

جدول ۱- تجزیه واریانس# (میانگین مربعات) اثر تیمار کوددهی و نوبت آبیاری بر تلفات اوره و نیترات

منابع	درجه آزادی	غلظت اوره در زهآب	تلفات اوره در زهآب	درجه آزادی	غلظت نیترات در زهآب	تلفات نیترات در زهآب
تیمار	۱	۶۷۷***	۱۶/۳۵***	۱	۰/۱۱ns	۰/۰۳۸*
نوبت آبیاری	۲	۱۹۸***	۲/۹۵***	۶	۲۷۴***	۰/۳۵۶***
تیمار * نوبت آبیاری	۲	۱۶۵***	۲/۳۸***	۶	۱۰/۱۳**	۰/۰۲۱*
خطا	۲۱	۱۳/۵۲	۳/۲۳	۴۹	۲/۸۵	۰/۰۰۷

ns: نامعنی‌دار در سطح پنج درصد (P>۰/۰۵)، *: معنی‌دار در سطح پنج درصد (P≤۰/۰۵)، **: معنی‌دار در سطح یک درصد (P≤۰/۰۱) و ***: معنی‌دار در سطح یک‌دهم درصد (P≤۰/۰۰۱)، MSt: میانگین مربع‌های تیمار، MSe: میانگین مربع‌های خطا، #: طرح نامتعادل با تکرارهای غیر یکسان.



شکل ۱- مقایسه میانگین تغییرات غلظت و مقدار اوره (A, B) و نیترات (C, D) در تیمارهای مختلف کوددهی و نوبت‌های آبیاری. حروف ناهمانند نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست.

در مقابل، در تیمار تعویق کوددهی، تفاوت معنی‌داری میان نوبت‌های مختلف از نظر غلظت و مقدار اوره در زه‌آب مشاهده نشد. به‌طور مشخص، کمتر از ۲ درصد از کود مصرفی از طریق زه‌آب خارج شد (به‌ترتیب ۱/۶، ۰/۹۵ و ۰/۶۵ درصد در نوبت‌های اول تا سوم کوددهی). به بیان دیگر، تأخیر در افزودن کود اوره تا انتهای آبیاری، به‌طور مؤثری از تلفات اوره از طریق زهکش جلوگیری کرد. مطالعه Lan و همکاران (۲۰۲۲) نیز نشان داده است که در خاک‌های آهکی تحت کشت برنج، تلفات نیتروژن از طریق آبشویی بین ۰/۵۹ تا ۲۲/۷ درصد متغیر بوده و به مدیریت کاربرد کود بستگی دارد. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که به‌کارگیری

کودهای با رهایش کنترل‌شده همراه با زمان‌بندی بهینه کوددهی در سیستم‌های آبیاری می‌تواند به‌طور معنی‌داری تلفات نیتروژن از طریق آبشویی را کاهش دهد و در عین حال عملکرد محصول را حفظ کند (Liu et al., 2023). ساختار فیزیکی خاک، از جمله درصد رس، میزان تخلخل و وجود ترک‌ها یا کانال‌های جریان ترجیحی (preferential flow paths)، یکی از عوامل کلیدی در میزان تلفات نیتروژن محسوب می‌شود (Geohring et al., 1999). وجود منافذ درشت و ترک‌های سطحی در خاک‌های با بافت سنگین، نظیر خاک لومی رسی مورد مطالعه (با حدود ۳۲ درصد رس)، باعث شکل‌گیری مسیرهایی برای حرکت سریع آب و املاح محلول می‌شود (Ehlers and Goss, 2003). در چنین شرایطی، آب و کود محلول می‌توانند پیش از جذب توسط ریشه گیاه، به لایه‌های زیرین منتقل شوند و از چرخه تغذیه گیاه خارج شوند. با این حال، پس از خیس شدن مجدد خاک و انبساط ذرات رس، بسیاری از این مسیرهای جریان بسته شده و در نتیجه از میزان انتقال اوره کاسته می‌شود. به‌نظر می‌رسد که تیمار تعویق کوددهی، با کاهش تأثیر جریان‌های ترجیحی، توانسته است از تلفات اوره به اعماق خاک جلوگیری کند (شکل ۱A,B).

