تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۲۳/ شماره ۸۷/ تابستان ۱۴۰۱/ص ۹۸-۷۷

نوع مقاله: علمی پژوهشی

اثر کاربرد کود اورهٔ پوشش‌دار بر فرآیند انتقال نیترات به عمق‌های مختلف خاک در مقایسه با برخی از انواع کودهای رایج

علیرضا حسن‌اقلی[1*]، زهره حیدری‌زاد[2]، محمود مشعل[2] و مریم وراوی‌پور[2]

۱- دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- دانش آموخته؛ و دانشیاران گروه مهندسی آب، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱۶

چکیده

کاربرد انواع کودهای شیمیایی و آلی رایج به‌منظور افزودن بر میزان محصول تولیدی در کشاورزی امروز متداول است که گاهی می‌تواند منجر به ورود آلاینده‌هایی مانند نیترات به محیط زیست و منابع آب و خاک شود. از همین روی، کاربرد کودهای اورهٔ پوشش‌دار یا کُندرها شاید بتواند انتقال آلودگی کمتری را درپی داشته باشد. در این تحقیق، به بررسی فرآیند انتقال نیترات به اعماق مختلف خاک با کاربرد انواعی از کودهای شیمیایی و آلی رایج و مقایسه آن با کود اوره کُندرها (با پوشش گوگردی) پرداخته شد. به همین منظور ۱۵ ستون آب و خاک با مقطع استوانه‌ای به ارتفاع ۱۵۰ و قطر ۱۰ سانتی‌متر طراحی و ساخته شد. ستون‌ها تا ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر از خاک با بافت لوم شنی پُرشدند. برای نمونه‌برداری از زهاب، زهکش‌هایی در عمق‌های مختلف ستون‌ها کارگذاری شد. انواع کودهای کاربردی، بر اساس کمیت نیتروژن مورد نیاز برای گیاه گوجه‌فرنگی محاسبه و به‌کار برده شد. این پژوهش با به‌کارگیری طرح آماری فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی، با عوامل مورد بررسی شامل: نوع کود (بدون کاربرد کود یا شاهد، اوره پوشش‌دار، کودهای شیمیایی رایج اوره و نیترات آمونیوم، و کود آلی مرغی)؛ عمق نمونه‌برداری از زهاب در ستون‌ها (۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر از سطح خاک)؛ نوبت آبیاری (۵ مرتبه) و زمان نمونه‌برداری در هر آبیاری (۵ نوبت، بر اساس حجم تخلیه مشخصی از آبِ خاک در یک پوروالیوم یا حجم منفذی کامل)، در سه تکرار به اجرا درآمد. نتایج تجزیهٔ واریانس حکایت از آن داشت که اثرهای نوع کود کاربردی، نوبت آبیاری و زمان نمونه‌برداری بر میزان نیترات اندازه‌گیری شده در نمونه‌های زهاب (آبشویی نیترات)، به لحاظ آماری در سطح یک درصد معنی‌دار است. ولی غلظت نیترات در نمونه‌های تهیه شده از عمق‌های مختلف، تغییرات معنی‌داری را نشان نداد. بررسی مقادیر میانگین نیترات زهاب حاکی از آن بود که میزان انتقال نیترات به عمق در کاربرد کود نیترات آمونیوم (با میزان ۵۱/۶۷ میلی‌گرم بر لیتر) بیشترین، و در تیمار شاهد (با ۳۸/۳۹ میلی‌گرم بر لیتر) کمترین است. کود اوره (با ۴۸/۱۶ میلی‌گرم بر لیتر)، کود مرغی (با ۴۰/۷۰ میلی‌گرم بر لیتر) و اورهٔ پوشش‌دار (با ۳۹/۸۸ میلی‌گرم بر لیتر)، به‌ترتیب در بین آن‌دو قرار گرفت و تفاوت آنها از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد کود اورهٔ پوشش‌دار در شرایط این تحقیق توانسته است تأثیر آشکاری بر کاهش انتقال نیترات به عمق خاک داشته باشد.

