

Research Article

Agricultural Engin., 43(4) (2020) 511-527
DOI: 10.22055/agen.2021.35100.1585

ISSN (E): 2588-526X
ISSN (P): 2588-5944

Assessment of irrigation system and nitrogen fertilizer level on nitrate distribution in soil using nitrogen-15 isotope tracking technique

A. Khorasani¹ and A. Bostani^{2*}

1. M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Shahed University, Tehran, Iran
2. Associate Prof., Dept. of Soil Science, Shahed University, Tehran, Iran

Received: 21 September 2020

Accepted: 21 February 2021

Abstract

Introduction: Soil contamination is the presence, diffusion or fusion of foreign matter into the soil, altering its physical and chemical quality in a manner that is harmful to humans, plants and the environment. Soil nitrate pollution due to excessive use of nitrogen fertilizer and inappropriate irrigation causes nitrate accumulation under the active root zone and its movement to groundwater and endangers the environment. By labelling the soil with ¹⁵N-labelled nitrate or urea it is possible to trace the fate of fertilizer derived nitrate down the soil profile. This can be achieved by taking sequential by using suction cups to sample the nitrate in the soil solution. The purpose of this study was to investigate the effect of irrigation system and nitrogen fertilizer level on the amount and pattern of nitrate distribution in different soil depths.

Materials and Methods: The experiment was conducted in a randomized complete block design with a split plot in two plots and three replications on tomato plant in Agricultural Research Farm of Nuclear Science and Technology Research Institute. Furrow and drip irrigation systems as the main factor and fertilizer treatment (100 and 200 kg N/ha from urea fertilizer source), soil depths (including 15, 30 and 60 cm) and sampling time (Includes 28, 40, 61 and 80 days after plantin) were first, second and third sub-factors respectively. In order to trace nitrogen, CO(¹⁵NH₂)₂ urea fertilizer with enrichment of 4.634% was used. Three soil solution extractors were installed at depths of 15, 30 and 60 cm in each isotopic plot in each replication and extraction was performed 4 times. Soil solution nitrate and ¹⁵N/¹⁴N isotope ratio were measured by spectrophotometer and mass spectrometer respectively .

Results and Discussion: The highest soil nitrate-N (N-NO₃) concentration(94.31 mg L⁻¹) in furrow irrigation (Fertilizer level of 200 kg N ha⁻¹, soil depth of 60 cm and third time of soil solution sampling) and its lowest concentration(1.73 mg l⁻¹) in drip fertigation system (fertilizer level of 100 kg N ha⁻¹, soil depth of 60 cm and fourth time of soil solution sampling) was observed. The results showed that the concentration of nitrate-N in the drip fertigation system was higher at a depth of 15 cm (active root depth) than at depths of 30 and 60 cm. The highest concentration of nitrate nitrogen derived from the source of nitrogen-15 (N-¹⁵NO₃ dff)(88.82 mg l⁻¹) in furrow irrigation (Fertilizer level of 200 kg N ha⁻¹, soil depth of 60 cm and third time of soil solution sampling) and the lowest concentration (0.12 mg l⁻¹) in drip irrigation fertilizer (fertilizer level of 100 kg N ha⁻¹, soil depth of 30 cm and second time of soil solution sampling) was observed. Nitrate-N concentration derived from labeled fertilizer source in furrow irrigation at a depth of 60 cm (below the active root depth in furrow irrigation) was greater than the depths of 15 and 30 cm. the results also showed that The highest concentration(42.25 mg l⁻¹) of nitrate-N derived from soil source in drip fertigation system (fertilizer level of 200 kg N ha⁻¹, soil depth of



15 cm and first time of soil solution sampling) and the lowest concentration (0.29 mg l^{-1}) in drip fertigation system (100 kg N ha^{-1} , soil depth of 60 cm and the fourth time of soil solution sampling) was observed.

Conclusion: The results showed that of the total nitrate nitrogen in the 0-60 cm depth, the values (62, 29 and 9%) in the drip and (10, 34 and 56%) in the furrow irrigation system in Depths of 15, 30 and 60 cm were observed respectively. Nitrogen-15 data showed that of the total soil nitrate nitrogen, the values of 20 and 80 percent in fertigation system and 77 and 23 percent in furrow irrigation system was observed from labeled fertilizer and soil source, respectively. Increasing nitrate accumulation was observed in soil depth of 60 cm with increasing nitrogen application in furrow irrigation. The use of fertigation system was effective to prevent nitrogen loss from the active root zone of the plant. In general, fertigation system and fertilizer level of 100 kg N ha^{-1} was the best irrigation method and the best fertilizer level to reduce nitrate leaching losses in the conditions of this study.

ارزیابی سیستم آبیاری و سطح کود نیتروژن بر توزیع نیترات در خاکرخ با استفاده از تکنیک ردیابی ایزوتوپ نیتروژن-۱۵

علی خراسانی^۱ و امیر بستانی^{۲*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

چکیده	تاریخچه مقاله
<p>به منظور بررسی تاثیر سیستم آبیاری و سطح کود نیتروژن بر مقدار و الگوی توزیع نیترات در اعماق خاک، آزمایشی در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی، به صورت کرت های دو بار خرد شده در زمان و در سه تکرار در مزرعه پژوهشکده کشاورزی هسته ای تحت کشت گوجه فرنگی انجام شد. سیستم های آبیاری جویچه ای و قطره ای (فاکتور اصلی)، تیمار کودی ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع کود اوره (فاکتور فرعی اول)، عمق نمونه برداری ۱۵، ۳۰ و ۶۰ سانتی متر، (فاکتور فرعی دوم) و زمان نمونه برداری (فاکتور فرعی سوم) بودند. جهت ردیابی نیتروژن، از کود اوره نشاندار استفاده شد. سه عصاره گیر در اعماق ۱۵، ۳۰ و ۶۰ سانتی متر در کرتچه ایزوتوپی نصب و عصاره گیری صورت گرفت. غلظت نیتروژن نیتراتی محلول خاک توسط دستگاه اسپکتروفتومتر و نسبت ایزوتوپی نیتروژن-۱۵ به نیتروژن-۱۴، توسط دستگاه اسپکترومتر جرمی اندازه گیری شد. نتایج نشان داد مقدار نیترات در سیستم کود آبیاری قطره ای و آبیاری جویچه ای در سطح کود ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و عمق ۶۰ سانتی متر به ترتیب ۱/۷۳ و ۴۴/۹۰ میلی گرم در لیتر بود. از مجموع نیتروژن نیتراتی در لایه ۶۰-۱۰ سانتی متر، مقادیر (۶۲، ۲۹ و ۹ درصد) در سیستم کود آبیاری قطره ای و (۱۰، ۳۴ و ۵۶ درصد) در سیستم آبیاری جویچه ای به ترتیب در اعماق ۱۵، ۳۰ و ۶۰ سانتی متر مشاهده شد. داد های نیتروژن-۱۵ نشان داد که از مجموع نیتروژن نیتراتی در سیستم کود آبیاری قطره ای (۲۰ و ۸۰ درصد) و آبیاری جویچه ای (۷۷ و ۲۳ درصد) به ترتیب از منبع کود نشاندار نیتروژن-۱۵ و منبع خاک بود. سیستم کود آبیاری قطره ای و سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، به عنوان بهترین روش آبیاری و بهترین سطح کودی مناسب از جهت کاهش تلفات آبشویی نیترات در شرایط این تحقیق مشخص شد.</p>	<p>دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۳۱ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۱۲/۰۳</p> <p>کلمات کلیدی: کود نشاندار نیتروژن-۱۵، کپسول مکش، کود آبیاری قطره ای، آبشویی نیترات</p> <p>* عهده دار مکاتبات Email: bostani@shahed.ac.ir</p>

عناصر غذایی برای تغذیه گیاه به شمار می رود. آلودگی

نیتراتی خاک بر اثر استفاده بیش از اندازه کود نیتروژنی و آبیاری نامناسب، موجب تجمع نیترات در زیر منطقه

مقدمه

حفظ محیط زیست به یک چالش مهم جهانی در سال های اخیر تبدیل شده است. نیتروژن یکی از مهم ترین

