بررسی میزان تجمع نیترات و آمونیوم در خاک مزارع نیشکر میرزا کوچک‌خان

مریم عاگونی[۱]، عبدعلی ناصری[۲]و امیر سلطانی محمدی[۳*]

۱-کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

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

۳*- نویسنده مسئول، استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
a.soltani@scu.ac.ir

دریافت: بازنگری: پذیرش: انتشار:

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی میزان تجمع نیترات و آمونیوم در اراضی کشت و صنعت نیشکر واحد میرزا کوچک خان در قالب طرح فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. عامل اصلی طول جویچه (ابتدا، وسط و انتهای جویچه) و عوامل فرعی شامل عمق خاک (۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر)، مرحله کوددهی (اول ۷۵ کیلوگرم، دوم ۱۵۰ کیلوگرم و سوم ۱۵۰ کیلوگرم) و زمان نمونه‌برداری (قبل ازکوددهی، دو روز و یک هفته و دو هفته بعد از کوددهی) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد بیشترین مقدار نیترات خاک مربوط به عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر در مرحله دوم و زمان بعد از یک هفته با ۱۷/۴۹ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین بیشترین مقدار آمونیوم به میزان ۹/۰۶ کیلوگرم در هکتار در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر در مرحله دوم و دوهفته پس از اعمال تیمار مشاهده شد. در بین سه مرحله کوددهی بیشترین مقدار نیترات و آمونیوم در مرحله دوم مشاهده شد. بررسی نتایج زمان نمونه‌برداری نشان داد که بیشترین مقدار نیترات در زمان یک هفته بعد از کوددهی در مرحله دوم به میزان ۱۳/۸۱ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن برابر ۱/۴۷ کیلوگرم در هکتار در زمان قبل از کوددهی در مرحله اول می‌باشد. بیشترین مقدار آمونیوم برابر ۵/۱۲ کیلوگرم در هکتار در زمان‌های نمونه‌برداری یک و دو هفته بعد از کوددهی در عمق ۳۰-۰ به دست آمد. نتایج نشان داد تغییرات نیترات و آمونیوم در طول جویچه در عمق نمونه‌برداری در ابتدا، وسط و انتهای جویچه روند یکنواختی دارد.

کلید واژه‌ها: مرحله کوددهی، زمان نمونه‌برداری، آبیاری جویچه‌ای.

مقدمه

کودهای نیتروژنی به‌کار رفته در خاک‌های کشاورزی باعث آزاد شدن نیتروژن در محیط، اتمسفر و آب‌های زیرزمینی می‌شود (Zilio et al., 2020). به‌طور خاص، مکانیسم‌هایی که میزان نیترات شسته‌شده در پروفیل خاک در طول زمان را تنظیم می‌کنند، برای سال‌های متمادی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و گزارش شده است که غلظت نیتروژن اولیه در خاک، مقدار کل نیتروژن ورودی به خاک، آب و هوا، بارندگی و بافت خاک همگی بر شستشوی نیترات تأثیر می‌گذارد (Di and Cameron, 2002).

حرکت آب در خاک به بافت خاک بستگی دارد که نقش مهمی در تنظیم آبشویی نیترات دارد. برای خاک‌های کشاورزی هم غلظت نیترات و هم آبشویی به نوبه خود به مقدار نیتروژنی که با کود به خاک می‌رسد بستگی دارد. به دنبال این، بخشی از نیتروژن که توسط گیاهان جذب نمی‌شود از طریق فرآیند نیتریفیکاسیون به نیترات تبدیل می‌شود که شامل اکسیداسیون آمونیوم توسط میکروارگانیسم های نیتریفیکاسیون می‌شود.

شناخت مسائل آبشویی نیترات از چندین نظر حائز اهمیت است، ۱- به‌علت جذب نشدن نیترات به ذرات خاک و مستعد بودن آن به شسته‌شدن، از دسترس گیاه خارج شده و در نتیجه این آبشویی کاهش معنی‌داری در تولید و اقتصاد کشاورزی ایجاد می‌گردد، ۲- نیتریت و نیترات وارد شده به منابع آب زیرزمینی برای سلامتی انسان و دام بسیار مضر بوده و افزایش کاربرد آن سبب ایجاد تغییراتی در تعادل مواد مغذی و عملیات اکولوژیکی آب‌های سطحی نیز می‌گردد (Allende-Montalbán et al., 2022؛ Bibi et al., 2016).

Kashisaz et al., (2015) با بررسی تغییرات غلظت نیترات و آمونیوم در نیمرخ خاک نشان دادند که در سه تناوب زراعی، غلظت نیترات در عمق و زمان نمونه‌برداری مختلف بیشتر از آمونیوم می‌باشد. Adib et al (2013)، با بررسی تأثیر سطوح مختلف نیتروژن و روش‌های کود آبیاری بر مدیریت زه‌آب و کنترل آبشویی نیترات با علف ونتوریا، به این نتیجه دست یافتند که با توجه به‌کارگیری کود به‌صورت محلول در آب اثر بخشی کودها سریع‌تر و بیشتر بوده اما با این وجود، کمتر از ۵۰ درصد کودهای نیتروژنی استفاده شده در کود آبیاری‌ها مورد استفاده گیاهان قرار

گرفته و مابقی آن از طریق آبشویی، فرسایش و رواناب و تلفات گازی از دسترس گیاهان خارج می‌شود. Rathnappriya et al (2022)، پژوهشی به‌منظور بررسی اثر کودهای کند رها در متعادل کردن عملکرد محصول و کاهش شستشوی نیترات انجام دادند و بیان کردند که، کاربرد کودهای کندرها باعث افزایش عملکرد در مزارع راتون و پلنت نیشکر گردیده است و آبشویی نیترات در مزرعه پلنت در تمام تیمارها بیشتر از مزرعه راتون است. همچنین میزان شستشوی نیترات –N در زمان کاربرد کود اوره نسبت به کودهای کندرها بیشتر بوده است. Bai et al (2020) گزارش کردند که بیشترین عامل تأثیرگذار بر کاهش شستشوی نیترات زمانی بوده که مدیریت بهینه توام کود نیتروژنه و آب آبیاری است و موجب کاهش ۴۱ درصد خروج نیترات گردیده است. Hassanoghli et al (2022) با بررسی اثر کاربرد کود اورهٔ پوشش‌دار بر فرآیند انتقال نیترات به عمق‌های مختلف خاک بیان نمودند که عوامل مرحله کوددهی و زمان نمونه‌برداری بر آبشویی نیترات خاک تأثیر معنی‌دار دارند اما اثر عمق معنی‌دار نبود. Fang et al (2006) نشان دادند که با افزایش میزان کود نیتروژن، غلظت نیترات در لایه ۱۰۰ سانتی‌متری خاک افزایش یافت اما غلظت آمونیوم به وسیله میزان کود تحت تأثیر قرار نگرفت. آن‌ها در خاک‌های با بافت سنگین تجمع نیتروژن در لایه‌های سطحی را مشاهده کردند درحالی‌که انتقال نیترات به لایه‌های عمیق‌تر ناچیز بود. Zhu et al (2022) بیان کردند که بافت خاک و آب ورودی در کود آبیاری از عوامل کلیدی کنترل تجمع نیترات در پروفیل خاک می‌باشند. Jolaini و Abbasi (2008) با بررسی روند تغییرات نیترات و آمونیم در نیمرخ خاک نشان دادند که بلافاصله بعد از کاربرد نیتروژن، مقدار آمونیم و نیترات در لایه‌های سطحی به شدت افزایش یافت. در لایه‌های سطحی مقدار آمونیم در تیمار بدون تنش آبی کمتر از سایر تیمارها بود. در زمان تنش آبی، جذب آمونیم و نیترات کاهش ولی بعد از شکسته‌شدن تنش، مقدار آن افزایش یافت. با افزایش عمق خاک، مقدار نیترات در تیمار بدون تنش افزایش یافت. در تیمارهای با تنش آبی، میزان تلفات نیتروژن بر اثر تصعید آمونیم، نیترات زدایی، و آبشویی نیترات کاهش یافت.

مساحت مزارع نیشکر در استان خوزستان ۲۳۲۹/۷۹ هکتار می‌باشد. نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی برای رشد نیشکر است که باعث رشد و نمو محصول، افزایش پنجه زنی، طولانی شدن میانگره‌ها، ریشه‌دهی بیشتر و افزایش عملکرد می‌شود. براساس نتایج تحقیقات به‌طور کلی تنها کمتر از ۵۰ درصد کود نیتروژنی مورد استفاده قرار می‌گیرد و بقیه از طریق آبشویی، رولناب و تصعید گازی از دسترس گیاه خارج و تلف می‌شود (Malekian et al., 2011). یکنواختی توزیع آب و کود در مزارع نیشکر، شیب جویچه‌ها و زمان تزریق کود به آب آبیاری از جمله عواملی هستند که در آبشویی نیتروژن دخیل می‌باشند؛ بنابراین پژوهش حاضر به‌منظور بررسی میزان تجمع نیترات و آمونیوم با توجه به میزان کود مصرف شده و زمان نمونه‌برداری در اعماق مختلف خاک در اراضی توسعه نیشکر میرزا کوچک خان اجرا گردید. با توجه به نتایج حاصله می‌توان نیاز دقیق گیاه نیشکر با واریته CP69-1062 به کود اوره مصرفی با در نظرگرفتن شرایط آب و خاک و سطح ایستابی منطقه مورد بررسی تخمین زد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۰۱–۱۴۰۰ در مزارع شرکت کشت و صنعت نیشکر واحد میرزا کوچک خان واقع در جنوب غربی استان خوزستان با مشخصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی اجرا گردید. حد شرقی آن را رودخانه کارون و حد غربی آن را جاده اهواز– خرمشهر در بر می‌گیرد (شکل ۱). مزارع کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان ۲۵ هکتاری بوده که طول مزارع ۱۰۰۰ متر و عرض ۲۵۰ متر می‌باشد و برای آبیاری هر مزرعه یک باکس آبیاری وجود دارد. شماره مزرعه مورد مطالعه در خط هفت تولید دوم (اداره چهارم) L713 شرکت میرزا کوچک خان واقع می‌باشد. واریته کشت شده CP69 – 1062 و مزرعه راتون هشت می‌باشد. این پژوهش با استفاده از طرح آماری فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. عامل اصلی طول جویچه (در سه سطح ابتدا، وسط و انتهای جویچه) و عوامل فرعی شامل عمق خاک (در سه عمق ۳۰–۰، ۶۰–۳۰ و ۹۰–۶۰ سانتی‌متر)، مرحله کوددهی (در سه مرحله؛ مرحله اول ۷۵ کیلوگرم، مرحله دوم ۱۵۰ کیلوگرم و مرحله سوم ۱۵۰ کیلوگرم) و زمان نمونه‌برداری (در چهار زمان قبل ازکوددهی، دو روز بعد از کوددهی، یک هفته بعد از کوددهی و دو هفته بعد از کوددهی) در نظر گرفته شد. کوددهی با استفاده از مخازن کود رسان ۹۰۰ کیلوگرمی و با اتصال آن‌ها به سیستم آبیاری و تنظیم زمان و مقدار کود در سطح مزرعه انجام شد.