از سوی دیگر، غلظت نیترات تحت تأثیر تیمار کوددهی قرار نگرفت، اما نوبت آبیاری و اثر متقابل تیمار و نوبت، هر دو تأثیر معنی‌داری بر غلظت نیترات زه‌آب داشتند (جدول ۱). صرف‌نظر از نوع تیمار، بیشترین غلظت نیترات در نوبت بعدی آبیاری پس از مصرف اوره مشاهده شد (شکل ۱C,D). این پدیده با هیدرولیز تدریجی اوره و تبدیل آن به نیترات طی چند روز پس از کوددهی قابل توجیه است. براساس گزارش Singh و Bajwa (۱۹۸۶)، زمان لازم برای هیدرولیز کامل اوره در خاک بین ۳ تا ۱۴ روز متغیر است که بسته به نوع خاک، دما و رطوبت می‌تواند تغییر کند. همچنین، Evanylo و همکاران (۲۰۰۸) غلظت نیترات را در اولین زه‌آب خروجی از خاک سیلتی رسی لومی تا ۱۷۷ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کردند. مطالعات جدید نیز نشان داده‌اند که اوج غلظت نیترات معمولاً با تأخیر زمانی ۴ تا ۱۰ روز پس از کوددهی رخ می‌دهد که بستگی به شدت آبیاری و نوع کود دارد (Benlamlih et al., 2021; Campbell et al., 2025).

ب- تغییرات فاکتورهای رشد

رطوبت غلاف، غلظت نیتروژن برگ و رشد طولی نی، به‌طور معناداری تحت تأثیر تیمارهای کودی و مرحله‌ی رشد گیاه قرار گرفتند (جدول ۲). این تأثیرات به‌ویژه پس از نوبت اول کوددهی نمایان شد، به‌طوری‌که تفاوت‌های قابل‌توجهی میان تیمارها و تیمار شاهد، از نظر نیتروژن برگ و رطوبت غلاف مشاهده گردید.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمار کوددهی و مرحله رشد بر رطوبت غلاف، غلظت نیتروژن برگی و رشد طولی نیشکر واریته CP73-21

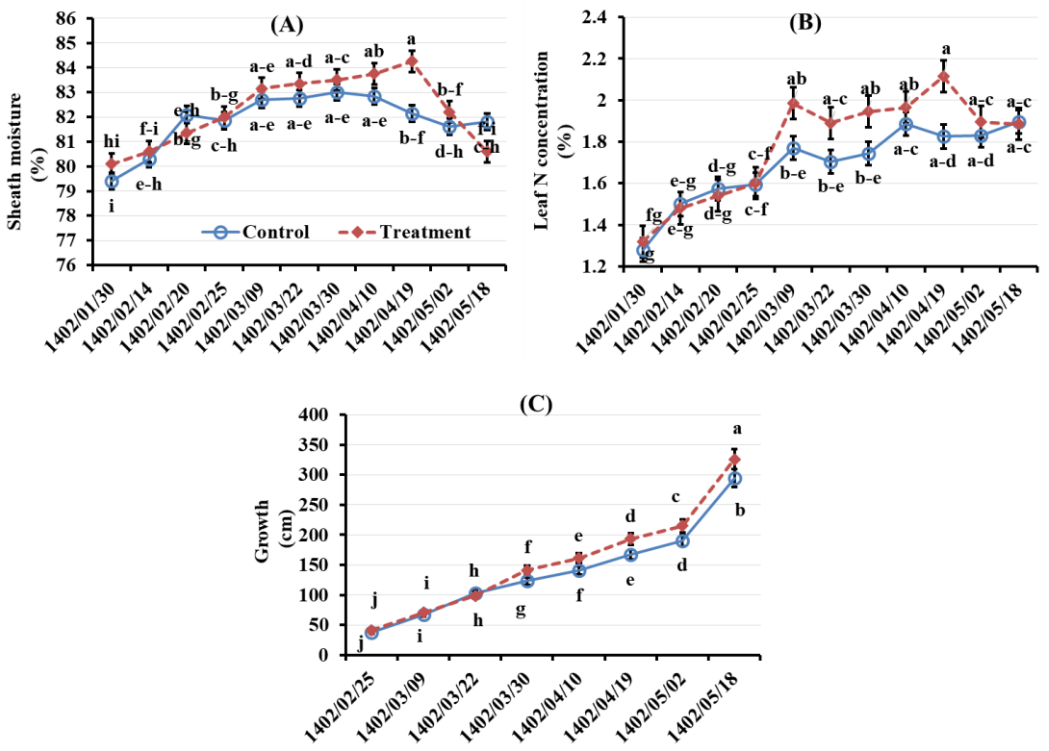
منابع	درجه آزادی N=2	رطوبت غلاف	غلظت نیتروژن برگ	درجه آزادی N=6	رشد طولی نی
تیمار	۱	۱/۷۲***	۰/۰۹۴***	۱	۵۶۵۶***
زمان رشد طولی نی	۱۰	۵/۹۲***	۰/۱۸۷***	۷	۸۷۱۳۷***
تیمار * زمان رشد طولی نی	۱۰	۰/۷۲۸***	۰/۰۱۲^{ns}	۷	۵۱۶***
خطا	۴۳	۴/۴۲	۰/۰۰۵	۸۰	۲۹/۰