کاهش آبهوشی و افزایش کارایی نیتروژن شده است (۲۴). سکستون و همکاران^۴ (۱۹۹۶) در بررسی بهینه‌سازی نیتروژن و آبیاری براساس آبهوشی نترات تحت کشت ذرت، گزارش کردند که آبهوشی نترات در خاکی با بافت لوم‌شنی با کاربرد بیش از ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار افزایش یافت و با کاهش ۵ درصد نیتروژن کمتر از نیاز گیاه و حداکثر محصول، آبهوشی نترات ۴۵ درصد کاهش یافت (۲۳). کاربرد ایزوتوپ پایدار نیتروژن-۱۵ در مطالعه روابط خاک، آب و تغذیه گیاه، به‌عنوان یک ردیاب، ابزاری دقیق، سریع و در برخی از موارد، تنها روش در حل معضلات کشاورزی به‌شمار می‌رود (۱۷). از این‌رو، استفاده از کودهای نشاندار نیتروژن-۱۵، تکنیک بسیار مفیدی برای فهم بهتر چرخه تغذیه نیتروژن است. در این روش به‌جای استفاده از کود نیتروژن معمولی از نوع نشان‌دار استفاده می‌شود. در مطالعه‌ای با کاربرد ایزوتوپ نیتروژن-۱۵ در سیستم کودآبیاری قطره‌ای و مقایسه با آبیاری شیاری با سطح کود نیتروژن یکسان، نشان داده شد که تلفات نیتروژن در آبیاری شیاری ۲۲ درصد بیشتر از روش کودآبیاری قطره‌ای بود (۱۸). موسوی شلمانی و همکاران^۵ (۲۰۱۳)، با استفاده از فناوری ردیابی ایزوتوپی نیتروژن-۱۵ در سیستم‌های کودآبیاری قطره‌ای، کودآبیاری بارانی، آبیاری بارانی و جویچه‌ای در گیاه چغندر قند به این نتیجه رسیدند که با توجه به بالا بودن داده نیتروژن-۱۵ و نیتروژن مشتق شده از منبع کود نشاندار در سبزینه و غده چغندر قند در تیمار آبیاری جویچه‌ای، گیاه غالباً تمایل به جذب کود نشاندار نیتروژن-۱۵ دارد و دلیل آن، آبهوشی بیشتر نیتروژن به‌علت ماهیت نفوذ عمقی آب در این نوع آبیاری است (۱۶). ژائو و همکاران^۶ (۲۰۱۷)، در بررسی اثر آبیاری و کود نیتروژن بر جذب نیتروژن کلم چینی با استفاده از

فعال ریشه و حرکت آن به آب‌های زیرزمینی شده و محیط‌زیست را به خطر می‌اندازد (۲۲). پس از کاربرد کودهای نیتروژنی در خاک، نیتروژن از سه طریق آبهوشی، نترات‌زدایی و تصاعد گاز آمونیاک از دسترس گیاه خارج می‌شود (۱۸). نوع کود نیتروژن، آب‌کاربرد به‌وسیله آبیاری، بارندگی، نوع سیستم آبیاری و ویژگی‌های فیزیکی خاک نقش مهمی در آبهوشی نترات به آب‌های زیرزمینی دارند (۲۱). یکی از راهکارهای موثر در افزایش بهره‌وری کود نیتروژن و آب، استفاده از سیستم کودآبیاری قطره‌ای است. آبیاری قطره‌ای به‌عنوان روش آبیاری سودمند، جهت بهبود کارایی مصرف آب و نیتروژن و به‌حداقل رساندن آبهوشی نترات شناخته شده است (۲). موسوی شلمانی و همکاران^۱ (۲۰۰۸) با استفاده از نیتروژن-۱۵ تحت کشت گوجه‌فرنگی گزارش کردند که کارایی مصرف نیتروژن در آبیاری قطره‌ای و جویچه‌ای به ترتیب ۵۴ و ۱۷ درصد بود (۱۷). محجوبو همکاران^۲ (۲۰۱۷)، با بررسی توزیع ریشه و عناصر غذایی تحت سیستم‌های مختلف آبیاری گزارش کردند که بیشتر نترات در دسترس تحت آبیاری قطره‌ای و بارانی در لایه بالایی خاک و در آبیاری سطحی در لایه پائین خاک مشاهده شد (۱۵). زمان و همکاران^۳ (۲۰۰۱)، در بررسی توزیع نیتروژن نترات در خاک‌رخ تحت روش‌های آبیاری سطحی، جویچه‌ای، بارانی و قطره‌ای در خاکی با بافت لوم‌شنی و تحت کشت پنبه بیان کردند که غلظت بالای نیتروژن نترات در آبیاری بارانی و قطره‌ای در عمق ۳۰ سانتی‌متر و در آبیاری جویچه‌ای و سطحی در عمق ۹۰ سانتی‌متر مشاهده شد (۲۶). استیودرت و آتاناسووا^۴ (۲۰۰۰) گزارش کردند که استفاده تقسیمی و توام آب با کود (کودآبیاری) در مقایسه با روش سنتی آبیاری و کوددهی، سبب افزایش میزان جذب نیتروژن در گیاه،

4- Sexten *et al.*5- Mousavi Shamani *et al.*6- Gao *et al.*1- Mousavi Shalmani *et al.*2- Mahgoub *et al.*3- Zaman *et al.*

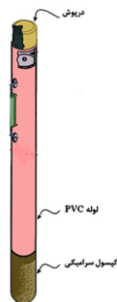
قطره‌ای به‌عنوان فاکتور اصلی، تیمار کودی ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌صورت کود اوره (فاکتور فرعی اول)، عمق‌های مورد بررسی در خاک شامل ۱۵، ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر (فاکتور فرعی دوم) و چهار زمان نمونه‌برداری شامل ۲۸، ۴۹۰، ۶۱ و ۸۰ روز پس از کاشت (فاکتور فرعی سوم) بودند. سطح کودی نیتروژن براساس مقدار نیتروژن خاک و کارایی مصرف نیتروژن در سیستم کودآبیاری قطره‌ای، برابر ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و درست همین مقدار برای آبیاری جویچه‌ای و دو برابر سطح اول یعنی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بعنوان سطح دوم نیتروژن در نظر گرفته شد. دوازده کرت مزرعه‌ای با ابعاد (۳/۵×۵) متر در ۳ تکرار هر یک شامل ۵ ردیف کاشت با فاصله ۷۰ سانتی‌متر و ۹ گیاه در هر ردیف به فاصله ۵۰ سانتی‌متر آماده و نشاء گوجه‌فرنگی در اردیبهشت ماه ۱۳۹۷ کشت شد. در تیمار کودآبیاری قطره‌ای از لوله‌های پلی‌اتیلن ۱۶ میلی-متری و قطره‌چکان‌های با دبی ۴ لیتر در ساعت استفاده شد (۲). مقدار کود اوره ایزوتوپی حاوی نیتروژن-۱۵ (۴/۶۳۴ اتم درصد) در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (بر اساس الگوی ۲۰ هزار بوته در هکتار و ۴۶ درصد نیتروژن در کود اوره)، به‌ترتیب ۱۹۶ و ۳۹۲ گرم محاسبه شد. این مقادیر کود هر کدام در ۱۰ لیتر آب حل و بر اساس الگوی توزیع کود در گیاهان غیرایزوتوپی اعمال شد. در سیستم کودآبیاری قطره‌ای سه گیاه در خط وسط هر تکرار جهت کوددهی نیتروژن-۱۵ در نظر گرفته شد که این امر از طریق پمپ کوچک آبیاری با لوله‌های آبیاری قطره‌ای جداگانه انجام شد. در آبیاری جویچه‌ای، کرت‌ها شامل ۵ پشته (فاصله ۷۰ سانتی‌متر) بودند، که نشاء گوجه‌فرنگی در وسط پشته کاشته شد. کود اوره به‌صورت محلول در سه نوبت و به صورت دستی به ردیف‌های کاشت اضافه شد (۱۷). مقدار کود اوره حاوی نیتروژن-۱۵ محاسبه شده برای آبیاری جویچه‌ای به‌صورت محلول در سه نوبت و به صورت دستی در خط وسط هر کرت بعد از آبیاری