نمونه‌برداری از پروفیل خاک برای بررسی حرکت نیترات و آمونیوم، در طول جویچه (ابتدا، وسط و انتهای جویچه‌ها در عمق‌های۳۰–۰ ،۶۰–۳۰ و ۹۰–۶۰ سانتی‌متری) و در چهار نقطه از مزرعه به فواصل ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ متر از سمت باکس ورودی آب به مزرعه شکل (۲)، قبل از شروع آبیاری و عملیات کوددهی (فروردین ماه ۱۴۰۱) انجام گرفت.

آبیاری در اراضی کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان به روش جوی و پشته می‌باشد. این جویچه‌ها با فواصل ۱/۸۳ متر و با عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متری و عرض حدودا ۱۰۰ سانتی‌متری، طول ۲۵۰ متر و شیب ۰/۰۲ تا ۰/۰۵ درصد ایجاد می‌شوند. در کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان تأمین آب توسط ایستگاه پمپاژ از رودخانه کارون صورت می‌گیرد و انتقال آن تا مزارع توسط کانال و ایستگاه‌های پمپاژ ثانویه و بخش کمی با لوله صورت می‌گیرد. برای توزیع آب در مزارع از هیدروفلوم استفاده می‌شود که دارای قابلیت تعویض و جابجایی آسان هستند.

اعمال سطح کودی در سه مرحله، در مرحله اول ۷۵ کیلوگرم و

دو مرحله بعدی ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره انجام گردید. در هر نوبت کوددهی چهار زمان نمونه‌برداری از خاک برای بررسی مقدار نیترات و آمونیوم خاک وجود داشت جدول (۱) که در سه عمق خاک نمونه‌برداری انجام گردید. به منظور بررسی تغییرات نیترات و آمونیوم در طول جویچه، نقاط نمونه‌برداری (۱۲ نقطه) به سه قسمت ابتدای جویچه، وسط جویچه و انتهای جویچه تقسیم‌بندی شدند (جدول ۲). پس از برداشت نمونه‌ها، به‌منظور اندازه‌گیری غلظت نیترات و آمونیوم خاک به آزمایشگاه ارسال گردید. نیترات و آمونیوم به روش کجلدال و در طول موج ۴۰۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری آن‌ها انجام شد. داده‌ها در برنامه اکسل وارد و با نرم افزار SAS تجزیه و تحلیل شد.

برخی از ویژگی‌های خاک مزرعه مورد مطالعه در جدول (۳) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۳) آمونیوم و نیترات خاک به‌ترتیب برابر ۱/۲۳ و ۱/۷۴ میلی‌گرم در لیتر تعیین شد. بافت خاک رسی لومی بوده و مقادیر pH، EC_e، سدیم و مجموع کلسیم و منیزیم به‌ترتیب ۸/۲۴، ۴/۴۶ دسی زیمنس بر متر، ۱۵/۶۷ و ۲۹/۳۹ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد. مقادیر کلر، بی‌کربنات و سولفات به‌ترتیب ۱۶/۲۷، ۱/۳۸و۲۶/۳۷ میلی‌گرم در لیتر محاسبه گردید.

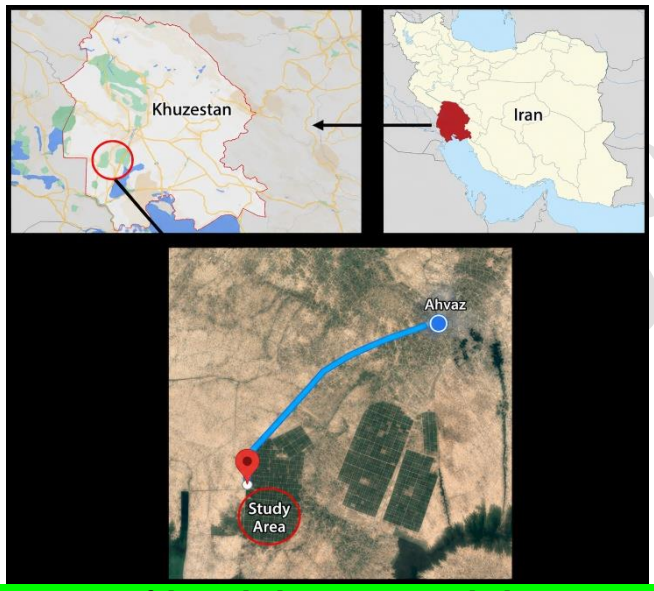


Fig. 1- Location of the studied area in Iran and Khuzestan province

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه درایران و استان خوزستان

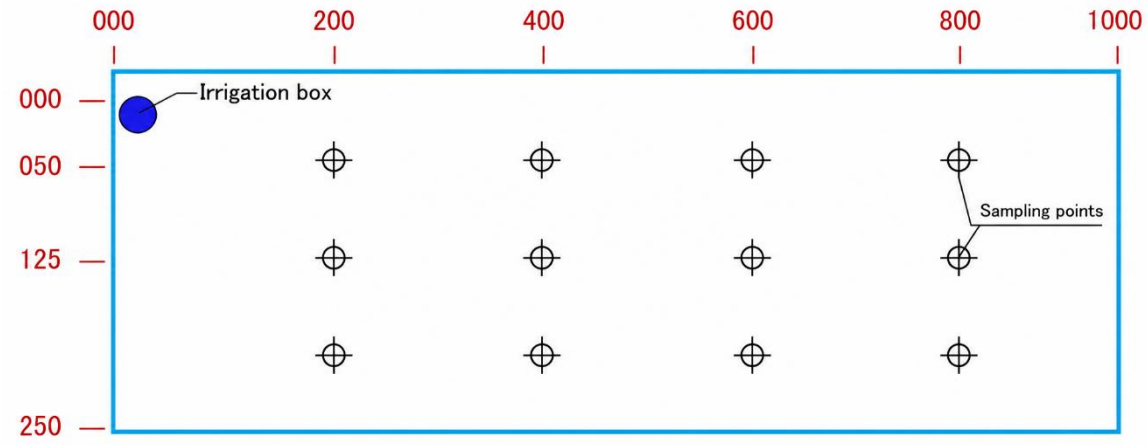


Fig. 2- Sampling stations

شکل ۲- ایستگاه‌های نمونه‌برداری

جدول ۱- برنامه اعمال کود به خاک

Table 1- Fertilizer application program to the soil

Treatment	Fertilization date	Sampling time
First stage of fertilization (75 kg)	2022/04/18	Before treatment
	2022/04/27	Two days after treatment
	2022/05/04	One week after treatment
	2022/05/12	Two weeks after treatment
Second stage of fertilization (150 kg)	2022/05/16	Before treatment
	2022/05/29	Two days after treatment
	2022/06/04	One week after treatment
	2022/06/14	Two weeks after treatment
Third stage of fertilization (150 kg)	2022/06/18	Before treatment
	2022/06/25	Two days after treatment
	2022/07/02	One week after treatment
	2022/07/10	Two weeks after treatment

جدول ۲- تقسیم‌بندی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در طول جویچه

Table 2- Division of sampling stations along the furrow

	First	Middle	Last
Station Number	1	5	9
	2	6	10
	3	7	11
	4	8	12

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 3- Physical and chemical characteristics of the studied soil

soil texture	pH	ECe (dS.m-1)	ESP (meq.L)	SAR (meq.L)	NH_4^+ (mg.L)	No_3^- (mg.L)	SO_4^{-2} (mg.L)	HCO^{3-} (mg.L)	Cl^- (mg.L)	$Ca^{+2}+Mg^{+2}$ (mg.L)	Na^+ (mg.L)
loamy clay	7.24	4.46	4.24	3.89	1.23	1.74	26.37	1.38	16.278	29.39	15.67

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و متقابل عمق خاک، مرحله کوددهی، زمان نمونه‌برداری و طول جویچه بر غلظت نیترات و آمونیوم خاک در جدول (۴) ارائه شده است. بر اساس نتایج مندرج اثرات ساده و متقابل عمق خاک، مرحله کوددهی و زمان نمونه‌برداری بر مقدار نیترات و آمونیوم خاک معنی‌دار گردید اما اثر ساده و متقابل طول جویچه با سایر عوامل (به جز اثر عمق در طول جویچه) بر مقدار نیترات و آمونیوم خاک معنی‌دار نبود (جدول ۴).