ns: نامعنی‌دار در سطح پنج درصد (P>۰/۰۵)، *: معنی‌دار در سطح پنج درصد (P≤۰/۰۵)، **: معنی‌دار در سطح یک درصد (P≤۰/۰۱) و ***: معنی‌دار در سطح یک‌دهم درصد (P≤۰/۰۰۱)، MSt: میانگین مربع‌های تیمار، MSe: میانگین مربع‌های خطا، N: تعداد تکرار

نتایج نشان داد کمی پس از کوددهی نوبت اول، تفاوت‌های نیتروژن برگ و رطوبت غلاف بین تیمار و شاهد مشاهده شد. مطالعات پیشین نیز بر تعامل بین وضعیت آبی گیاه و تغذیه نیتروژنی تأکید داشته‌اند؛ به‌گونه‌ای که افزایش رطوبت خاک یا گیاه، جذب نیتروژن را بهبود می‌بخشد (Wiedenfeld, 1995; Keshavaiah et al., 2013). با این حال، برخی از مطالعات دیگر گزارش کرده‌اند که افزایش محتوای نیتروژن گیاه، به‌ویژه در مراحل اولیه رشد، می‌تواند موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب در غلاف

برگ گردد (Borden, 1954; Chen et al., 2020). این پدیده می‌تواند ناشی از اثر نیتروژن در توسعه‌ی بهتر سیستم ریشه‌ای و افزایش سطح جذب آب باشد (Xing et al., 2024).

علاوه بر این، نتایج نشان داد که به‌تعویق انداختن زمان اختلاط اوره با آب آبیاری، منجر به افزایش فراهمی نیتروژن معدنی برای گیاه و به‌دنبال آن، افزایش غلظت نیتروژن برگ شد. از سوی دیگر، افزایش غلظت نیتروژن برگی با افزایش رطوبت غلاف همراه بوده و در نهایت موجب رشد طولی بیشتر ساقه نیشکر نسبت به تیمار شاهد (روش مرسوم کوددهی) گردید (شکل ۲). به عبارت دیگر، تغییر در زمان‌بندی کوددهی، علاوه بر کاهش تلفات نیتروژن از طریق آبشویی، موجب حفظ بخش بیشتری از نیتروژن در لایه سطحی خاک شده و اثر خود را از طریق فاکتورهای فیزیولوژیکی و رشدی گیاه نشان داد (Yang et al., 2020).



شکل ۲- مقایسه میانگین تغییرات رطوبت غلاف (A)، غلظت نیتروژن برگی (B) و رشد طولی نیشکر (C) در تیمارهای مختلف کوددهی طی دوره رشد نیشکر واریته CP73-21. حروف ناهمانند نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست.