ایزوتوپ نیتروژن-۱۵ گزارش کردند که ۲۳-۵ درصد از کود توسط گیاه جذب شده است، ۷۱-۵۶ درصد در خاک باقیمانده و احتمالاً ۳۷-۱۳ درصد از دسترس خارج شده است (۵). با توجه به اینکه دو عامل، روش آبیاری و سطح کود نیتروژنی نقش مهمی در میزان آبشویی نترات دارند لذا در این مطالعه سعی بر این بود تا با استفاده از فناوری ردیابی ایزوتوپی و انجام آزمایش مزرعه‌ای، تاثیر این عوامل در مقدار آبشویی نترات مورد بررسی قرار گرفته و روش‌های آبیاری و کودرسانی قطره‌ای و جویچه‌ای در آبشویی نترات مورد مقایسه قرار گیرند.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای در سال ۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای واقع در شهرستان کرج با مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و صفر دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه و ۴۵ ثانیه شمالی با ارتفاع ۱۲۹۷ متر از سطح دریا، که در فاصله ۴۸ کیلومتری غرب تهران واقع شده است، در کرت‌های به ابعاد ۱۷/۵ مترمربع روی گیاه گوجه‌فرنگی^۱ انجام شد. برخی از ویژگی‌های خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است. بافت خاک به روش هیدرومتری، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر، پی اچ در گل اشباع، هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک، وزن مخصوص ظاهری به روش استوانه، فسفر قابل استفاده گیاه در خاک با عصاره گیر اولسن، پتاسیم با عصاره گیر استات آمونیوم، عناصر آهن، منگنز، روی و مس قابل قالب استفاده با عصاره گیر دی تی پی آ اندازه‌گیری شدند (۱). آزمایش در طرح بلوک‌های کامل تصادفی، به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در زمان و در سه تکرار اجرا شد. سیستم‌های آبیاری شامل جویچه‌ای و

1- *Lycopersicon lycopersicum* L. Karsten ex Faewell



شکل (۲) دستگاه کپسول مکش
Figure (2) Suction cup device

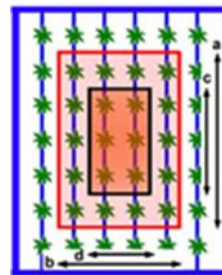
بدین منظور در کنار گیاه مرکزی کرتچه ایزوتوپی بوسیله اوگر دستی مخصوص دستگاه، سه سوراخ به قطر یک سانتی متر و اعماق ۱۵، ۳۰ و ۶۰ سانتی متر ایجاد شد. سپس خاک بیرون آورده شده الک و با آب مخلوط شد تا حالت خمیری پیدا کند و از آن برای ارتباط بهتر قسمت کپسول سرامیکی با خاک در انتهای حفره استفاده شد و سه کپسول مکش در اعماق ۱۵، ۳۰ و ۶۰ سانتیمتر نصب شد. یک روز پس از هر آبیاری به وسیله پمپ خلاء دستی، مکشی به میزان ۳۰ سانتی بار به لوله‌های دستگاه عصاره‌گیر محلول خاک اعمال و بعد از ۴ ساعت، محلول خاک جمع شده از لوله دستگاه توسط سرنگ همراه با لوله موئینه متصل به آن، خارج و در ظروف پلاستیکی ریخته شد (۱۷). عصاره‌گیری در ۴ نوبت در هر تکرار در طول فصل رشد، صورت گرفت. مقدار غلظت نیتروژن نیتراتی محلول خاک توسط دستگاه اسپکتروفتومتر و نسبت ایزوتوپی نیتروژن-۱۵ به نیتروژن-۱۴، توسط دستگاه اسپکترومتر جرمی^۲ اندازه‌گیری شد (۱۷).

محاسبات نیتروژن مشتق شده از کود نشاندار

نیتروژن-۱۵ (Ndff) (۱۷)

- داده‌های مقدماتی مورد نیاز در برآورد آیشویی نیترات:
- ۱. غلظت نیتروژن نیتراتی محلول خاک (میلی گرم در لیتر).

اضافه شد. جهت عدم تراوش جانبی و تداخل کود نیتروژن غیرنشاندار و نیتروژن نشاندار و حصول نتایج معتبر آماری، تمامی کرتچه ایزوتوپی با نیتروژن-۱۵ نشاندار شد (a×b) و نمونه‌های ناحیه میانی کرتچه ایزوتوپی (c×d) برداشت و مورد تجزیه قرار گرفت (شکل ۱).



شکل (۱) نمای یک کرتچه ایزوتوپی در داخل کرت مزرعه‌ای
Figure (1) View of an isotopic plot inside a farm plot

در آبیاری جویچه‌ای به دلیل حرکت کود نشاندار در مسیر جریان آب، نمونه‌برداری ایزوتوپی اندکی متمایل به جلو و در امتداد جریان آب انجام شد. برنامه‌ریزی آبیاری براساس میزان تبخیر از طشتک تبخیر کلاس A و مقدار بارندگی موثر در منطقه صورت گرفت. جهت تعیین مقدار و زمان آبیاری، برای کلیه تیمارها در دو تکرار لوله‌های آلومینیومی تا عمق یک متری نصب و رطوبت ناحیه ریشه گیاه با استفاده از دستگاه نوترون‌متر اندازه‌گیری شد. مقدار آب کاربردی با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری و برای آبیاری جویچه‌ای در ۱۶ نوبت به مقدار ۹ متر مکعب و آبیاری قطره‌ای در ۱۸ نوبت به مقدار ۳/۵ متر مکعب در هر کرت در طول فصل رشد انجام شد. در این آزمایش برای عصاره‌گیری محلول خاک از کپسول مکش^۱ استفاده شد (شکل ۲).

۲ - جهت آنالیز نسبت ایزوتوپی 15N/14N، نمونه‌ها به آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (وین-اٹریش) ارسال گردید.

$$N-NO_3 dfs = N-NO_3 + N-^{15}NO_3 dff \quad (5)$$

$$N-^{15}NO_3 dff = \text{نیترژن نیتراتی مشتق از کود نشاندار}$$

$$N-NO_3 = \text{نیترژن نیتراتی محلول خاک}$$

$$Ndff = \text{نیترژن مشتق از کود نشاندار در محلول خاک}$$

$$N-NO_3 dfs = \text{نیترژن نیتراتی مشتق از منبع خاک}$$

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است. خاک مزرعه در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر در محدوده لوم رسی و در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متر در محدوده لوم رسی شنی، کربن آلی کم و بدون محدودیت از نظر شوری و قلیائی است. نتایج قابلیت دسترسی عناصر نشان داد که فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک در وضعیت متوسط و خاک از نظر عناصر کم‌مصرف آهن، منگنز، روی و مس در وضعیت ضعیف قرار دارد. بر این اساس، محاسبات کودی برای بهینه قرارداد عناصر فوق انجام و قبل از اعمال تیمار، مقادیر مورد نظر اعمال شد (۶ و ۸).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر روش آبیاری، سطح کودی، عمق نمونه‌برداری و زمان نمونه‌برداری و اثرات متقابل آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که مشخص است، اثر ساده و متقابل پارامترهای مورد مطالعه به‌جز اثر متقابل روش آبیاری، سطح کود و زمان نمونه‌برداری بر نیترژن نیتراتی مشتق شده از منبع خاک ($N-NO_3 dfs$) و اثر متقابل روش آبیاری، سطح کود و عمق نمونه‌برداری بر نیترژن-۱۵ در تمام موارد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل روش آبیاری، سطح کود، عمق و زمان نمونه‌برداری بر غلظت نیترژن نیتراتی محلول خاک در جدول ۳ ارائه شده است.

۲. فراوانی درصد نیترژن-۱۵ در نمونه محلول خاک.

۳. فراوانی درصد نیترژن-۱۵ در کود نشاندار.