بررسی غلظت نیترات در خاک

نتایج میانگین نیترات خاک در عمق‌های مختلف به تفکیک مراحل کوددهی و زمان نمونه‌برداری در شکل‌های (۳) تا (۵) ارائه شده است. با توجه به شکل (۳) در مرحله اول کوددهی در زمان‌های قبل، دو روز بعد، یک هفته بعد و دو هفته بعد از کوددهی با افزایش عمق، غلظت نیترات نیز افزایش یافته است. به‌طوری که بیشترین و کمترین مقدار آن به‌ترتیب در عمق ۹۰-۶۰ و ۳۰-۰ سانتی‌متر مشاهده گردید. همچنین در این مرحله در بین زمان‌های مختلف، قبل از کوددهی و عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر کمترین مقدار نیترات،۰/۴۰ کیلوگرم در هکتار و دو هفته بعد از کوددهی و عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر بیشترین مقدار نیترات، ۱۲/۵۷ کیلوگرم در هکتار را داشتند. در مرحله اول غلظت نیترات در عمق۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۷۱/۱۵ و ۱۱۱/۰۱ درصد نسبت به عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر افزایش نشان دادند (جدول ۵).

بر اساس نتایج میانگین نیترات خاک در سه عمق خاک در مرحله دوم کوددهی همانند مرحله اول کوددهی، با افزایش عمق، مقدار آبشویی نیترات افزایش یافته است. در چهار زمان نمونه‌برداری، عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر کمترین و عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر بیشترین مقدار نیترات را داشتند (شکل۴). در این مرحله کمترین مقدار نیترات در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر و زمان دو روز بعد از کوددهی به‌میزان ۴/۲۶ کیلوگرم در هکتار و بیشترین مقدار نیترات

در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر و زمان دو هفته بعد از کوددهی به‌میزان (۱۶/۵۱ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (شکل۴). در این مرحله درصد افزایش غلظت نیترات در عمق۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر نسبت به عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۵۳/۸۳ و ۸۳/۷۷ درصد بود (جدول ۵).

در مرحله سوم کوددهی نیز بیشترین تجمع نیترات در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر می‌باشد و در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر کمترین مقدار نیترات مشاهده گردید (شکل ۴ و۵). در این مرحله با توجه به زمان نمونه‌برداری بیشترین و کمترین مقدار نیترات به‌ترتیب در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر در زمان قبل از کوددهی (۱۲/۰۵ کیلوگرم در هکتار) و عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر در زمان دو هفته بعد از اعمال تیمار (۲/۰۲ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. در مرحله سوم غلظت نیترات در عمق۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۶۳/۳۴ و ۹۵/۸۶ درصد نسبت به عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر افزایش نشان داد (جدول ۵).

نیترات آنیون بوده و به‌علت دارا بودن بار منفی جذب کلوئیدهای خاک نمی‌شود بنابراین می‌تواند به زیر منطقه ریشه آبشویی شده و در عمق‌های پایین خاک تجمع یابد (Kashisaz et al.,2015). همچنین احتمال دارد علت افزایش غلظت نیترات در عمق پایینی خاک به‌دلیل شکاف‌های به‌وجود آمده در خاک توسط ریشه‌های گیاه نیشکر باشد. همچنین نیترات در خاک به شدت سیال است و با آبیاری به اعماق خاک نفوذ پیدا می‌کند. همچنین نوع بافت خاک، تخلخل و مقدار مواد آلی خاک نیز در مقدار آبشویی نیترات دخیل هستند. این نتیجه با نتایج پژوهش Liu et al (2003) و Zhou et al. (2008) مطابقت دارد. Bahmani et al. (2010) در پژوهشی گزارش نمودند که میزان نیترات با توجه به میزان آب آبیاری و سطح کود ازته به کار رفته متغیر بود و با کاهش میزان آب کاربردی و افزایش مقدار کود به‌کار رفته، نیترات بیشتری در نیمرخ خاک مشاهده شد و به مرور زمان نیترات به لایه‌های پایینی خاک انتقال یافت و غلظت آن در سطوح بالایی خاک به‌طور محسوسی کاهش یافت که آبشویی، جذب توسط گیاه و تبدیل نیترات به گاز نیتروژن در اثر پدیده دنیتریفیکاسیون از عوامل این کاهش به شمار می‌رود که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

جدول ٤- تجزیه واریانس اثرات عمق خاک، مرحله کوددهی و زمان نمونه‌برداری بر غلظت نیترات و آمونیوم

Table 4-Analysis variance of the effects of soil depth, fertilization stage and sampling time on nitrate and ammonium concentration

Variable	df	Mean Squares	
		Ammonium	Nitrate
Repetition	3	0.001	0.001
Depth (A)	2	88.867**	190.385**
Fertilization stage (B)	2	0.624**	5.943**
Time (C)	3	1.147**	8.104**
Furrow length (D)	2	6.124ns	12.250ns
A*B	4	0.511**	0.999*
A*C	6	0.877**	0.615**
B*C	6	0.036**	0.157**
A*D	4	1.045ns	2.205*
B*D	4	3.263ns	0.352ns
C*D	6	0.189ns	3.145ns
Error	54	0.000	0.002

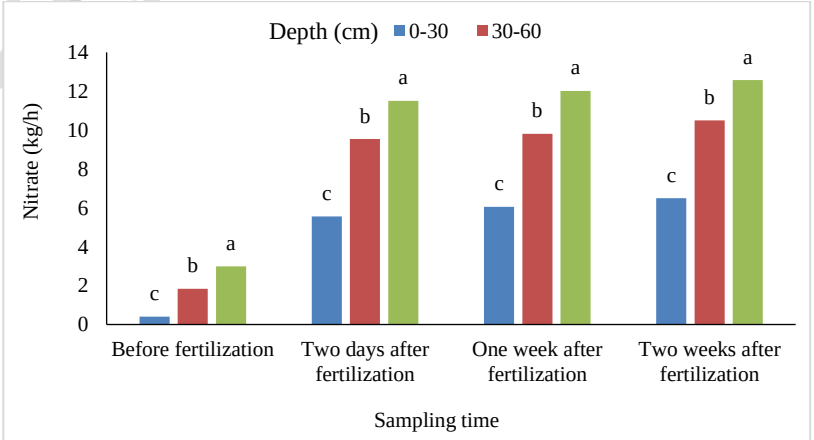


Fig. 3- Nitrate changes at three soil profile depths in the first stage of fertilization

شکل ۳- تغییرات نیترات در سه عمق نیمرخ خاک در مرحله اول کوددهی

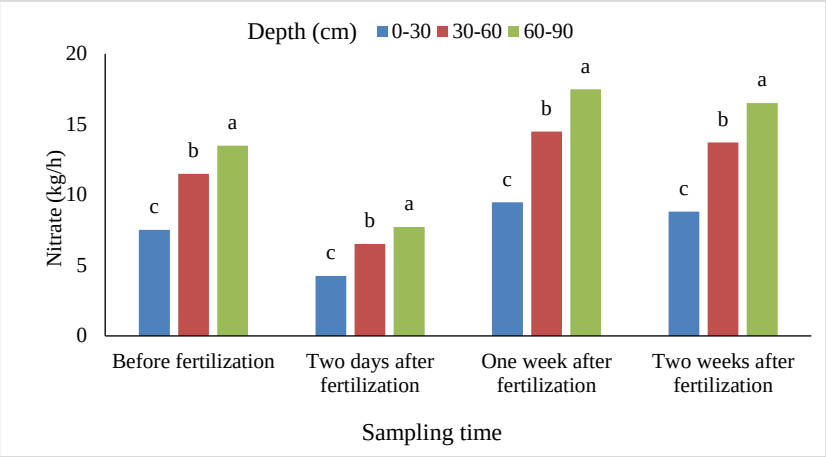


Fig. 4- Nitrate changes at three depths of the soil profile in the second stage of fertilization

شکل ٤-تغییرات نیترات در سه عمق نیمرخ خاک در مرحله دوم کوددهی

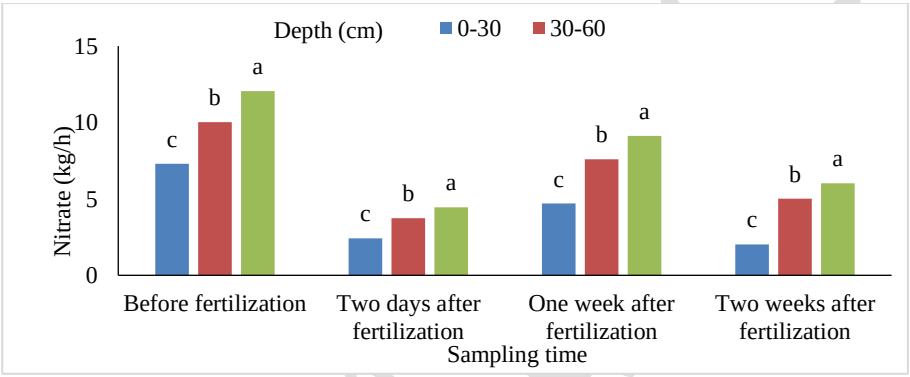


Fig. 5- Nitrate changes at three depths of the soil profile in the third stage of fertilization

شکل ٥- تغییرات نیترات در سه عمق نیمرخ خاک در مرحله سوم کوددهی

جدول ٥- درصد تغییرات نیترات در سه مرحله کوددهی بر اساس عمق خاک

Table 5- Percentage of nitrate changes in three stages of fertilization based on soil depth

Variable	0-30 (cm)	30-60 (cm)	60-90 (cm)
First stage	0	71.15	111.01
Second stage	0	53.83	83.77
Third stage	0	63.34	95.86

تأثیر زمان نمونه‌برداری بر غلظت نیترات خاک

با توجه به نتایج شکل (۶) در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری از خاک، مقدار نیترات خاک نیز متفاوت می‌باشد. به‌طوری که در سه عمق، زمان یک هفته بعد از کوددهی بیشترین و دو روز بعد از کوددهی کمترین مقدار نیترات در خاک مشاهده گردید. در زمان یک هفته بعد از کوددهی مقدار نیترات در سه عمق به‌ترتیب برابر ۶/۷۴، ۱۰/۶۳ و ۱۲/۸۷ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار نیترات برابر ۴/۰۸، ۶/۶۰ و ۷/۸۹ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در سه عمق زمان دو روز بعد از کوددهی به‌دست آمد. با توجه به جدول (۶) درصد تغییرات نیترات نسبت به زمان قبل از کوددهی به‌ترتیب در زمان دو روز بعد از کوددهی برابر ۱۶/۶۳- درصد کاهش، یک هفته بعد برابر ۳۵/۷۶ درصد افزایش و دو هفته بعد از کوددهی برابر ۲۲/۱۵ درصد افزایش نشان داد. بنابراین در زمان یک هفته بعد از کوددهی بیشترین درصد افزایش نیترات نسبت به زمان قبل از کوددهی مشاهده شد.