واژه‌های کلیدی

آبشویی، آلودگی نیتراتی، زهکشی، کود مرغی، اورهٔ پوشش‌دار، کود شیمیایی

مقدمه

باتوجه به رشد روزافزون جمعیت و افزایش تقاضا برای مواد غذایی، کشاورزان به منظور تولید محصول بیشتر از انواع کودهای شیمیایی و آلی

* نگارنده مسئول: Email: arho49@yahoo.com
http://doi: 10.22092/idser.2022.359844.1520

استفاده می‌کنند (Malakouti & Nafisi, 1998). کود به معنای عام، شامل کلیه موادی است که به جهت تأمین عناصر ضروری رشد گیاه به خاک اضافه می‌شود (Varavipour, 2005). کودهای شیمیایی، ترکیب مکانیکی یا شیمیایی چند ماده‌ی مغذی، حاوی عناصر ضروری برای رشد گیاه هستند که در انواع قلیایی، اسیدی، خنثی، مایع، تعلیقی، سیال و مرکب تولید می‌شوند (Nielson & Bigger, 1960). مصرف اصولی کودهای شیمیایی می‌تواند ضمن افزایش تولید، هدف‌های کشاورزی پایدار را نیز تأمین کند، هرچند افزایش عملکرد محصول با رشد مصرف کودهای شیمیایی متناسب نبوده است. مصرف بی‌رویه و نامتناسب برخی کودها مانند کودهای نیتروژنی، موجب تشدید آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی، تخریب ساختمان خاک و در نتیجه کاهش حاصلخیزی خاک‌های کشور شده است (Malakouti & Nafisi, 1998).

اطمینان از تولید مداوم و پایدار فرآورده‌های غذایی سالم همراه با حفظ محیط زیست (Keshavarz & Malakouti, 2007)، موضوع مهمی در علوم مختلف مانند کشاورزی، اکولوژی و ... و مورد توجه متولیان و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی است. پژوهشگران نحوهٔ ایجاد و پراکنش انواع آلودگی در منابع آب و خاک را به دو دسته آلودگی‌های متمرکز (نقطه‌ای) و آلودگی‌های غیرمتمرکز تقسیم می‌کنند. مصرف بی‌رویه کودها و سموم نباتی عمده‌ترین عامل بروز آلودگی‌های غیرمتمرکز به‌حساب می‌آیند (Siadati Moghadam, 2005).

نیتروژن از مهمترین عنصرهای غذایی پرمصرف در گیاهان است. گالووی و همکاران (Gallowey *et al.*, 2004) می‌گویند نیتروژن یکی از عنصرهای اصلی مورد نیاز برای رشدگیاهان است که به دو صورت آلی و معدنی در خاک وجود دارد و بیشتر از ۹۰ درصد نیتروژن کل خاک از نوع آلی است که برای گیاهان قابل جذب نیست. این محققان می‌افزایند نیتروژن معدنی مشتمل بر نیترات، آمونیوم، نیتریت و آمونیاک است و نیترات و آمونیوم به راحتی توسط گیاه قابل جذب هستند، ولی آمونیاک و نیتریت برای گیاهان، عواملی سمی محسوب می‌شوند.

انواع کودهای نیتروژن‌دار را می‌توان به چند دسته کودهای آلی (مجموعه‌ای از فضولات دامی و انسانی یا بقایای گیاهی) و کودهای شیمیایی (کودهای اوره، نیترات آمونیوم، فسفات آمونیوم) تقسیم کرد (Hashemi-Majd, 2005). کودهای شیمیایی به خصوص در کشورهای کمتر توسعه یافته، بخش بسیار بزرگی از کل نیتروژن فعال وارد شده به محیط را تشکیل می‌دهند. استفادهٔ زیاد از کودهای شیمیایی و درحد بیش‌از نیاز گیاهان درحال رشد، در بسیاری از موارد باعث ایجاد مازاد نیتروژن می‌شود (Varavipour, 2005). از آنجاکه کودهای نیتروژنی به‌طور کلی به مقدار زیاد و به سرعت در آب حل می‌شوند، بنابراین مستعد آن هستند که با آب باران یا آبیاری شستشو شوند (Hashemi-Majd, 2005).