معادلات مورد نیاز:

• اتم درصد اضافه نیترژن-۱۵:

$$a' = a - a_0 \quad (1)$$

a = فراوانی نیترژن-۱۵ (بر حسب اتم درصد)

\hat{a} = فراوانی نیترژن-۱۵ اضافه شده (بر حسب اتم درصد)

a_0 = فراوانی طبیعی نیترژن-۱۵ (بر حسب اتم درصد)

• نیترژن مشتق شده از کود نشاندار در محلول خاک ($Ndff$)

پس از اندازه‌گیری اتم درصد اضافه نیترژن-۱۵ در نمونه‌های محلول خاک و همچنین کود اوره نشاندار، جزء نیترژن مشتق شده از کود نشاندار ($Ndff$) به صورت معادله ۲ تعریف می‌شود (۱۸):

$$Ndff = \frac{\text{مقدار نیترژن-۱۵ نمونه محلول خاک} - \text{مقدار نیترژن-۱۵ در کود نشاندار}}{\text{مقدار نیترژن-۱۵ در کود نشاندار}} \quad (2)$$

• نیترژن نیتراتی مشتق شده از کود نشاندار نیترژن-۱۵

$$N-^{15}NO_3 dff = N-NO_3 \times Ndff \quad (3)$$

I نیترژن نیتراتی مشتق شده از منبع خاک

در صورتیکه منابع تأمین‌کننده عنصر نیترژن فقط به کود و خاک محدود گردد، می‌توان بصورت معادله ۴ نوشت:

$$N-NO_3 = N-^{15}NO_3 dff + N-NO_3 dffs \quad (4)$$

سپس نیترژن نیتراتی مشتق شده از منبع خاک عبارت است از:

جدول (۱) نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از انجام آزمایش

Table (1) Physical and chemical analysis results of field soil prior to the experiment

عمق	وزن مخصوص	نقطه پژمردگی دائم	ظرفیت مزرعه	کربن آلی	رس	سیلت	شن		
Depth	Bulk density	PWP	FC	Organic Carbon	Clay	Silt	Sand	pH	EC
(cm)	(dSm^{-1})	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
0-20	1.44	17.50	23.0	0.27	33.30	25.70	41.00	7.90	0.65
20-40	1.50	9.30	16.4	0.14	30.80	19.00	50.20	7.71	0.72

شکل قابل استفاده عناصر غذایی

Available form of nutrients

عمق (سانتی متر)	نیترات	آمونیم	فسفر	آهن	منگنز	روی		
Depth (cm)	Nitrate	Ammonium	Phosphorus	Iron	Manganese	Zinc		
	mg kg^{-1}							
0-20	5.2	4.2	7.71	4.7	2.5	0.7		
20-40	3.9	4.9	5.85	3.5	3.2	0.8		

چهار زمان نمونه برداری و سه عمق (۱۵، ۳۰ و ۶۰ سانتی - متر به ترتیب (۲/۵، ۱/۴ و ۱/۸)، (۲/۶، ۱/۶ و ۱/۱)، (۲/۷، ۱/۴ و ۱/۴) و (۲/۶ و ۱/۸، ۱/۳ و ۱/۴) برابر افزایش را نشان داد. لیو همکاران^۱ (۲۰۰۴ و ۲۰۰۳) گزارش کردند که غلظت بالای نیتروژن نیتراتی در تیمار کود آبیاری قطره‌ای در عمق سطحی خاک حضور داشت (۱۳ و ۱۲). مقدار نیتروژن نیتراتی در آبیاری جویچه‌ای با افزایش سطح کودی و با افزایش عمق، افزایش یافت که بیشترین غلظت این عنصر در سطح کودی ۲۰۰ و عمق ۶۰ سانتی متر خاک مشاهده شد. پاپادوپولوس^۲ (۱۹۸۸)، در بررسی کود آبیاری قطره‌ای نیتروژن در کشت سیب زمینی بیان کرد که کود آبیاری قطره‌ای روشی امیدوارکننده برای حفظ غلظت نیتروژن خاک در طی دوره رشد در سطح مطلوب و بدون تلفات با آبخوبی بود (۲۰). سیستم کود آبیاری قطره‌ای و سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، در مقایسه با آبیاری جویچه‌ای باعث کاهش آبخوبی نیترات به لایه-های پائین خاک و تجمع آن در منطقه فعال ریشه شد. ویلیس و همکاران^۳ (۱۹۹۰) در مطالعه‌ای اظهار داشتند که غلظت نیترات در محلول خاک با افزایش تعداد تقسیط کاربرد کود، کاهش یافت می‌یابد (۲۵).

در مقایسه اثرات متقابل روش آبیاری، سطح کود، عمق و زمان نمونه برداری بر مقدار نیتروژن نیتراتی همانطور که ملاحظه می‌شود، بیشترین غلظت نیتروژن نیتراتی در آبیاری جویچه‌ای (سطح کود ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، عمق ۶۰ سانتی متر و در زمان سوم نمونه برداری محلول خاک) و کمترین غلظت در سیستم کود آبیاری قطره‌ای (سطح کود ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، عمق ۶۰ سانتی متر و زمان چهارم نمونه برداری محلول خاک) به- ترتیب ۹۴/۳۱ و ۱/۷۳ میلی گرم در لیتر بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که نیتروژن نیتراتی محلول خاک در سیستم کود آبیاری قطره‌ای (سطح کودی ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تمام زمان‌های نمونه برداری) در عمق ۱۵ سانتی متر (عمق فعال ریشه)، نسبت به اعماق ۳۰ و ۶۰ سانتی متر غلظت بیشتری را نشان داد. مقادیر نیتروژن نیتراتی محلول خاک در سطح کودی ۲۰۰ نسبت به ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سیستم کود آبیاری قطره‌ای و زمان اول نمونه برداری در عمق ۱۵ سانتی متر ۱/۳ برابر، در عمق ۳۰ سانتی متر ۱/۵ برابر و در عمق ۶۰ سانتی متر ۲/۲ برابر افزایش داشت و در زمان دوم به ترتیب در اعماق ۱۵، ۳۰ و ۶۰ سانتی متر، ۱/۳، ۲ و ۳/۸ برابر و این مقایسه در زمان سوم به- ترتیب ۱/۳، ۲/۵ و ۲/۴ برابر و در زمان چهارم ۱/۵، ۲ و ۳/۶ برابر افزایش نشان داد. این مقادیر در آبیاری جویچه‌ای در

1- Li et al

2- Papadopoulos.

3- Willis et al.

جدول (۲) نتایج تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده در سیستم آبیاری، سطح کود، عمق و زمان نمونه‌برداری

Table (2) Results of analysis of variance of the measured parameters in the irrigation system, fertilizer level, sampling depth and time

میانگین مربعات average of squares

N-NO ₃ dfs	N- ¹⁵ NO ₃ dff	¹⁵ N	N-NO ₃	درجه آزادی df	Source of Variation	منابع تغییر
3.26*	1.61 ^{ns}	0.06 ^{ns}	2.72 ^{ns}	2		تکرار (Repetition)
1382.87**	14787.30**	96.62**	7242.49**	1		آبیاری (Irrigation)
0.16 ^{ns}	3.65*	0.16 ^{ns}	1.35 ^{ns}	2		خطا×آبیاری (Error×Irrigation)
88.05**	3586.30**	11.2**	4875.39**	1		سطح کودی (Fertilizer level)
107.21**	1001.45**	1.45**	446.72**	1		آبیاری×کود (Irrigation×Fertilizer)
1.82 ^{ns}	1.53 ^{ns}	0.007 ^{ns}	1.06 ^{ns}	4		خطا×آبیاری×کود (Error×Irrigation×Fertilizer)
1095.85**	4436.98**	32.35**	2491.80**	2		عمق (Depth)
2329.28**	3398.48**	10.69**	11015.09**	2		آبیاری×عمق (Irrigation×Depth)
57.15**	400.48**	1.32**	217.73**	2		کود×عمق (Fertilizer×Depth)
11.67**	293.16**	0.14 ^{ns}	389.15**	2		آبیاری×کود×عمق (Irrigation×Fertilizer×Depth)
1.04 ^{ns}	0.56 ^{ns}	0.05 ^{ns}	1.57 ^{ns}	16		خطا×آبیاری×کود×عمق (Error×Irrigation×Fertilizer×Depth)
436.46**	264.86**	5.17**	244.60**	3		زمان نمونه‌برداری (Sampling Time)
447.49**	92.44**	6.68**	797.60**	3		آبیاری×زمان (Irrigation×Time)
92.01**	299.35**	1.51**	105.88**	3		کود×زمان (Fertilizer×Time)
59.55**	56.29**	1.97**	218.55**	6		عمق×زمان (Depth×Time)
1.31 ^{ns}	168.39**	0.20*	166.83**	3		آبیاری×کود×زمان (Irrigation×Fertilizer×Time)
11.31**	149.87**	1.39**	120.45**	6		کود×عمق×زمان (Fertilizer×Depth×Time)
84.80**	234.51**	1.88**	103.79**	12		آبیاری×کود×عمق×زمان (Irrigation×Fertilizer×Depth×Time)
1.01	0.81	0.06	1.59	94		خطا (Error)
10.44	6.5	10.09	5.35	-		ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of Variation (%)

*، ** و ns به ترتیب نشان‌دهنده‌ی معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد و بدون اثر معنی‌داری می‌باشد.