تغییرات نیترات نسبت به زمان را می‌توان به تغییرات آن به دلیل آبشویی، جذب توسط گیاه و تبدیل نیترات به گاز نیتروژن در اثر پدیده دنیتریفیکاسیون ارتباط داد (Bahmani et al., 2010). جذب یون‌های آمونیوم بر روی کمپلکس‌های رس سبب کنترل انتقال توده‌ای یون آمونیوم شده و شستشوی آن به اعماق پایین‌تربه تدریج صورت می‌گیرد و دلیل بالا بودن نیترات در اوایل دوره نمونه‌برداری هم می‌تواند ناشی از این امر باشد.

با توجه به شکل (۷) مقادیر نیترات خاک بر اساس مرحله کوددهی و زمان نمونه‌برداری مقدار متفاوتی را نشان می‌دهد. در مرحله اول کوددهی بیشترین و کمترین مقدار نیترات خاک، به‌ترتیب

مربوط به زمان دو هفته بعد از کوددهی به مقدار ۹/۸۵ کیلوگرم در هکتار و زمان قبل از کوددهی به مقدار ۱/۷۴ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. در زمان دو روز بعد از کوددهی به دلیل عدم اشباع خاک از نیترات مقداری از آن در خاک تثبیت شده و همچنین به دلیل نیاز گیاه مقداری از آن جذب ریشه گیاه شده است. از طرف دیگر در زمان دو روز بعد از کوددهی فرآیند تبدیل اوره به نیترات به‌طور کامل انجام نمی‌شود، در نتیجه مقدار کمی از اوره به نیترات تبدیل گشته و به همین دلیل مقدار نیترات در این زمان نسبت به تاریخ‌های بعدی کمتر بوده است. بنابراین در زمان‌های یک هفته و دو هفته بعد از کوددهی به دلایلی از جمله؛ اشباع شدن خاک و گیاه و همچنین با توجه به زمان کافی برای فرآیند تبدیل اوره به نیترات، مقدار نیترات در این زمان‌ها بیشترین مقدار را نشان دادند.

در مرحله دوم کوددهی بیشترین مقدار نیترات در زمان یک هفته بعد از کوددهی (۱۳/۸۱ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار نیترات در زمان دو روز به از کوددهی (۶/۱۷ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (شکل ۷). در مرحله دوم به‌دلیل باقی ماندن مقداری نیترات از مرحله قبل، مقدار نیترات قبل از کوددهی بیشتر از زمان دو روز بعد از کوددهی بود. در مرحله دوم نیز مانند مرحله اول بعد از یک هفته، مقدار نیترات به دلیل فرآیند تبدیل آمونیوم به نیترات و عدم جذب نیترات توسط کاتیون‌های خاک و گیاه (به‌دلیل اشباع شدن)، غلظت نیترات در محلول خاک حداکثر مقدار را نشان داد. در دو هفته بعد از اعمال تیمار نسبت به یک هفته مقدار نیترات کم شده است که می‌تواند به‌دلیل نیاز دوباره گیاه و جذب توسط کاتیون‌ها باشد.

در مرحله سوم کوددهی مقدار نیترات در زمان‌های بعد از کوددهی نسبت به دو مرحله اول کاهش قابل توجهی داشته است. به‌طوری که بیشترین مقدار نیترات به میزان ۹/۷۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به زمان قبل از کوددهی و کمترین مقدار نیترات در زمان دو روز بعد از کوددهی به میزان ۳/۵۳ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۷). همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مقدار نیترات در زمان قبل از کودهی از مرحله اول تا سوم روند افزایشی داشته که دلیل تجمع نیترات از مرحله قبل و باقی ماندن در خاک می‌باشد. در این مرحله به دلیل عدم جذب نیترات توسط ذرات مثبت خاک، آبشویی شده و از افق خاک خارج می‌شود. بنابراین بعد از دو هفته مقدار نیترات کاهش شدید پیدا می‌کند.

با توجه به جدول (۷) در مرحله دوم و سوم کوددهی غلظت نیترات خاک نسبت به مرحله اول کوددهی به‌ترتیب برابر ۴۷/۲۵ درصد افزایش و ۱۶/۹۸- درصد کاهش نشان دادند.

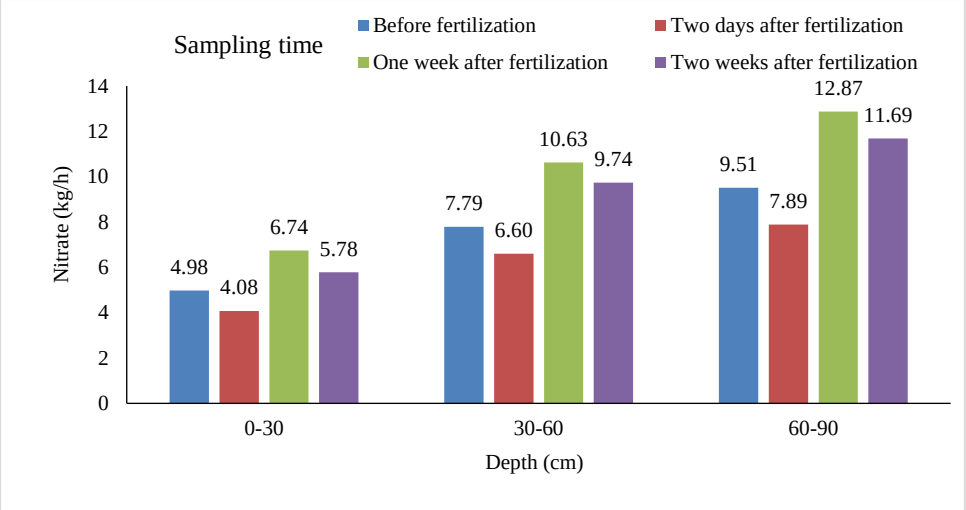


Fig. 6- Nitrate changes at different sampling times by soil depth

شکل ٦- تغییرات نیترات در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری به تفکیک عمق خاک

جدول ٦- درصد تغییرات نیترات خاک بر اساس زمان نمونه‌برداری

Table 6- Percentage of soil nitrate changes based on sampling time

Sampling time	Before fertilization	Two days after fertilization	One weeks after fertilization	Two week after fertilization
Percentage of changes	0	-16.63	35.76	22.15

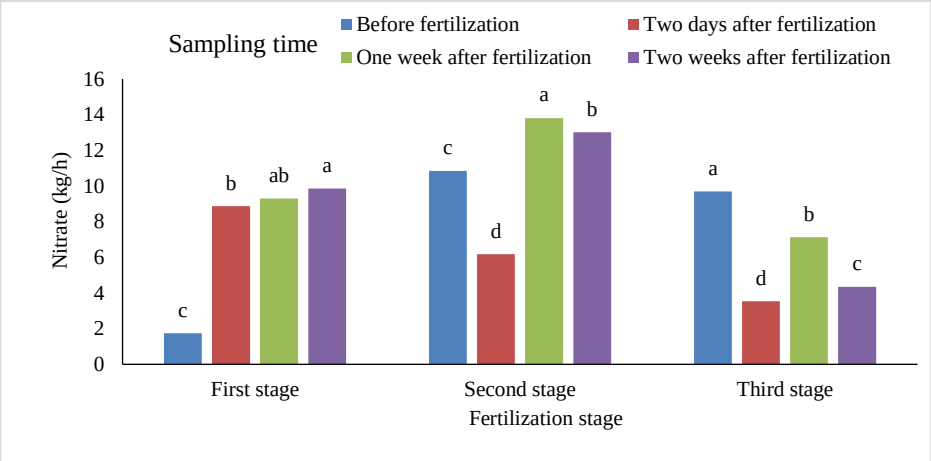


Fig. 7- Nitrate changes at different sampling times by fertilizing stage
شکل ۷- تغییرات نیترات در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری به تفکیک مرحله کوددهی

جدول ۷-درصد تغییرات نیترات در سه مرحله کوددهی
Table 7-Percentage of nitrate changes in three stages of fertilization

Fertilization stage	First stage	Second stage	Third stage
Percentage of changes	0	47.25	-16.98

بررسی غلظت آمونیوم در خاک

نتایج تغییرات غلظت آمونیوم در نیم‌رخ خاک در سه مرحله کوددهی در شکل‌های (۸) تا (۱۰) ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، در مرحله اول به جز در زمان قبل از کوددهی مقدار آمونیوم در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر بیشتراز دو عمق دیگر است. در زمان قبل از کوددهی به‌دلیل عدم وجود آمونیوم در خاک سطحی و آبشویی آمونیوم به اعماق پایین‌تر، مقدار آمونیوم در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر بیشتر از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر بود. در این مرحله بیشترین آمونیوم خاک برابر ۱/۹۴، ۳/۷۳ و ۵/۵۵ کیلوگرم در هکتار در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر به‌ترتیب در زمان‌های دو روز، یک هفته و دو هفته بعد از کوددهی بود (شکل ۸). در مرحله اول غلظت آمونیوم در عمق۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۵۳/۸۴- و ۶۹/۶۲- درصد نسبت به عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر کاهش نشان دادند (جدول ۸).