کاربرد انواع کودها ممکن است سبب شود تا آلاینده‌های شیمیایی و بیولوژیکی موجود در آنها از راه رواناب و زهاب ناشی از آبیاری به شبکه‌های زهکشی و نهایتاً به‌پهنه‌های آب سطحی واردشوند و آب‌های زیرزمینی را نیز آلوده کنند. آن مقدار از نیتروژن که میکروارگانیسم‌ها یا گیاهان استفاده نکنند، منبع بالقوه‌ای خواهد بود برای ایجاد آلایندگی. نیتروژن موجود در کود به ویژه در شکل نیترات، به دلیل انحلال‌پذیری زیاد و بار منفی آن،

در حین آبیاری از خاک شسته و به آب‌های زیرزمینی وارد می‌شود (Hassanoghli, 2020) نیترات از راه کاربرد آب آلوده و محصولات گیاهی وارد بدن می‌شود که می‌تواند مشکلاتی را برای سلامت انسان، از قبیل کاهش اکسیژن‌رسانی، سقط جنین و اختلال در سیستم عصبی ایجاد کند (Collure *et al.*, 2002). از جنبه‌های نگران کننده در ارتباط با افزایش غلظت نیترات در محیط‌های آبی، مسئلهٔ غنی‌شدن[1] است که موجب رشد سریع گیاهان آبزی، کمبود اکسیژن و ایجاد اختلال در زندگی آبزیان می‌شود. شناخته شده‌ترین جنبهٔ آن، رشد زیان‌آور پلانکتون‌ها و جلبک‌ها و از بین رفتن ماهی‌های موجود در رودخانه‌هاست. غنی‌شدن را باید فرآیندی طبیعی دانست که بر اثر فعالیت‌های انسان مانند تخلیهٔ فاضلاب‌های شهری و صنعتی و پساب‌های کارخانه‌ها، روناب و زهاب حاصل از اراضی کشاورزی یا کود دهی فراوان تشدید می‌شود (Hassanoghli, 2011). نیتروژن یونی است با انحلال‌پذیری بالا که به صورت آزاد در خاک موجود است و اگر نیترات توسط گیاهان استفاده نشود، از راه‌های مختلف مانند نیتراتزدایی یا دنیتریفیکاسیون (Kimetu *et al.*, 2006; Heumann *et al.*, 2002) و آبشویی نیترات (Bubbar & Zak, 1996) به هدر می‌رود.

در یک مطالعهٔ موردی که در دشت قزوین غلظت نیترات، فسفر و پتاسیم در آب‌های زیرزمینی چند منطقه با بافت‌های مختلف خاک اندازه‌گیری شد که زیر کشت محصولات کشاورزی بودند و از کودهای شیمیایی نیز استفاده شده بود. نتایج این مطالعه نشان داد غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی بالاتر از مقدار مجاز توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی است. حال آنکه میزان فسفر و پتاسیم کمتر از حد مجاز بود. تغییرات غلظت این عوامل در طول زمان نیز روندی ثابت نشان داد که علت آن پایین بودن سطح سفرهٔ آب زیرزمینی در منطقه بود. در نتیجه، زمان زیادی طول می‌کشید که این عوامل به آب‌های زیرزمینی بپیوندند (Afrous *et al.*, 2007).

در بررسی کیفیت آب زیرزمینی مزارع کشت سبزی‌ها در دشت‌های مرکزی آمریکا، گزارش شد که بیشتر چاه‌های این مناطق دارای غلظت نیتروژن نیتراتی بیشتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر هستند. میانگین غلظت نیتروژن نیتراتی در زمین‌های بایر بالادست یک میلی‌گرم در لیتر بود که بیانگر تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر آلودگی آب‌های زیرزمینی است (Stite & Kroft, 2000).