*، **، and ns : Significant at the 5% and 1% probability levels and non-significant, respectively.

جدول (۳) مقایسه میانگین غلظت نیترژن نیتراتی تحت تاثیر روش آبیاری، سطح کودی و زمان نمونه برداری در عمق های مختلف خاک

Table (3) Comparison of average nitrate-N concentration under the influence of irrigation method, fertilizer level and sampling times at different soil depths

عمق (سانتی متر) Depth (cm)			آبیاری Irrigation	سطح کودی Fertilizer level	زمان نمونه برداری Sampling Time
60	30	15			
نیترژن نیتراتی (میلی گرم در لیتر) Nitrate-N (mg L ⁻¹)					
6.09 ^{ut}	18.09 ^{no}	33.22 ⁱ	قطره ای	100	T1
3.62 ^{vw}	10.28 ^r	26.30 ^k	Drip	kg N ha ⁻¹	T2
2.65 ^w	7.84 st	18.05 ^{no}			T3
1.73 ^w	6.59 ^{tu}	14.85 ^{op}			T4
30.86 ^j	22.10 ^l	6.33 ^{tu}	جویچه ای		T1
42.73 ^f	19.36 ^{mn}	7.62 st	Furrow		T2
35.53 ^{gh}	26.38 ^k	5.01 ^{uv}			T3
44.90 ^e	26.86 ^k	9.47 ^{rs}			T4
13.40 ^q	27.67 ^k	42.87 ^{ef}	قطره ای	200	T1
13.70 ^q	21.21 ^{lm}	37.14 ^g	Drip	kg N ha ⁻¹	T2
6.33 ^{tu}	19.65 ^{mn}	22.85 ^l			T3
6.3 ^{ut}	13.22 ^q	22.12 ^l			T4
54.70 ^e	31.21 ^j	16.00 ^{op}	جویچه ای		T1
48.47 ^d	30.69 ^j	19.52 ^{mn}	Furrow		T2
94.31 ^a	37.51 ^g	13.32 ^q			T3
63.00 ^b	38.51 ^{hi}	16.51 ^{op}			T4

- حروف مشابه نشانگر عدم وجود تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد (آزمون دانکن) است.

- مراحل نمونه برداری محلول خاک T1, T2, T3, T4 به ترتیب ۲۸، ۴۰، ۶۱، ۸۰ روز پس از کاشت.

- Similar letters indicate no significant difference at the 5% probability level (Duncan test).

Sampling time of soil solution T1, T2, T3, T4 28, 40, 61, 80 days after planting respectively.

کودی ۲۰۰ کیلوگرم نیترژن در هکتار، عمق ۶۰ سانتی متر و زمان سوم نمونه برداری محلول خاک) و کمترین مقدار غلظت در سیستم کود آبیاری قطره ای (سطح کود ۱۰۰ کیلوگرم نیترژن در هکتار، عمق ۳۰ سانتی متر و زمان دوم نمونه برداری محلول خاک) به- ترتیب ۸۸/۸۲ و ۰/۱۲ میلی گرم در لیتر بدست آمد (جدول ۴).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل روش آبیاری، سطح کود، عمق و زمان نمونه برداری محلول خاک بر غلظت نیترژن نیتراتی مشتق شده از منبع کود نشاندار نیترژن-۱۵ در جدول ۴ نشان داده شده است. بیشترین مقدار غلظت نیترژن نیتراتی مشتق شده از منبع کود نشاندار نیترژن-۱۵ در آبیاری جویچه ای (سطح

افزایش عمق، افزایش اندکی یافت به طوری که بیشترین غلظت در (سطح کودی ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و عمق ۳۰ سانتی متر) به مقدار ۱۵/۷۷ میلی گرم در لیتر به دست آمد. این مسئله می تواند بدلیل سودمندی بالای استفاده از کود و آب در سیستم کودآبیاری قطره ای باشد.

همان طور که در جدول ۴ مشاهده می شود، مقادیر نیتروژن نیتراتی مشتق از منبع کود نشاندار نیتروژن-۱۵ (در تمام زمان های نمونه برداری)، در عمق ۶۰ سانتی متر (پائین تر از عمق فعال ریشه در آبیاری جویچه ای) نسبت به اعماق ۱۵ و ۳۰ سانتی متر، غلظت بیشتری را نشان داد. نیتروژن نیتراتی مشتق از منبع کود نشاندار نیتروژن-۱۵ در سیستم کودآبیاری قطره ای، با افزایش سطح کودی و با

جدول (۴) مقایسه میانگین غلظت نیتروژن نیتراتی مشتق شده از منبع کود نشاندار نیتروژن-۱۵، تحت تاثیر روش آبیاری، سطح کودی و زمان نمونه برداری در عمق های مختلف خاک

Table (4) Comparison of the average nitrate-N derived from the source of nitrogen-15 labeled fertilizer concentration, under the influence of irrigation method, fertilizer level and sampling time at different soil depths

عمق (سانتی متر)		Depth (cm)				
60	30	15				
نیتروژن نیتراتی مشتق شده از منبع کود نیتروژن ۱۵			آبیاری	سطح کودی	زمان نمونه برداری	
Nitrate Nitrogen Drive from Fertilizer Nitrogen15			Irrigation	Fertilizer level	Sampling Time	
2.52 ^{stu}	0.34 ^w	0.28 ^w		100	T1	
2.21 ^{tuv}	0.12 ^w	1.13 ^{uvw}	قطره ای	kg N ha ⁻¹	T2	
1.65 ^{uvw}	2.48 ^{stu}	0.76 ^{vw}	Drip		T3	
1.43 ^{uvw}	3.72 ^{rst}	0.19 ^w			T4	
19.87 ^j	15.39 ^k	4.23 ^r	جویچه ای		T1	
37.21 ^e	14.60 ^k	6.16 ^{pq}	Furrow		T2	
21.74 ⁱ	19.22 ^j	3.88 ^{rs}			T3	
39.65 ^d	12.88 ^l	1.87 ^{uvw}			T4	
11.14 ^{mn}	0.48 ^w	0.61 ^{vw}	قطره ای	200	T1	
8.25 ^o	4.00 ^{rs}	1.02 ^{uvw}	Drip	kg N ha ⁻¹	T2	
4.75 ^{qr}	15.77 ^k	4.53 ^r			T3	
4.51 ^r	11.63 ^{lm}	6.57 ^p			T4	
42.42 ^c	26.07 ^g	9.68 ^{no}	جویچه ای		T1	
38.37 ^{de}	24.52 ^h	12.70 ^{lm}	Furrow		T2	
88.82 ^a	32.42 ^f	11.99 ^{lm}			T3	
57.59 ^b	25.58 ^{gh}	9.65 ^{no}			T4	

- حروف مشابه نشانگر عدم وجود تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد (آزمون دانکن) است.

- مراحل نمونه برداری محلول خاک T4, T3, T2, T1 به ترتیب ۲۸، ۴۰، ۶۱، ۸۰ روز پس از کاشت

- Similar letters indicate no significant difference at the 5% probability level (Duncan test).