در مرحله دوم کوددهی بیشترین و کمترین مقدار آمونیوم به‌ترتیب مربوط به عمق ۳۰-۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر در چهار زمان نمونه‌برداری بود. مقدار آمونیوم در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر به‌ترتیب برابر ۶/۹۵، ۷/۵۱، ۸/۶۴ ، ۹/۰۵ کیلوگرم در هکتار در تیمار قبل از کوددهی، دو روز، یک هفته و دو هفته بعد از کوددهی به‌دست آمد (شکل ۹). در این مرحله درصد کاهش غلظت آمونیوم در عمق۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر نسبت به عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۴۱/۲۰- و ۶۱/۳۱- درصد بود (جدول ۸).

در مرحله سوم کوددهی در زمان قبل از کوددهی، دو روز و یک هفته بعد از کوددهی بیشترین مقدار آمونیوم در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر و در زمان دو هفته بعد از کوددهی، عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر بیشترین مقدار آمونیوم را نشان داد. در مرحله سوم غلظت آمونیوم در عمق۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۴۱/۲۰- و ۴۸/۱۵- درصد نسبت به عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر کاهش نشان داد (جدول ۸). یکی از دلایل بالا بودن مقدار آمونیوم در افق سطحی در زمان قبل از کوددهی، تجمع آمونیوم باقی مانده از دو مرحله قبل در سطح خاک و همچنین تحرک کم آمونیوم می‌باشد که مانع آبشویی آن می‌گردد؛ به همین دلیل در عمق ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متر مقدار آمونیوم کاهش یافته است. همچنین به دلیل فرآیند نیتریفیکاسیون در زمان بعد از دو هفته، بخش زیادی از آمونیوم به نیترات تبدیل شده و در نتیجه در افق سطحی مقدار آن کاهش یافته است (شکل ۱۰).

Soroush et al. (2011) گزارش نمودند که در نمونه‌برداری حدود هشت تا ۱۰ روز بعد از کودآبیاری، عملاً در این فاصله زمانی بخش زیادی از آمونیوم به‌دست آمده از مرحله هیدرولیز اوره، طی فرآیند نیترات‌زایی به نیترات تبدیل شده و مقدار آن کاهش یافته است.

علت بیش‌تر بودن غلظت آمونیم در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر احتمالاً به‌دلیل وجود مواد آلی در سطح خاک می‌باشد. جذب یون‌های آمونیم با بار مثبت به وسیله ذرات رس، سبب کنترل انتقال یون آمونیم شده و باعث شده است که شستشوی آن به اعماق پایین، نسبت به نیترات کمتر باشد (Bahmani et al., 2010).

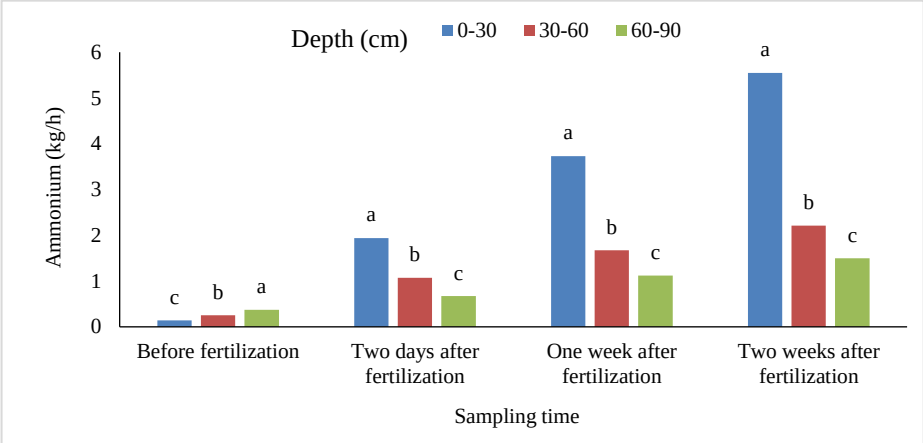


Fig. 8- Ammonium changes in three depths of the soil profile in the first stage of fertilization

شکل ۸- تغییرات آمونیوم در سه عمق نیمرخ خاک در مرحله اول کوددهی

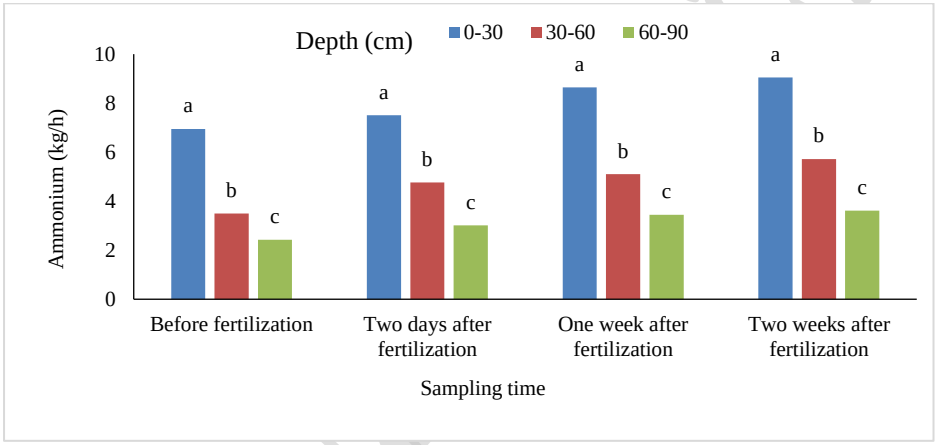


Fig. 9- Ammonium changes in three depths of the soil profile in the second stage of fertilization

شکل ۹- تغییرات آمونیوم در سه عمق نیمرخ خاک در مرحله دوم کوددهی

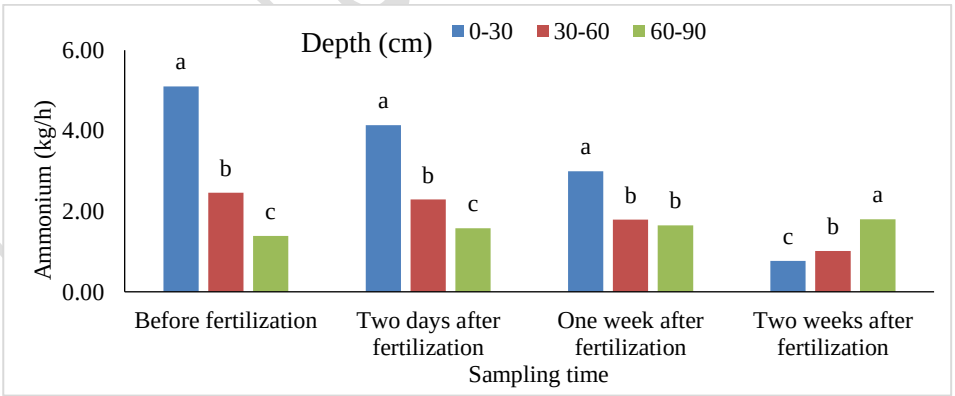


Fig. 10- Ammonium changes at three depths of the soil profile in the third stage of fertilization

شکل ۱۰- تغییرات آمونیوم در سه عمق نیمرخ خاک در مرحله سوم کوددهی

جدول ۸- درصد تغییرات آمونیوم در سه مرحله کوددهی بر اساس عمق خاک

Table 8- Percentage of ammonium changes in three stages of fertilization based on soil depth

Variable	0-30 (cm)	30-60 (cm)	60-90(cm)
First stage	0	-53.84	-69.62
Second stage	0	-41.20	-61.31
Third stage	0	-41.20	-48.15

تأثیر زمان نمونه‌برداری بر غلظت آمونیوم خاک

با توجه به شکل (۱۱) در سه عمق نمونه‌برداری مقدار آمونیوم در زمان‌های یک و دو هفته بعد از کوددهی بیشتر از زمان‌های قبل از کوددهی و دو روز بعد از کوددهی بود. بیشترین مقدار آمونیوم برابر ۵/۱۲ کیلوگرم در هکتار در زمان‌های یک و دو هفته بعد از کوددهی در عمق ۳۰-۰ به دست آمد. توجه به جدول (۹) درصد تغییرات آمونیوم نسبت به زمان قبل از کوددهی به‌ترتیب در زمان دو روز بعد از کوددهی برابر ۴۲/۵۸- درصد کاهش، یک هفته بعد برابر ۳۸/۹۱ درصد افزایش و دو هفته بعد از کوددهی برابر ۷۷/۸۸ درصد افزایش نشان داد. بنابراین در زمان دو هفته بعد از کوددهی بیشترین درصد افزایش آمونیوم نسبت به زمان قبل از کوددهی مشاهده شد.

نتایج نشان می‌دهد که نوبت کوددهی و غلظت نیترات، بر مقدار آمونیوم خاک مؤثر است. به عبارت دیگر کود وارد شده به خاک به شکل نیترات و آمونیوم تبدیل می‌شود، گیاه بر اساس نیاز و شرایط رشد از آن‌ها برداشت می‌کند و گاهی ممکن است کل نیتروژن وارد شده به خاک تا مرحله بعدی کوددهی مصرف نگردد. بنابراین باقی‌مانده نیتروژن در خاک، روی نمونه‌های برداشت شده برای نوبت بعدی کوددهی مؤثر واقع می‌شود (شکل ۱۲). با توجه به جدول (۱۰) در مرحله دوم و سوم کوددهی غلظت نیترات خاک نسبت به مرحله اول کوددهی به‌ترتیب برابر ۱۴۳/۸۸ درصد افزایش و ۳/۰۶- درصد کاهش نشان دادند. مشابه با چنین نتیجه‌ای نیز در مطالعه Soroush et al (2011) گزارش شده است. از طرف دیگر نتایج تحقیقات Zhang et al (2015) نشان داده است که سرعت معدنی شدن و نیترات‌زایی در خاک تیمارهایی که کود نیتروژن بیشتری دریافت می‌کنند، بیشتر است.