پ- نیتروژن خاک و عملکرد کمی و کیفی نیشکر

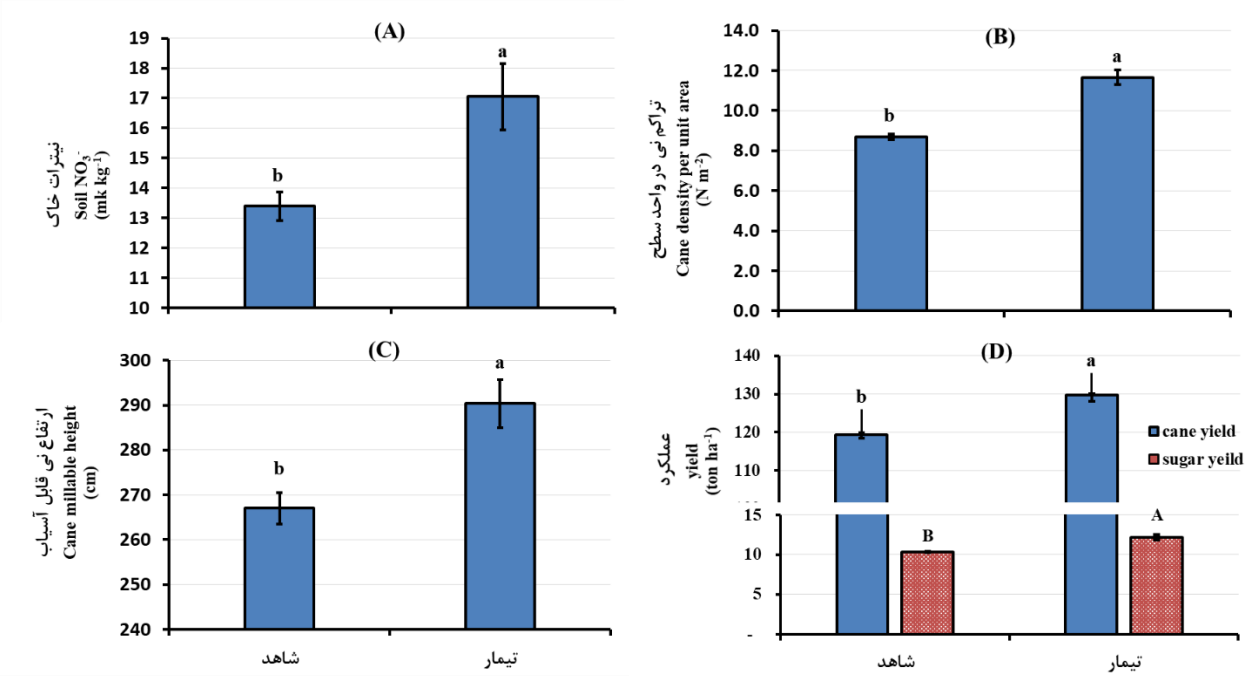
بررسی غلظت نیتروژن خاک در پایان دوره داشت، نشان داد که تیمارهای تنظیم زمان کوددهی، غلظت نیترات خاک را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دادند ($P\leq ۰/۰۵$)، هرچند تغییری در نیتروژن کل خاک مشاهده نگردید (جدول ۳). افزایش نیترات خاک در تیمارهای با تعویق کوددهی، احتمالاً ناشی از افزایش کارایی جذب اوره و معدنی شدن آن باشد (شکل ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمار کوددهی بر غلظت نیتروژن خاک و عملکرد کمی و کیفی نیشکر واریته CP73-21