- Sampling time of soil solution T1, T2, T3, T4 28, 40, 61, 80 days after planting respectively

قطره‌ای (سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، عمق ۶۰ سانتی‌متر و زمان چهارم نمونه‌برداری) به ترتیب ۴۲/۲۵ و ۰/۲۹ میلی‌گرم در لیتر بود (جدول ۵). همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، نیتروژن نیتراتی مشتق شده از منبع خاک در سیستم کودآبیاری قطره‌ای، در هر دو سطح کودی ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، در عمق ۱۵ سانتی‌متر (عمق فعال ریشه در کودآبیاری قطره‌ای) نسبت به عمق ۶۰ سانتی‌متر و در تمام زمان‌های نمونه‌برداری، غلظت بیشتری را نشان داد. هانسون و همکاران^۲ (۱۹۹۵) بیان داشتند که سیستم کودآبیاری قطره‌ای با کنترل قراردادن عناصر غذایی نزدیک ریشه گیاه و محدود کردن تلفات کود و کاهش آبخوبی کود به آب‌های زیرزمینی سودمندی بالای کود را در پی دارد (۷). نیتروژن نیتراتی مشتق شده از منبع خاک در آبیاری جویچه‌ای، با افزایش سطح کودی و با افزایش عمق، افزایش اندکی یافت به گونه‌ای که بیش‌ترین غلظت در سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و عمق ۶۰ سانتی‌متر به میزان ۱۳/۷۸ میلی‌گرم در لیتر بود که این مسئله می‌تواند بدلیل سودمندی پائین استفاده از کود و آب در آبیاری جویچه‌ای باشد. مقادیر نیتروژن نیتراتی مشتق شده از منبع خاک در سطح کودی ۲۰۰ نسبت به ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سیستم کودآبیاری قطره‌ای و زمان اول نمونه‌برداری در عمق ۱۵ سانتی‌متر ۲۸ درصد و در عمق ۳۰ سانتی‌متر ۵۳ درصد و در عمق ۶۰ سانتی‌متر ۵۸ درصد افزایش داشت و در زمان دوم به ترتیب (۴۳، ۶۶ و ۷) درصد و در زمان سوم به ترتیب (۶، ۳۸ و ۲۶) درصد و در زمان چهارم (۱۲، ۷۸ و ۵۱۷) درصد افزایش را نشان داد. این مقدار افزایش برای آبیاری جویچه‌ای در چهار زمان نمونه‌برداری و سه عمق ۱۵، ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر به ترتیب (۲۰۱، ۳۵ و ۲۲۰)، (۳۳۷، ۳۰ و ۲۵۹)، (۸۹۰، ۴۰ و ۱۷۱) و (۴، ۶۹ و ۱۴) درصد بدست آمد. کنستانتینوس و همکاران^۳ (۲۰۱۰) با استفاده از کود نشاندار نیتروژن-۱۵

مقادیر نیتروژن نیتراتی مشتق از منبع کود نشاندار نیتروژن-۱۵ در سطح کودی ۲۰۰ نسبت به ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، در سیستم کودآبیاری قطره‌ای و زمان اول نمونه‌برداری، در عمق ۱۵ سانتی‌متر ۲ برابر، در عمق ۳۰ سانتی‌متر ۱/۴ برابر و در عمق ۶۰ سانتی‌متر ۴/۴ برابر افزایش داشت و در زمان دوم به ترتیب در اعماق ۱۵، ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر، (۰/۹، ۳۱/۷ و ۳/۷) برابر و در زمان سوم به ترتیب (۶، ۶/۳ و ۳) برابر و در زمان چهارم (۳۴، ۳ و ۳) برابر افزایش را نشان داد. این روند در آبیاری جویچه‌ای در چهار زمان نمونه‌برداری نیز به ترتیب (۲، ۱/۷ و ۲/۱)، (۲، ۱/۷ و ۳)، (۳، ۱/۷ و ۴) و (۵، ۲ و ۱/۵) افزایش را نشان داد. بررسی کاربرد ایزوتوپ نیتروژن-۱۵ در سیستم کودآبیاری قطره‌ای و مقایسه با آبیاری شیاری با سطح کود نیتروژن یکسان نشان داد که تلفات نیتروژن در آبیاری شیاری ۲۲ درصد بیشتر از روش کودآبیاری قطره‌ای بود (۱۷). ایچیر و همکاران^۱ (۲۰۰۳) در بررسی بازیافت بقایای گندم با استفاده از نیتروژن-۱۵ و اثرات بقایای کود نیتروژن در سیستم تناوبی گندم-گندم با کاربرد ۸۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۹/۷۶۴ اتم درصد اضافی) دریافتند که بازیافت کود نیتروژن توسط گندم ۳۳/۱ درصد و مقدار آن در عمق ۸۰-۰ سانتیمتری خاک ۶۴/۸ درصد بود. ایشان دلیل احتمالی برای این بازیافت پائین را توسط گیاه، آلی شدن نیتروژن کود عنوان کرد (۱۰).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل روش آبیاری، سطح کود، عمق و زمان نمونه‌برداری محلول خاک بر غلظت نیتروژن نیتراتی مشتق شده از منبع خاک در جدول ۵ نشان داده شده است. بیش‌ترین غلظت نیتروژن نیتراتی مشتق شده از منبع خاک در سیستم کودآبیاری قطره‌ای (سطح کودی ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، عمق ۱۵ سانتی‌متر خاک و در زمان اول نمونه‌برداری) و کم‌ترین غلظت در سیستم کودآبیاری

2- Hanson et al.

3- Constantinos et al.

1- Ichir et al.

سانتی‌متر، به ترتیب ۲۸/۲۸ و ۱/۸۱ میلی‌گرم در لیتر بود (شکل ۳C). همانطور که در شکل (۳a) مشاهده می‌شود در سیستم کودآبیاری قطره‌ای (سطوح کودی ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، غلظت نیتروژن نیتراتی محلول خاک با افزایش عمق کاهش یافت. این در حالی است که غلظت نیتروژن نیتراتی در آبیاری جویچه‌ای با افزایش عمق افزایش داشت. پاپادوپولس^۱ (۱۹۹۳) بیان داشت که مدیریت صحیح کودآبیاری قطره‌ای، باعث افزایش کارایی مصرف آب و کود شده و تأثیرات نامطلوب محیطی را به حداقل می‌رساند (۱۹). مقادیر نیتروژن نیتراتی مشتق شده از منبع کود نشاندار نیتروژن-۱۵ در آبیاری جویچه‌ای (سطوح کودی ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار)، با افزایش عمق افزایش یافت (شکل ۳b). همچنین مقادیر نیتروژن نیتراتی مشتق شده از منبع خاک در روش کودآبیاری قطره‌ای (سطوح کودی ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) با افزایش عمق، روند کاهشی را نشان داد (شکل ۳C). از مجموع نیتروژن نیتراتی موجود در محلول خاک در سیستم کودآبیاری قطره‌ای ۲۰ درصد از منبع کود نشاندار نیتروژن-۱۵ و ۸۰ درصد مربوط به منبع خاک بود و در آبیاری جویچه‌ای ۷۷ درصد از منبع کود نشاندار نیتروژن-۱۵ و ۲۳ درصد از منبع خاک بود.

در سیستم کودآبیاری قطره‌ای بیان داشتند که نیتروژن مشتق شده از خاک در گیاه بتدریج با افزایش کود نیتروژن کاهش یافت، به استثناء تیمار کم اوره (۶ گرم اوره برای هر گیاه) که کاهشی را در جذب نیتروژن خاک در مقایسه با شاهد نشان نداد (۴).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل روش آبیاری، سطح کودی و اعماق خاک بر غلظت نیتروژن نیتراتی محلول خاک، نیتروژن نیتراتی مشتق از منبع کود نشاندار نیتروژن-۱۵ و غلظت نیتروژن نیتراتی مشتق شده از منبع خاک در شکل ۳ نشان داده شده است. بیش‌ترین مقدار غلظت نیتروژن نیتراتی محلول خاک در (آبیاری جویچه‌ای، سطح کود ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و عمق ۶۰ سانتی‌متر) و کم‌ترین غلظت در (سیستم کودآبیاری قطره‌ای، سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و عمق ۶۰ سانتی‌متر) به ترتیب ۶۵/۱۲ و ۳/۴۹ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد (شکل ۳a). از مجموع نیتروژن نیتراتی موجود در عمق ۶۰-۰ سانتی‌متر در سیستم کودآبیاری قطره‌ای (سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) ۶۲ درصد در عمق ۱۵ سانتی‌متر، ۲۹ درصد در عمق ۳۰ سانتی‌متر و ۹ درصد در عمق ۶۰ سانتی‌متر بود. همچنین از مجموع نیتروژن نیتراتی موجود در عمق ۶۰-۰ سانتی‌متر در آبیاری جویچه‌ای (سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) ۱۰ درصد در عمق ۱۵ سانتی‌متر، ۳۴ درصد عمق ۳۰ سانتی‌متر و ۵۶ درصد در عمق ۶۰ سانتی‌متر بود. نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار نیتروژن نیتراتی مشتق شده از منبع کود نشاندار نیتروژن-۱۵ در آبیاری جویچه‌ای (سطح کودی ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و عمق ۶۰ سانتی‌متر) و کم‌ترین غلظت در سیستم کودآبیاری قطره‌ای (سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و عمق ۱۵ سانتی‌متر)، به ترتیب ۵۶/۸۰ و ۰/۵۹ میلی‌گرم در لیتر بود (شکل ۳b). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار نیتروژن نیتراتی مشتق شده از منبع خاک، در سیستم کودآبیاری قطره‌ای (سطح کودی ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و در اعماق ۱۵ و ۶۰