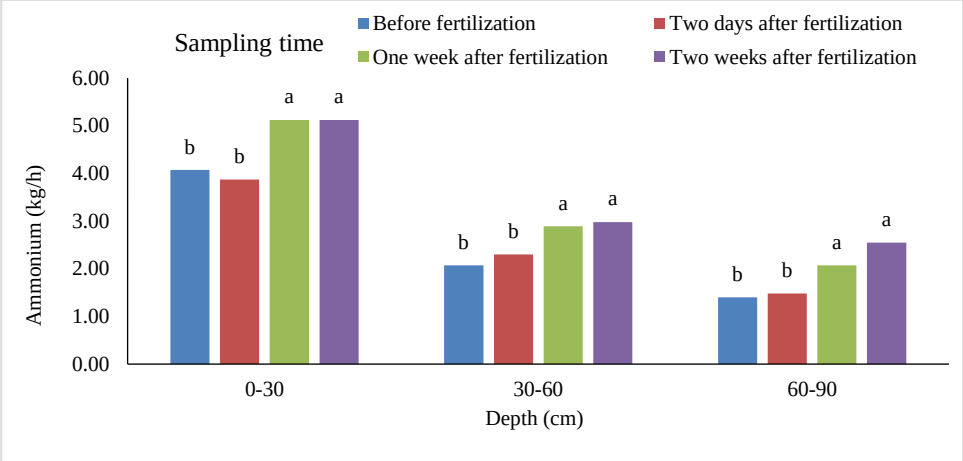


Fig. 11- Ammonium changes at different sampling times by soil depth

شکل ۱۱- میانگین آمونیوم در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری به تفکیک عمق خاک

جدول ۹- درصد تغییرات آمونیوم بر اساس زمان نمونه‌برداری

Table 9- Percentage of ammonium changes based on sampling time

Sampling time	Before fertilization	Two days later	One week later	Two weeks later
Percentage of change	0	-42.58	38.91	77.88

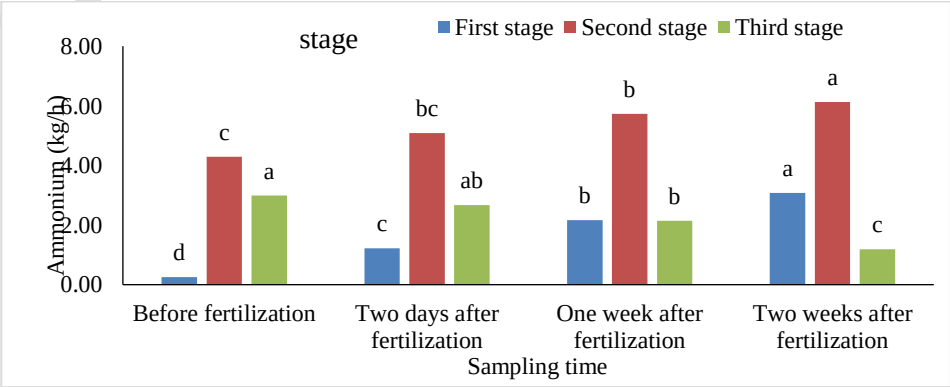


Fig. 12- Ammonium changes at different sampling times by fertilizing stage

شکل ۱۲- میانگین آمونیوم در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری به تفکیک مرحله کوددهی

جدول ۱۰- درصد تغییرات آمونیوم در سه مرحله کوددهی

Table 10- Percentage of ammonium changes in three stages of fertilization

Fertilization stage	First stage	Second stage	Third stage
Percentage of changes	0	143.88	-3.06

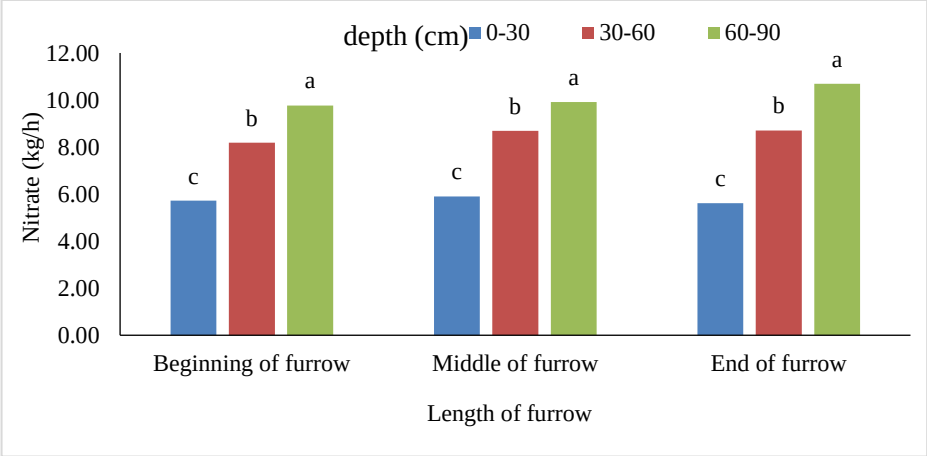


Fig. 13- Nitrate changes along the furrow by depth

شکل ۱۳- تغییرات نیترات در طول جویچه به تفکیک عمق

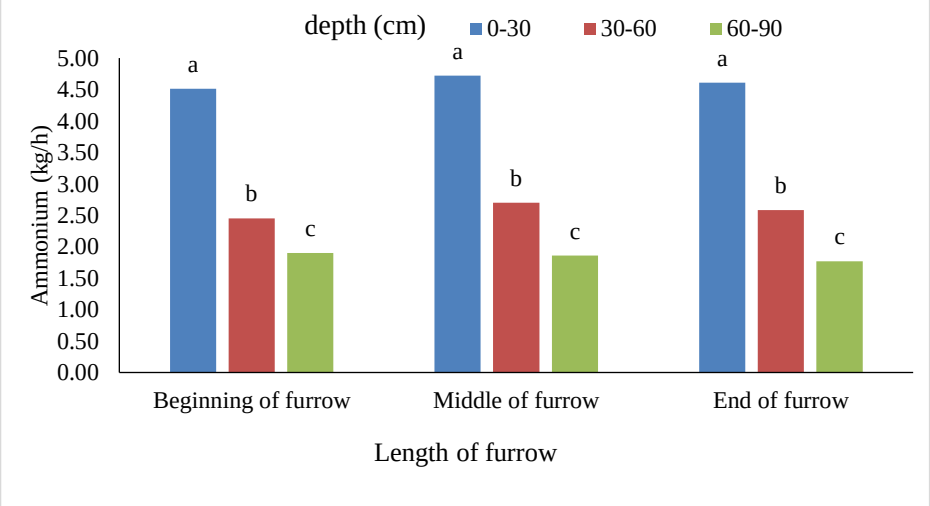


Fig. 14- Ammonium changes along the furrow by depth

شکل ۱٤- تغییرات آمونیوم در طول جویچه به تفکیک عمق

بررسی تغییرات نیترات و آمونیوم خاک در طول جویچه

بررسی مقدار نیترات در طول جویچه نشان می‌دهد که در عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر بیشترین مقدار نیترات در وسط جویچه و کمترین آن در ابتدای جویچه می‌باشد. اما تغییرات مقدار نیترات در این دو عمق شدید نیست و مقادیر بهم نزدیک می‌باشد. در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر مقدار نیترات در انتهای جویچه بیشتر از ابتدا و وسط جویچه می‌باشد. به‌طوری که از ۹/۷۷ کیلوگرم در هکتار در ابتدای جویچه به ۱۰/۶۹ کیلوگرم در هکتار در انتهای جویچه افزایش یافت (شکل ۱۳). نیترات به‌دلیل آبشویی و انتقال آن در بخش پایینی افق خاک، تغییرات آن نیز در عمق پایین‌تر نسبت به خاک سطحی بیشتر است. به همین دلیل در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر تغییرات نیترات در طول جویچه محسوس‌تر است.

بررسی نتایج تغییرات آمونیوم در طول جویچه نشان می‌دهد که در طول جویچه در سه عمق نمونه‌برداری، مقدار آمونیوم تقریباً روند مشابهی دارد و افزایش یا کاهش شدیدی ندارد. ولی به‌طور کلی در عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر وسط جویچه مقدار آمونیوم بیشتر از ابتدا و انتهای آن بوده و در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر از ابتدا به انتهای جویچه مقدار آمونیوم کاهش یافته است (شکل ۱۴).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات نیترات در سه مرحله کوددهی از عمق ۳۰-۰ تا ۹۰-۶۰ سانتی‌متر روند افزایشی دارد و بیشترین مقدار نیترات در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر و بیشترین تجمع مقدار آمونیوم در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر بود. در مرحله دوم کوددهی

با مقدار کود ۱۵۰ کیلوگرم، بیشـــترین مقدار نیترات و آمونیوم در خاک مشـــاهده گردید که مقدار آن در ســـه عمق به‌ترتیب ۷/۵۱، ۱۱/۵۶ و ۱۳/۸۰ کیلوگرم در هکتار نیترات و ۷/۱، ۴/۱۴ و ۲/۷۴ کیلوگرم در هکتار آمونیوم به‌دســـت آمد. در مرحله دوم تغییرات نیترات در در عمق۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ ســانتی‌متر نســبت به عمق ۳۰-۰ ســانتی‌متر به‌ترتیب ۵۳/۸۳ و ۸۳/۷۷ درصـد افزایش نشـان داد. تغییرات عمقی آمونیوم نیز در این مرحله روند کاهشـی نشـان داد بـه‌طوری کـه غلظـت آمونیوم در عمق۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ ســانتی‌متر نســبت به عمق ۳۰-۰ ســانتی‌متر به‌ترتیب ۴۱/۲۰- و ۶۱/۳۱- درصد کاهش نشان داد.

بررسـی نتایج زمان نمونه‌برداری نشـان داد که بیشـترین مقدار نیترات و آمونیوم به‌ترتیب در زمان یـک هفته بعد از کوددهی (در مرحله دوم) و دو هفته بعد از کوددهی بود.