منابع	MSt	MSe	منابع	MSt	MSe
درجه آزادی	۱	۴	تراکم نی در واحد سطح	۱۳/۳۷***	۰/۲۲۴
نیتروژن کل خاک	۰/۰۰۰۰۲***	۰/۰۰۰۰۰۷	عملکرد نی قابل آسیاب	۱۶۳***	۴/۹۲
غلظت نیترات خاک	۲۰/۰۸***	۰/۴۴۷	Brix	۰/۲۴***	۰/۴۱۳
ارتفاع نی قابل آسیاب	۸۱۷*	۶۱/۲	Rs	۰/۸۲۹***	۰/۰۵۷
قطر نی قابل آسیاب	۰/۷۸۵***	۰/۹۵۳	عملکرد شکر	۵/۲۴***	۰/۲۰۰

ns: نامعنی‌دار در سطح پنج درصد ($P>۰/۰۵$)، *: معنی‌دار در سطح پنج درصد ($P\leq ۰/۰۵$)، **: معنی‌دار در سطح یک درصد ($P\leq ۰/۰۱$) و ***: معنی‌دار در سطح یک‌دهم درصد ($P\leq ۰/۰۰۱$)، MSt: میانگین مربع‌های تیمار، MSe: میانگین مربع‌های خطا، Brix: درصد وزن مواد جامد محلول، RS: درصد قند قابل استحصال

در این شرایط، بهبود تغذیه نیتروژنی منجر به افزایش عملکرد کمی و کیفی نیشکر شد (شکل ۳). اجزای عملکردی از جمله ارتفاع نی قابل آسیاب، تراکم نی در واحد سطح، عملکرد نی و میزان شکر قابل استحصال، در تیمار تعویق کوددهی نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر بودند (شکل ۳). این نتایج نشان می‌دهند که افزایش در فراهمی نیتروژن طی فاز بحرانی رشد، می‌تواند بهره‌وری نهایی محصول را بهبود بخشد (Singh et al., 2024; Abhiram et al., 2025). در مقابل، قطر نی و شاخص‌های کیفی مانند درصد مواد آلی محلول و درصد بازیابی شکر، تحت تأثیر تیمار کودی قرار نگرفتند. این موضوع می‌تواند به پایداری ویژگی‌های ژنتیکی و فیزیولوژیکی این صفات در مقابل تغییرات تغذیه‌ای مرتبط باشد.



شکل ۳- مقایسه اثر تیمارهای کودی بر میانگین غلظت نیترات خاک (A)، تراکم نی در واحد سطح (B)، ارتفاع نی قابل آسیاب (C) و عملکرد نی قابل آسیاب و شکر (D) در کشت نیشکر (واریته CP73-21). حروف ناهمانند نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهاست (آزمون Tukey P≤۰/۰۵).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که در روش مرسوم مصرف کود اوره، به‌ویژه در نوبت اول کوددهی، بخش قابل‌توجهی از کود مصرفی از طریق زهکش‌ها از پروفیل خاک خارج شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود. این اتلاف عمدتاً به‌دلیل عبور سریع محلول حاوی اوره از شکاف‌ها و ترک‌های موجود در خاک، پیش از فرصت کافی برای تبدیل و جذب توسط گیاه است. اعمال تغییر در روش مصرف، با تأخیر در اختلاط کود اوره با آب آبیاری، موجب کاهش محسوس تلفات کود شد. این تغییر نه‌تنها غلظت نیترات خاک را در مراحل کلیدی رشد گیاه افزایش داد، بلکه منجر به بهبود جذب نیتروژن، افزایش رطوبت غلاف و بهبود وضعیت تغذیه‌ای برگ‌ها شد. در نتیجه، رشد رویشی مطلوب‌تر و افزایش معنی‌دار عملکرد نیشکر نسبت به روش معمول حاصل گردید. از این‌رو، بهینه‌سازی زمان و روش مصرف کود اوره، به‌عنوان رویکردی مؤثر در افزایش کارایی مصرف نیتروژن، کاهش تلفات محیط‌زیستی و ارتقاء عملکرد کمی و کیفی نیشکر در شرایط مشابه، پیشنهاد می‌شود.

منابع

Abhiram, G., Gopalasingam, T., Inthujan, J. (2025). Enhancing sustainability in sugarcane production through effective nitrogen management: a comprehensive review. Nitrogen, 6, 69.