در پژوهشی، از روشی خاص برای نمایش انتقال نیترات در حوزهٔ کارستی استفاده شد. در این تحقیق، حرکت نیترات در مسیرهای جریان، از زمان مصرف کود در ماتریکس خاک تا رسیدن به بستر سنگی بررسی شد. بر اساس داده‌های به‌دست آمده از آنالیز خاک و نمونه‌های آب در فصل بهار، محاسبات طی یک دورهٔ یکساله در حوزهٔ زهکشی به مساحت ۴۴ کیلومتر مربع اجرا شد. طبق این محاسبات، سرعت حرکت نیترات در خاک‌های لومی رسی و سیلتی حدود ۶۵ سانتی‌متر در سال بوده و نیز رابطه‌ای نزدیک بین حداکثر میزان نیترات با عمق و زمان مصرف کود مشاهده شده‌است (Peterson *et al.*, 2002).

برای کاهش اثر چنین فرایندهای مخرب محیط زیست، ترکیب‌هایی توسط دانشمندان ساخته شده‌است که مهم‌ترین آنها کودهای نیتروژنی دیرحَل

1- Eutrophication

یا کُندرها[1] (اوره فرم، فلورانید و کودهای پوشش‌دار) هستند. اوره فرم از لحاظ شیمیایی، ترکیب اوره و فرم‌آلدئید است و ۳۸ درصد نیتروژن دارد. فلورانید نیز ترکیب اوره با یک مادۀ آلی است و ۲۸ درصد نیتروژن دارد. هر دو این کودها به علت گران‌قیمت بودن، فقط در پرورش گیاهان زینتی کاربرد دارند. اما روش دیگر که برای جلوگیری از حل‌شدن سریع کود نیتروژنی به‌کار می‌رود آن است که روی دانه‌های کود نیتروژنی (به‌خصوص اوره) را با ماده‌ای مانند گوگرد بپوشانند تا نیتروژن آن به تدریج آزاد شود. کود اوره با پوشش گوگردی[2] (یا به اصطلاح کود SCU) با پاشیدن گوگرد مذاب روی دانه‌های اوره به دست می‌آید. در این فرایند، دمای گوگرد ۱۵۰ و دمای اوره ۷۵ درجه سانتی‌گراد و میزان گوگرد براساس انحلال‌پذیری مورد نظر کود بین ۱۲ الی ۲۵ درصد است (Bybordi *et al.*, 2000; Hashemi-Majd, 2005). گوگرد یکی‌از مناسب‌ترین و ارزان‌ترین مواد شناخته شده‌ای است که می‌توان از آن برای پوشش‌دادن کودها بهره برد. این عنصر تنها مادۀ پوشش دهنده غیرآلی است که مادۀ مغذی ثانویه و مورد نیاز گیاهان نیز محسوب می‌شود. گوگرد باعث بهبود کمی و کیفی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های آهکی و قلیایی، کاهش قلیائیت خاک، حذف بی‌کربنات از آب آبیاری، کاهش تصعید آمونیاک (NH_3)، افزایش فسفر قابل تبادل خاک و افزایش قابلیت جذب عنصرهای ریزمغذی (آهن، روی، منگنز و مس) می‌شود (Akhlaghi, 2009).