تغییرات نیترات در طول جویچه در عمق نمونه‌برداری ۳۰-۰ و ۹۰-۶۰ سانتی¬متر در ابتدا، وسط و انتهای جویچه روند یکنواختی را نشـان داد که دلیل بر انتقال منظم نیترات بین خاک، گیاه و آب بوده اسـت. در عمق ۹۰-۶۰ سـانتی‌متر به دلیل تجمع زیاد نیترات در این عمق، بر تغییرات نیترات در طول جویچه تأثیر گذاشـــته به گونه ای که مقدار نیترات در ابتدا، وسـط و انتهای جویچه به‌ترتیب برابر ۹/۷۷، ۹/۹۱ و ۱۰/۶۹ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

نویسندگان هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تالیف و انتشار این مقاله دریافت نکردند.

دسترسی به داده‌ها

مجموعه داده‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر، در صورت درخواست معقول، از نویسنده مسئول در دسترس هستند.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش

نویسندگان در مقاله خود از هوش مصنوعی مولد و فناوریهای کمکی هوش مصنوعی استفاده نکرده اند.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: مریم عاگونی، گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش نویس مقاله.

نویسنده دوم: عبدعلی ناصری، نظارت بر مراحل انجام پژوهش.

نویسنده سوم: امیر سلطانی محمدی، مشارکت در طراحی پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از مدیر عامل و کارکنان محترم کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان که در تهیه پژوهش حاضر همکاری کردند، قدردانی می کنند.

References

1- Adib, E., Farzadian, A., Mohammadnia, M. and S. A. A. Mousavi. 2013. The effect of texture, different nitrogen levels and irrigation methods on drainage management and nitrate leaching control by vetiver grass (Zizanoides Vetivria). The First National Conference on Drainage in Sustainable Agriculture, March, Tehran, Tarbiat Modares University. 10 PP.

2- Allende-Montalbán, R., Martín-Lammerding, D., del Mar Delgado, M., Porcel, M. A., and L. J. Gabriel. 2022. Nitrate leaching in maize (Zea mays L.) and wheat (Triticum aestivum L.) irrigated cropping systems under nitrification inhibitor and/or intercropping effects. *Agriculture*, 12(4):478. https://doi.org/10.3390/agriculture12040478.

3- Bahmani, O., Broomand Nasab, S., Behzad, M., and A. A. Naseri. 2010. Evaluation of potential Nitrate and Ammonium accumulation in the soil profile under irrigation and manure treatments with the LEACHM Model. *Environmental Science*, 7: 2. 95-108. (In Persian).

4- Bai, X., Zhang, Z., Cui, J., Liu, Z., Chen, Z. and J. Zhou. 2020. Strategies to mitigate nitrate leaching in vegetable production in China: a meta-analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(15): 18382-18391. https://doi.org/10.1007/s11356-020-08322-1.

5- Bibi, S., Saifullah, Naeem, A. and S. Dahlawi. 2016. Environmental impacts of nitrogen use in agriculture, nitrate leaching and mitigation strategies. Soil science: *Agricultural and environmental prospectives*, 131-157. https://doi.org/10.1007/978-3-319-34451-5_6.

6- Di, H. and K. Cameron. 2002. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 64: 237–256. https://doi.org/10.1023/A:1021471531188.

7- Fang, Q., Yu, Q., Wng, E., Chen, Y., Zhang, G., Wang, J. and L. Li. 2006. Soil nitrate accumulation and crop nitrogen use influenced by fertilization and irrigation in an intensive wheat-maiz double cropping system in the North China plain. *Journal of Plant and Soil*, 284(1-2): 335-350. https://doi.org/10.1007/s11104-006-0055-7.

8- Hassanoghli, A. R., Heidaryzad, Z., Mashal, M. and M. Varavipoor. 2022. The effect of using coated urea on the process of nitrate transfer to different soil depths compared to some types of common fertilizers. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 23(87): 77-98. https://doi.org/10.22092/idser.2022.359844.1520. (In Persian).

9- Jolaini, M. and F. Abbasi. 2008. Assessment of Ammonium and Nitrate Variations in Soil Profiles Using the LEACHN Model. *Food Engineering Research*, 9(1):31-48. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26454531.1387.9.1.3.8. (In Persian).

10- Kashisaz, M., Moezzi, A. A., Sayyad, G.A. and G.A. Lotfali Ayeine. 2015. Evaluation of changing process of Ammonium and Nitrate in soil profile in three crop rotations. *Journal of Soil Management and Sustainable*, 5(2): 149-163. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23221267.1394.5.2.8.1. (In Persian).

11- Liu, X. J., Ju, X. T., Zhang, F. S., Pan, J. R., and P. Christie. 2003. Nitrogen dynamics and budgets in a winter wheat maize cropping system in the North China Plain. *Field Crops Research*, 83(2): 111-124. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00068-6.

12- Malekian, R., J. Abedi Koupai and S. S. Eslamian. 2011. Influences of clinoptilolite and surfactant-modified clinoptilolite zeolite on nitrate leaching and plant growth. *Journal of Hazardous Materials*, 185: 970 -976. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.114.

13- Rathnappriya, R. H. K., Sakai, K., Okamoto, K., Kimura, S., Haraguchi, T., Nakandakari, T., Hideki, S. and W. B. M. A. C. Bandara .2022. Examination of the effectiveness of controlled release fertilizer to balance sugarcane yield and reduce nitrate leaching to groundwater. *Agronomy*, 12(3): 695. https://doi.org/10.3390/agronomy12030695.

14- Soroush, N., Sayyad, G., Moezzi, A., and M. Khorramian. 2011. Movement of different forms of nitrogen under different nitrogen fertilizer rates in maize cropping system in the north of Khozestan. *Agricultural Engineering*, 34(2): 41-53. (In Persian).

15- Zhang, X., Wang, Q., Xu, J., Gilliam, F. S., Tremblay, N. and C. Li. (2015). In situ nitrogen mineralization, nitrification, and ammonia volatilization in maize field fertilized with urea in Huanghuaihai Region of Northern China. *PLoS ONE*, **10**: e0115649. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115649

16- Zhou, S. L., Wu, Y.C., Wang, Z. M., Lu, L. U. and R. Z Wang. 2008. The nitrate leached below maize root zone is available for deep-rooted wheat in winter wheat summer maize rotation in the North China Plain. *Environmental Pollution*, 152: 723-730. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.047.

17- Zhu, X., Miao, P., Wang, P., Zhang, S., Chen, Z. and Zhou, J. 2022. Variations and influencing factors of nitrate accumulation in the deep soil profiles of apple orchards on the Loess Plateau. *Agriculture, Ecosystems & Environmen*t, 335: 108005. https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108005.

18- Zilio, M., Motta, S., Tambone, F., Scaglia, B., Boccasile, G., Squartini, A. and Adani, F. 2020. The distribution of functional N-cycle related genes and ammonia and nitrate nitrogen in soil profiles fertilized with mineral and organic N fertilizer. *PLoS One*, 15(6), e0228364. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228364.

پذیرش نهایی- قبل از چاپ

EXTENDED ABSTRACT

Investigation of nitrate and ammonium accumulation in the soil of Mirza Koochak- khan sugarcane fields

M. Agoni[1], A. A. Naseri[2] and A. Soltani Mohammadi[3*]

1-Irrigation and drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
2 - Professor of Irrigation and drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
3- Corresponding Author Professor of Irrigation and drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. a.Soltani@scu.ac.ir*

ARTICLE INFO

Article history:
Received:
Revised:
Accepted:
Available online:

Keywords: Fertilization stage, sampling time, furrow irrigation.

TO CITE THIS ARTICLE:

Abstract

This study was conducted to investigate the nitrate and ammonium accumulation in agricultural lands at the Mirza Koochak-khan sugarcane agro-industrial. A factorial experiment based on a randomized complete block design (RCBD) was implemented with four replications. The main factor was the furrow length (beginning, middle, and end), while the sub-factors included soil depth (0–30, 30–60, and 60–90 cm), fertilization stage (75 kg, 150 kg, 150 kg), and sampling time (before fertilization, two days, one week, and two weeks after fertilization). Soil samples were analyzed for nitrate and ammonium concentrations. The results showed that the highest soil nitrate content (17.49 kg/ha) was observed at the 60–90 cm depth one week after the second fertilization stage. The peak ammonium content (9.06 kg/ha) was detected at the 0–30 cm depth two weeks after the second fertilization. Across all stages, the second fertilization phase yielded the highest nitrate and ammonium concentrations. Nitrate levels peaked one week after the second fertilization (13.81 kg/ha), whereas the lowest recorded value (1.47 kg/ha) occurred before the first fertilization stage. Ammonium concentrations peaked (5.12 kg/ha) at the 0–30 cm depth, one and two weeks post-fertilization. Finally, variations in nitrogen and ammonium concentrations along the furrow length followed a consistent trend across all sampling depths.

Introduction

Understanding nitrate leaching is critical for sustainable agricultural management. Because nitrate is not adsorbed by soil particles, it is highly susceptible to leaching beyond the plant root zone, leading to significant reductions in agricultural productivity and economic efficiency. Furthermore, the migration of nitrite and nitrate into groundwater poses severe risks to human and livestock health and alters the nutrient balance and ecological functions of surface waters (Allende-Montalbán et al., 2022). Rathnappriya et al. (2022) evaluated the efficacy of slow-release fertilizers in balancing crop yield with reduced nitrate leaching, concluding that such fertilizers enhance yields in both plant and ratoon sugarcane fields. Bai et al. (2020) reported that the most effective reduction in nitrate leaching was achieved through the optimal combined management of nitrogen fertilizer and irrigation water, resulting in a 41% decrease in nitrate loss.

Given that nitrogen leaching is influenced by water-fertilizer distribution uniformity, furrow slope, and injection timing, this study aims to assess the accumulation of nitrate and ammonium

relative to fertilizer application rates and sampling intervals at various depths in the Mirza Koochak-khan sugarcane fields.