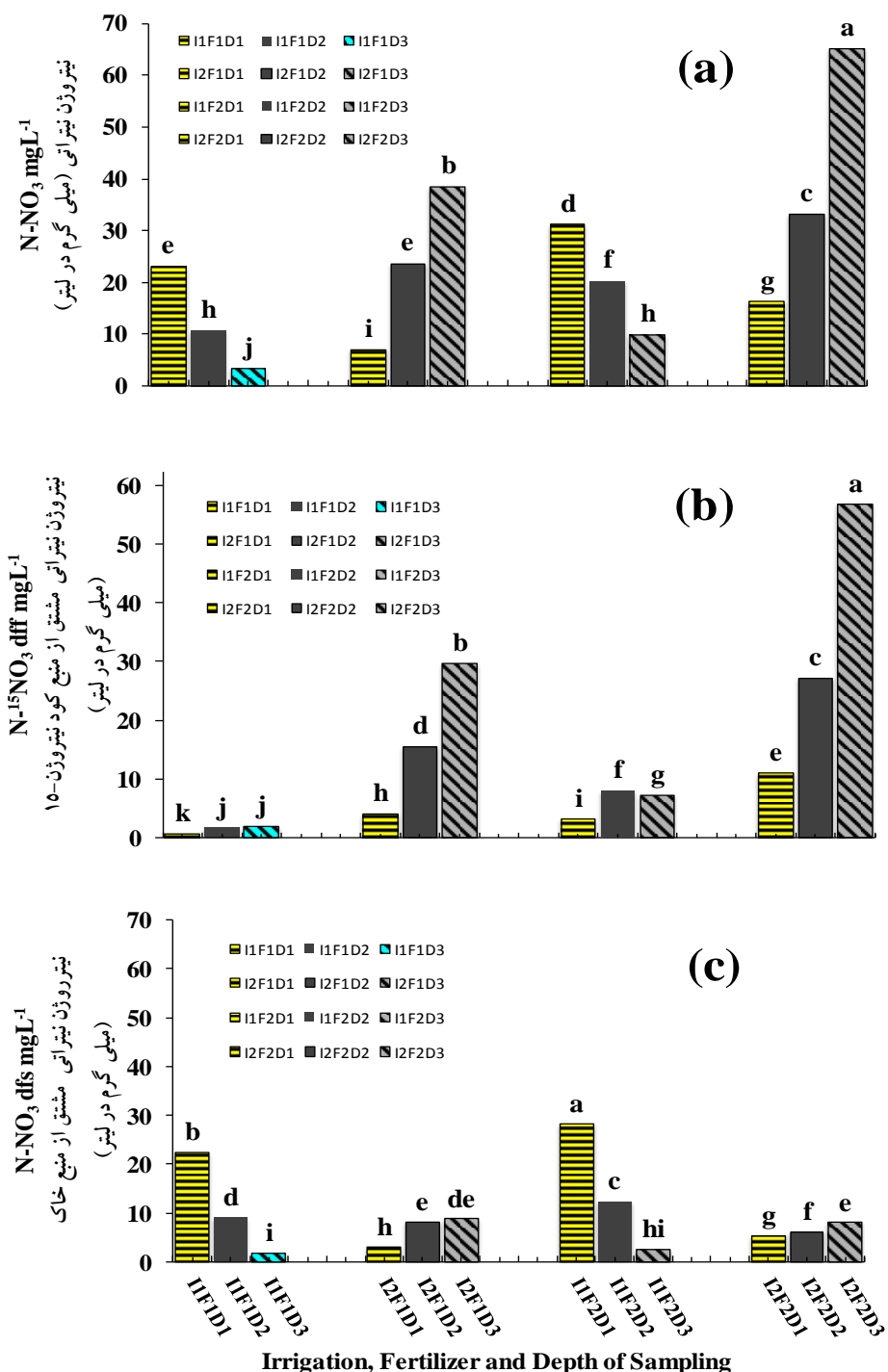
جدول (۵) مقایسه میانگین غلظت نیترژن نیتراتی مشتق شده از منبع خاک، تحت تاثیر روش آبیاری، سطح کودی و زمان نمونه برداری در عمق های مختلف خاک

Table (5) Comparison of the average nitrate-N derived from soil source concentration under the influence of irrigation method, fertilizer level and sampling time at different soil depths

حروف نشانهگر عدم تفاوت	عمق (سانتی متر)			آبیاری	سطح کودی	زمان نمونه برداری	مشابه وجود
	60	30	15				
سطح درصد (دانکن)	نیتروژن نیتراتی مشتق شده از منبع خاک						معنی دار در احتمال پنج (آزمون است.
	Nitrate Nitrogen	Nitrogen Drived from soil		Irrigation	Fertilizer level	Sampling Time	
مراحل برداری	3.56 ^{q..s}	17.68 ^{fg}	32.93 ^c	قطره ای	100	T1	-
	2.41 ^{rt}	10.15 ^j	25.20 ^e	Drip	kg N ha ⁻¹	T2	
	0.99 ^{tu}	5.36 ^{m..q}	17.31 ^{fg}			T3	-
	0.29 ^u	2.87 ^{rt}	14.66 ^h			T4	نمونه -
	10.21 ^j	6.71 ^{l..o}	2.09 ^{r..u}	جویچه ای		T1	محلول
	6.43 ^{l..p}	4.76 ^{pq}	1.56 ^{ut}	Furrow		T2	
	13.78 ^{hi}	7.14 ^{k..m}	1.11 ^{tu}			T3	
	4.73 ^{pq}	13.19 ^{hi}	7.12 ^{k..m}			T4	
	2.25 ^{r..t}	27.23 ^d	42.25 ^a	قطره ای	200	T1	
	4.77 ^{pq}	16.94 ^{fg}	36.12 ^b	Drip	kg N ha ⁻¹	T2	
	1.25 ^{tu}	3.87 ^{qr}	18.38 ^f			T3	
	1.79 ^{s..u}	1.60 ^{tu}	16.42 ^g			T4	
	12.52 ⁱ	4.98 ^{o..q}	6.31 ^{n..p}	جویچه ای		T1	
	8.66 ^{jk}	6.17 ^{n..p}	6.82 ^{k..o}	Furrow		T2	
	5.49 ^{m..q}	5.06 ^{n..q}	1.10 ^{tu}			T3	
	4.42 ^{m..q}	8.27 ^{kl}	6.95 ^{k..n}			T4	

خاک T4, T3, T2, T1 به ترتیب ۲۸، ۴۰، ۶۱، ۸۰ روز پس از کاشت

- Similar letters in indicate no significant difference at the 5% probability level (Duncan test).
- Sampling time of soil solution T1, T2, T3, T4 28, 40, 61, 80 days after planting respectively



شکل (۳) اثرات متقابل روش آبیاری، سطح کود و عمق خاک بر غلظت نیترژن نیتراتی (a)، نیترژن نیتراتی مشتق شده از منبع کود نشاندار نیترژن-۱۵ (b) و نیترژن نیتراتی مشتق شده از منبع خاک (c) و کود آبیاری قطره‌ای و آبیاری جویچه‌ای (F₁ و F₂ سطح کود ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیترژن در هکتار) (D3, D2, D1 عمق‌های ۱۵، ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر) Figure 3 interactions effects of irrigation method, fertilizer level and soil depths on nitrate-N concentration (a), nitrate-N derived from fertilizer nitrogen-15 (b) and nitrate-N derived from soil (c), (I1-Fertigation system and I2-Furrow Irrigation) (F1 and F2 are equal to 100 and 200 kg of nitrogen per hectare) and (D1, D2, D3 are soil depths of 15, 30 and 60 cm)

نتیجه گیری

نشاندن نیتروژن-۱۵ و از منبع خاک بود. غلظت بالای نترات در عمق ۶۰ سانتی متر خاک با افزایش مقدار کاربرد نیتروژن در آبیاری جویچه‌ای مشاهده شد. کاربرد آبیاری جویچه‌ای تحت کشت گوجه‌فرنگی با ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، سبب تلفات بالای نیتروژن به وسیله آبشویی شد. در مجموع سیستم کود آبیاری قطره‌ای و سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، به عنوان بهترین روش آبیاری و بهترین سطح کودی مناسب از جهت کاهش تلفات آبشویی نترات در شرایط این تحقیق بود.