Basova, E.M., Bulanova, M.A., Ivanov, V.M. (2011). Photometric detection of urea in natural waters. Moscow University Chemistry Bulletin, 66: 345-350.
Benlamlih F.Z., Lamhamedi M.S., Pepin S., Benomar L., Messaddeq Y. (2021) Evaluation of a New Generation of Coated Fertilizers to Reduce the Leaching of Mineral Nutrients and Greenhouse Gas (N_2O) Emissions. Agronomy, 11(6):1129.
Borden, R. J., (1945). The effects of nitrogen fertilization upon the yield and composition of sugarcane, Hawaiian Planters' Record, 49: 259-312.
Bremner, J.M., Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen total. pp. 595- 624. In: Page, A. L., Miller, R. H. and Keeney, D. R. (eds.). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical analysis. American Society of Agronomy and Soil Science Society of American, Madison, Wisconsin.
Campbell T., Ruark M., Boswell E., Lowery B. (2025). Enhanced efficiency fertilizers, potato production, and nitrate leaching in the Wisconsin Central Sands. Journal of Environmental Quality. 54(2):397-409.
Chen, J., Liu, L., Wang, Z., Zhang, Y., Sun, H., Song, S., Bai, Z., Lu, Z., Li, C. (2020). Nitrogen Fertilization Increases Root Growth and Coordinates the Root–Shoot Relationship in Cotton. Frontiers in Plant Science, 11:880.
Chislock, M.F., Doster, E., Zitomer, R. A., Wilson, A.E. (2013). Eutrophication: causes, consequences, and controls in aquatic ecosystems. Nature Education Knowledge, 4 (4): 10.
De Notaris, C., Rasmussen, J., Sørensen, P., Olesen, J.E. (2018). Nitrogen leaching: A crop rotation perspective on the effect of N surplus, field management and use of catch crops. Agriculture, Ecosystems and Environment, 255: 1-11.
Ehlers, W., Goss, M. (2003). Water Dynamics in Plant Production. CABI Publishing, 288 p.
Erisman, J.W., Grinsven, H.V., Grizzetti, B., Bouraoui, F., Powlson, D., Sutton, M.A., Bleeker, A., Reis, S. (2011). The European Nitrogen Problem in a Global Perspective. European Nitrogen Assessment (ENA). Cambridge University Press.
Erisman, J.W., Sutton, M.A., Galloway, J., Klimont, Z., Winiwarter, W., (2008). How a century of ammonia synthesis changed the world. Nature Geoscience, 1: 636-639.
Fowler, D., Kanakidou, M., Singh, B. et al. (2023). The global nitrogen challenge in agriculture .Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 368(1621):20130164.
Geohring, L.D., Wright, P.E. Steenhuis, T.S., Walter M.F. (1999). Fecal Coliforms in Tile Drainage effluent. ASAE Paper 99-2203. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI. 20 p.
Keshavaiah, K.V., Palled, Y.B., Shankaraiah, C., Nandihalli, B.S. (2013). Effect of sheath moisture and relation of SPAD on yield of sugarcane. Adv. Res. J. Crop Improv. 4(2): 98-102.
Lan, T., He, X., Wang, Q., Deng, O., Zhou, W., Luo, L., et al. (2022). Synergistic effects of biological nitrification inhibitor, urease inhibitor, and biochar on NH_3 volatilization, N leaching, and nitrogen use efficiency in a calcareous soil-wheat system. Applied Soil Ecology, 174: 104412.
Liu, R., Wang, Y., Hong, Y., Wang, F., Mao, X., Yi, J., Chen, F. (2023). Controlled-release urea application and optimized nitrogen applied strategy reduced nitrogen leaching and maintained grain yield of paddy fields in Northwest China. Frontiers in Plant Science, 14:1033506.
Mo, X., Peng, H., Xin, J., Wang, S. (2022). Analysis of urea nitrogen leaching under high-intensity rainfall using HYDRUS-1D. Journal of Environmental Management, 312: 114900.
OECD. (2001). Environmental Indicators for Agriculture, Methods and Results. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris France.
Rowell, D.L. (1994). Soil Science: methods and applications. Longman Scientific and Technical. John Wiley and Sons Inc. New York, 350 p.
Sabo, R.D., Clark, C.M., Bash, J., Sobota, D., Cooter, E., Dobrowolski, J.P., et al. (2019). Decadal shift in nitrogen inputs and fluxes across the contiguous United States: 2002-2012. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 124, 3104-3124.
Singh, A., Rudnick, D., Snow, D.D., Proctor, C., Puntel, L., Iqbal, J. (2024). Impact of split nitrogen applications on nitrate leaching and maize yield in irrigated loamy sand soils of Northeast Nebraska. Agrosystems, Geosciences and Environment, 7(3), e20554.
Singh, B., Bajwa, M.S. (1986). Studies on urea hydrolysis in salt affected soils. Fertilizer Research, 8: 231-240
Skiba, U., Wainwright, M. (1984) Urea hydrolysis and transformations in coastal dune sands and soil. Plant and Soil, 82: 117-123.
Wang, L., Ma, L., Li, Y., Geilfus, C.M., Wei, J., Zheng, F., Liu, Z., Tan, D. (2023) Managing nitrogen for sustainable crop production with reduced hydrological nitrogen losses under a winter wheat–summer maize rotation system: an eight-season field study. Frontiers in Plant Science, 14:1274943.
Wang, S., Wei, S., Liang, H., Zheng, W., Li, X., Hu, C., Currell, M. J., Zhou, F., Leilei Min, L. (2019). Nitrogen stock and leaching rates in a thick vadose zone below areas of long-term nitrogen fertilizer application in the North China Plain: A future groundwater quality threat. Journal of Hydrology, 576: 28-40.