Methodology

This research was conducted during the 2021-2022 crop year at the Sugarcane Agriculture and Industry Company, Mirza Koochak-khan, Khuzestan Province (48° 30’ E, 31° 15’ N). A randomized complete block design (RCBD) with four replications was employed. The main factor was furrow length (three levels), while secondary factors included soil depth (0–30, 30–60, and 60–90 cm), fertilization stage (75 kg, 150 kg, 150 kg), and sampling time (before fertilization, two days, one week, and two weeks after fertilization).

Soil samples were collected at four longitudinal points (200, 400, 600, and 800 meters from the water inlet box) before to initial irrigation and fertilization in March 2022. For each of the three fertilization sessions, soil was sampled at three depths across four temporal intervals (Table 1). To evaluate longitudinal variations, sampling points were categorized into beginning, middle, and end segments of the furrow. Nitrate and ammonium concentrations were measured via the Kjeldahl method using a spectrophotometer at 400 nm. Statistical analyses were performed using Excel and SAS software.

Table 1- Fertilizer application program to the soil

Treatment	Fertilization date	Sampling time
First stage of fertilization (75 kg)	2022/04/18	Before treatment
	2022/04/27	Two days after treatment
	2022/05/04	One week after treatment
	2022/05/12	Two weeks after treatment
Second stage of fertilization (150 kg)	2022/05/16	Before treatment
	2022/05/29	Two days after treatment
	2022/06/04	One week after treatment
	2022/06/14	Two weeks after treatment
Third stage of fertilization (150 kg)	2022/06/18	Before treatment
	2022/06/25	Two days after treatment
	2022/07/02	One week after treatment
	2022/07/10	Two weeks after treatment

Results and Discussion

Nitrate concentration

Figures (1) to (3) illustrate average soil nitrate levels. Nitrate leaching increased with depth in both the first and second fertilization stages. In the first stage, nitrate concentrations at 30–60 cm and 60–90 cm depths increased by 71.15% and 111.01%, respectively, relative to the 0–30 cm depth. Similarly, during the second stage, concentrations increased by 53.83% and 83.77% at the corresponding depths. The third fertilization stage also exhibited peak nitrate accumulation at 60–90 cm.

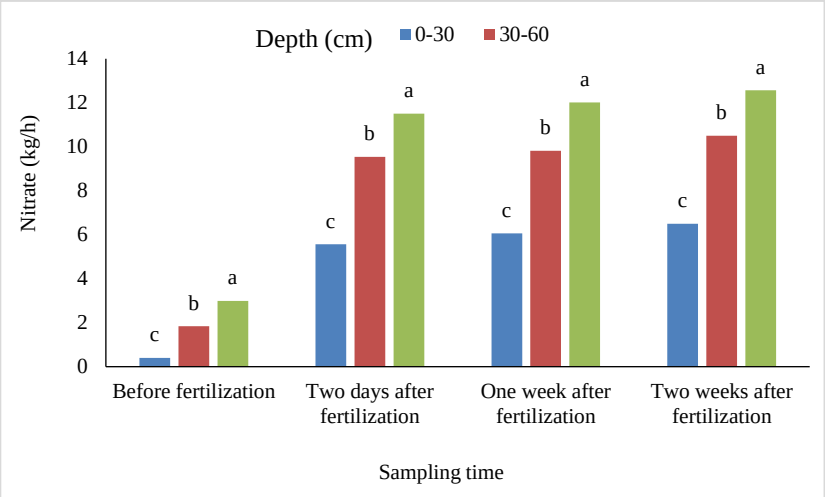


Fig. 1- Nitrate changes at three soil profile depths in the first stage of fertilization

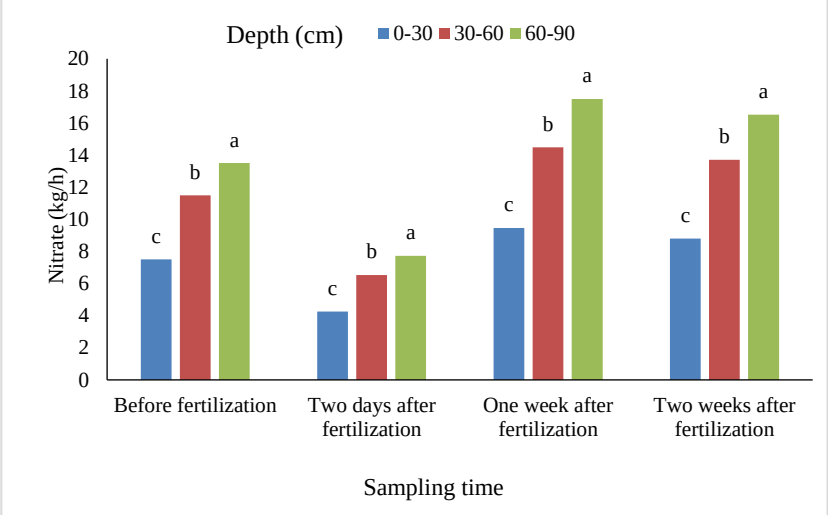


Fig. 2- Nitrate changes at three depths of the soil profile in the second stage of fertilization

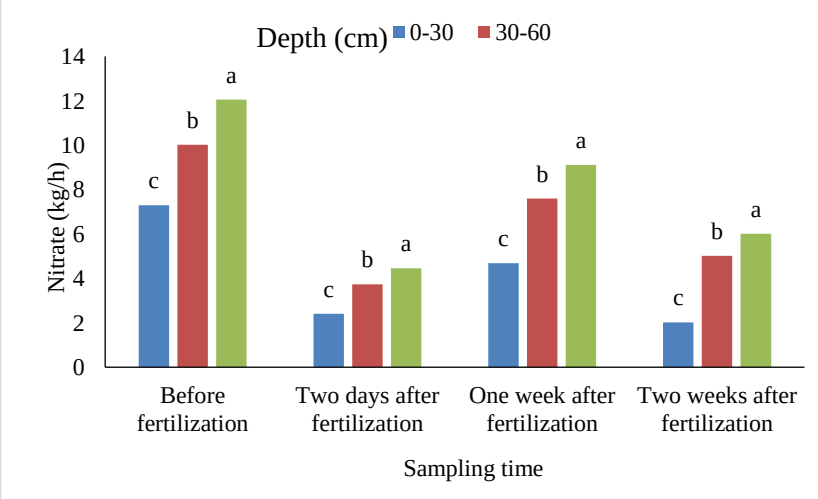


Fig. 3- Nitrate changes at three depths of the soil profile in the third stage of fertilization

Ammonium concentration

Ammonium levels in the first stage reached 5.55 kg/ha at the 0–30 cm depth two weeks after fertilization. Concentrations at deeper profiles (30–60 and 60–90 cm) were significantly lower.

This trend aligns with Soroush et al. (2011), who reported that within 8–10 days post-fertilization, a substantial portion of ammonium from urea hydrolysis is converted to nitrate through nitrification. The higher ammonium concentration in the 0–30 cm soil layer is likely attributable to the presence of organic matter at the soil surface. The adsorption of positively charged ammonium ions by clay particles regulates ammonium ion mobility, resulting in less leaching to deeper soil layers compared to nitrate (Bahmani et al., 2010).

Changes nitrate and ammonium along the furrow

At 0–30 and 30–60 cm depths, nitrate levels were highest in the middle of the furrow. Conversely, at 60–90 cm, nitrate content was higher at the end of the furrow (77.9 kg/ha) compared to the beginning (69.10 kg/ha). Ammonium levels remained relatively stable along the furrow length, displaying uniform distribution patterns.

Conclusions

The study confirms that nitrate concentrations generally increase with depth, whereas ammonium accumulation is highest in the topsoil (0–30 cm). Peak nitrate and ammonium levels were recorded one and two weeks post-second fertilization, respectively. The uniform trend of nitrate distribution along the furrow suggests efficient nutrient transfer dynamics between the soil, plant, and irrigation water.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements

The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct. Confirmation.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

The authors state that they have not used generative AI or AI-assisted technologies in their manuscript.

Authors' contribution

First Author: Maryam Agoni, Student, investigation, data curation, formal analysis, writing—original draft preparation, editing.
Second Author: Abd Ali Naseri, Supervisor, conceptualization, project administration.
Third Author: Amir Soltani Mohammadi, Advisors, conceptualization, methodology, project administration, writing—review and editing.

Acknowledgment

The authors would like to thank the CEO and staff of the Mirza Koochak-khan Sugarcane Agro-Industry who cooperated in the preparation of this research.

References

1- Allende-Montalbán, R., Martín-Lammerding, D., del Mar Delgado, M., Porcel, M. A., and L. J. Gabriel. 2022. Nitrate leaching in maize (Zea mays L.) and wheat (Triticum aestivum L.) irrigated cropping systems under nitrification inhibitor and/or intercropping effects. *Agriculture*, 12(4):478. https://doi.org/10.3390/agriculture12040478.

2- Bahmani, O., Broomand Nasab, S., Behzad, M., and A. A. Naseri. 2010. Evaluation of potential Nitrate and Ammonium accumulation in the soil profile under irrigation and manure treatments with the LEACHM Model. *Environmental Science*, 7: 2. 95-108. (In Persian).

3- Bai, X., Zhang, Z., Cui, J., Liu, Z., Chen, Z. and J. Zhou. 2020. Strategies to mitigate nitrate leaching in vegetable production in China: a meta-analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(15): 18382-18391. https://doi.org/10.1007/s11356-020-08322-1.

4- Rathnappriya, R. H. K., Sakai, K., Okamoto, K., Kimura, S., Haraguchi, T., Nakandakari, T., Hideki, S. and W. B. M. A. C. Bandara .2022. Examination of the effectiveness of controlled release fertilizer to balance sugarcane yield and reduce nitrate leaching to groundwater. *Agronomy*, 12(3): 695. https://doi.org/10.3390/agronomy12030695.

5- Soroush, N., Sayyad, G., Moezzi, A., and M. Khorramian. 2011. Movement of different forms of nitrogen under different nitrogen fertilizer rates in maize cropping system in the north of Khozestan. *Agricultural Engineering*, 34(2): 41-53. (In Persian).