در این تحقیق از ایزوتوپ پایدار نیتروژن-۱۵ و کپسول مکش برای ردیابی و تعیین مسیر حرکت نترات (جذب شده از کود) در خاکرخ و خروج آن از سیستم ریشه گیاه استفاده شد. نتایج نشان داد که از مجموع نیتروژن نتراتی موجود در لایه ۰-۶۰ سانتی متر در سیستم کود آبیاری قطره‌ای (۶۲، ۲۹ و ۹ درصد) و آبیاری جویچه‌ای (۱۰، ۳۴ و ۵۶ درصد) به ترتیب در اعماق ۱۵، ۳۰ و ۶۰ سانتی متر مشاهده شد. داده‌های نیتروژن-۱۵ نشان داد که از مجموع نیتروژن نتراتی در سیستم کود آبیاری قطره‌ای (۲۰ و ۸۰ درصد) و آبیاری جویچه‌ای (۷۷ و ۲۳ درصد) به ترتیب از منبع کود

References

1. Aliehyae, M., and Behbahani Zadeh, A. 1993. Description of Soil Analysis Methods. Soil and Water Research Institute, 1: 893. 129. (In Persian).
2. Bar-Yosef, B., 1999. Advances in fertigation. Adv. Agron. 65, 1-75.
3. Busscher, W.J. 1996. Soil, Water and Air Quality Research Florence: Coastal plain soil, water and plant research laboratory.
4. Constantinos, E., Ioannis, M., and Georgios, P. 2010. Efficient urea-N and KNO₃-N uptake by vegetable plants using fertigation. Agronomy for Sustainable Development. 30: 763-768.
5. Gao, N., Liu, Y., Wu, H., Zhang, P., Yu, N., Zhang, Y., Zau, H., Fan, Q., and Zhang, Y. 2017. Interactive effects of irrigation and nitrogen fertilizer on yield, nitrogen uptake, and recovery of two successive Chinese cabbage crops as assessed using ¹⁵N isotope. Scientia Horticulturae. 215: 117-125.
6. Gregory, P., Tennant, D., and Belford, R. 1992. Root and shoot growth, and water and light use efficiency of barley and wheat crops grown on a shallow duplex soil in a Mediterranean-type environment. Crop and Pasture Science. 43. 3: 555-573.
7. Hanson, B., Bowers, W., Davidoff, B., Kasapligil, D., Carvajal, A., and Bendixen, W. 1995. Field performance of micro-irrigation systems. In: Micro-irrigation for a changing world: Conserving resources/preserving the environment. Proc. 5th Int. Micro-irrigation Congress. Orlando 769-774.
8. Hazelton, P., and Murphy, B. 2007. Interpreting soil test results; what do all the numbers mean? CSIRO Publishing. Australia. 149.
9. IAEA. 2001. Use of isotope and radiation methods in soil and water management and crop nutrition. Training Course Series No. 14. 247.
10. Ichir, L., Ismaili, M., and Hofman, G. 2003. Recovery of ¹⁵N labeled wheat residue and residual effects of N fertilization in a wheat-wheat cropping system under Mediterranean conditions. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 66: 2. 201-207.
11. Karami Sorkheh, S., and Maleki, A. 2015. Soil pollution and ways to prevent it. Second National Conference on Engineering and Management of Agriculture, Environment and Sustainable Natural Resources. 11. (In Persian).

12. Li, J., Zhang, J., and Rao, M. 2004. Wetting patterns and nitrogen distributions as affected by fertigation strategies from a surface point source. *Agricultural Water Management*. 67: 89-104.
13. Li, J., Zhang, J., and Ren, L. 2003. Water and nitrogen distribution as affected by fertigation of ammonium nitrate from a point source. *Irrigation. Science*. 22: (1). 19-30.
14. Lincoln, Z., Johannes, M., Scholberg, M., Dukes, D., and Muñoz-Carpena, R. (2007). Monitoring of Nitrate Leaching in Sandy Soils Comparison of Three Methods. *Journal of Environmental Quality*. 36. 4: 953-962.
15. Mahgoub, N., Ahmed, A., Mohamed El Seyed, I., El Sikhary, M., and Ozoris. M. A. 2017. Roots and Nutrient Distribution under Drip Irrigation and Yield of Faba Bean and Onion. *Open Journal of Soil Science*. 52-67.
16. Mousavi Shalmani, M.A., Khorasani, A., Pirvali, B.N., Nouri, M.M., Eskandari, A., and Mohammadi, S.M. 2013. Application of Isotopic Technology to Nitrogen Fertilizer Management in Sugar Beet under Different Irrigation Systems, *Journal of Soil and Water (Agricultural Science and Technology)*. 27:1.61-69. (In Persian).
17. Mousavi Shalmani, M.A. 2008. Nitrogen-15 Isotope Application in Soil Fertility and Plant Nutrition. Zalal Kowsar. Institute for Nuclear Science and Technology. 412. (In Persian).
18. Mousavi Shalmani, M.A., Sagheb, N., Hobbi, M.S., Teimoori, S., Khorasani, A., and Piervali, N. 2003. Use of ¹⁵N Methodology to Assess Urea Use Efficiency under Different Nitrogen Levels in Fertigation System and Comparison with Furrow Irrigation on Tomato. *Journal of Nuclear Science and Technology*. 26. 44-48. (In Persian).
19. Papadopoulos, I. 1993. Agricultural and environmental aspects of fertigation- chemigation in protected agriculture under Mediterranean and arid climates. *Proceedings on Environmentally sound water management of protected agriculture under Mediterranean and arid climates*. Bari. Italy.
20. Papadopoulos, I. 1988. Nitrogen fertigation of trickle-irrigated potato. *Fertility. Res*. 16: 157-167.
21. Parmodh, S., Manoj, K., Shukla, T.S., and Pradip, A. 2012. Nitrate-nitrogen leaching from onion bed under furrow and drip irrigation systems. *Hindawi Publishing Corporation Applied and Environmental Soil Science Article*. 17.10.
22. Reyhani, T.A. 2009. Nitrate, agriculture and environment. *Tabriz University*. 422. (Translated In Persian).
23. Sexten, B.T., Moncrief, J.F., Rosen, C.J., Gupta, S.C., and Cheng, H.H. 1996. Optimizing nitrogen and irrigation inputs for corn based on nitrate leaching and yield on a coarse textured soil. *Journal of Environmental Quality*. 25:983-992.
24. Studdert, G.A., and Atanasova, E. 2000. Response of spinach to nitrogen source and fertilizer rates. *Pochvoznanie. Agrokimiya I Ekologiya*. 35. 4: 30-33.
25. Willis, L.E., Davies, F.S., and Graetz, D.A. 1990. Fertilization, nitrogen leaching and growth of young 'Hamlin' orange trees on two rootstocks. *Proc. Fla. State Hort*. 103. 30-37.
26. Zaman, W.U., Arshad, M., and Saleem, A. 2001. Distribution of Nitrate-Nitrogen in the Soil Profile under Different Irrigation Methods. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2: 208-209.