Wiedenfeld, R.P. (1995). Effects of irrigation and N fertilizer application on sugarcane yield and quality. Field Crops Research, 43 (2): 101-108.

Xiang, Y.,Ru, X., Liu, Y., Miao, R., Tong, Y., Gong, M., Liu, Y., Zhao, G. (2024). Precisely controlling and predicting nitrogen release rate of urea–formaldehyde nanocomposite fertilizer for efficient nutrient management. Environmental Science: Nano, 11(3), 1217-1232.

Xing, J., Hu, C., Song, C., Wang, K., Song, Y. (2024). Nitrogen Deposition Modulates Litter Decomposition and Enhances Water Retention in Subtropical Forests. Forests, 15(3), 522. Haygarth, P.M., Jarvis, S.C. (2002). Agriculture, Hydrology and Water Quality. Wallingford, UK: CABI Publishing, 528 p.

Yang, W., Jiao, Y., Yang, M., Wen, H., Gu, P., Yang, J., Liu, L., Yu, J. (2020). Minimizing soil nitrogen leaching by changing furrow irrigation into sprinkler fertigation in potato fields in the Northwestern China Plain. *Water*, 12(8), 2229.

Zhang, X., Davidson, E.A., Mauzerall, D.L., et al. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. Nature, 594(7864), 51–60.

Effect of fertilization timing on urea use efficiency in sugarcane fields

Ali Motamedi Amin*, Hasan Ali Khatinzadeh, Seyed Ehsan Emam, Mansour Nouri, Daryoush Nikfar
Agricultural Researches Department, Karun Agro Industrial, Inc, Shushtar, Iran
*Corresponding author: alimahohi@yahoo.com

Abstract

Leaching, is one of the major challenges in nutrient management for this crop. This study was conducted to evaluate the effect of urea application timing on reducing nitrogen losses and improving sugarcane performance. In the improved method, urea was mixed with irrigation water during the final hours of each irrigation event. The experiment lasted for 70 days and included daily measurements of irrigation inflow and drainage outflow, along with sampling during each irrigation. Indicators such as urea and nitrate losses in drainage water, nitrate and total nitrogen content in the soil, plant nitrogen status, plant growth and moisture, and quantitative and qualitative yield of sugarcane were compared between the two treatments. The results showed that delaying the mixing of urea with irrigation water significantly reduced nitrogen losses and led to higher soil nitrate concentration, sheath moisture, leaf nitrogen content, and improved plant growth. Ultimately, this change resulted in enhanced quantitative and qualitative yield of sugarcane compared to the conventional fertilization method.

Keywords: Fertigation, drainage, loss of urea, nitrate, sugarcane