انحلال‌پذیری کودهای کُندرها در آب نسبت به کود اورۀ معمولی کمتر است و آزاد شدن عنصرها به‌تدریج و به آرامی صورت می‌گیرد (Hassanoghli, 2020). کودهای کُندرها که با استفاده از روش پوشش‌دهی تهیه می‌شوند، با ایجاد مانعی فیزیکی، سبب کاهش سرعت انحلال‌پذیری کودها در آب می‌شوند که کاهش انتقال آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی را به دنبال دارد. این مورد در سیستم‌های زراعی مانند مزارع کشت برنج، نیشکر، ذرت و چغندرقند اهمیت می‌یابد که به‌دلیل آبیاری فراوان و بی‌رویه، آبشویی فراوانی در آنها اتفاق می‌افتد. پوشش باید زیست‌تجزیه‌پذیر و از لحاظ اقتصادی با صرفه باشد (Masoudifar, 2013). در پژوهشی، استفاده ازکودهای پوشش‌دار برای افزایش کارایی مصرف نیتروژن توصیه شده است (Tajner-Czopek *et al.*, 2008). کاربرد پوشش در کودهای پوشش‌دار سبب کاهش آلایندگی کودهای شیمیایی اعلام شده است (Zare Abyaneh & Bayat Varkeshi, 2015).

در پژوهشی بین‌المللی با موضوع بررسی حاصلخیزی خاک و ارزیابی اثر کود در کشت برنج، که توسط مؤسسه بین‌المللی تحقیقات برنج آسیا واقع در فیلیپین به انجام رسید، اثر کاربرد کود با پوشش گوگردی (SCU)، در مقایسه با کود اورۀ معمولی، بررسی و نشان داده شد که برای تولید عملکردی یکسان از برنج در هر دو نوع کود، میزان کاربرد کود با پوشش گوگردی ۲۲ تا ۲۵ درصد کمتر از میزان کاربرد کود اورۀ معمولی است (Shivay et *al.*, 2015).

در پژوهشی با ارزیابی پاسخ سیب‌زمینی به کاربرد کود اورۀ معمولی، در مقایسه با کود اوره پوشش‌دار، مشاهده شد که پوشش‌دار کردن کودها با ایجاد قابلیت تنظیم رهاسازی عناصر غذایی، باعث آزادسازی آهسته و مداوم نیتروژن و سایر عنصرهای غذایی می‌گردد (Liu-Feng *et al.*, 2006). این همان دلیلی است که استفاده ازکودهای پوشش‌دار را برای افزایش کارایی نیتروژن قابل توصیه می‌کند

1- Slow release

2- Sulfur Coated Urea

(Tajner-Czopek *et al.*, 2008). کم بودن درصد جذب نیتروژن در کاربرد کود اورهٔ معمولی عامل هدر رفت، تصعید و آبشویی آن در مزارع است (Fan *et al.*, 2004). از این رو از کود اورهٔ دارای پوشش گوگردی می‌توان به عنوان کود کُندرها با راندمان بالا و دارای مزایای زیاد برای گیاهان زراعی یاد کرد (Akhlaghi, 2009).

در پژوهشی و به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد توأم کود کُندرها و بیوچار تولیدشده از باگاس نیشکر بر میزان آبشویی نیترات در کشت گوجه‌فرنگی، عامل کود در دو نوع (کود اورهٔ معمولی و اوره با پوشش گوگردی) و بیوچار در چند سطح (صفر، یک، دو و سه درصد وزنی) در لایهٔ خاک سطحی به‌کار گرفته شد. نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین میزان آبشویی نیترات در کاربرد کود اورهٔ معمولی در خاک بدون بیوچار و کمترین آن در به‌کارگیری سه درصد وزنی بیوچار و بهره‌گیری از کود اورهٔ کُندرها است (Hassanoghli, 2020).

هدف از اجرای این پژوهش، بررسی فرآیند انتقال آلایندهٔ نیترات به عمق‌های مختلف خاک، در نتیجهٔ استفاده از انواع کودهای آلی و شیمیایی رایج (مانند کود اورهٔ معمولی، کود نیترات آمونیوم و کود آلی مرغی)، در مقایسه با کود اورهٔ پوشش‌دار (با پوشش گوگردی یا به اصطلاح کود کُندرها)، است. با مقایسهٔ نتایج حاصل از کاربرد انواع کودها ازنظر پتانسیل انتقال آلایندهٔ نیترات در نیمرخ خاک و تعیین کود بهینه، سعی شده است در انتخاب و توصیهٔ مصرف این قبیل کودها، به شیوهٔ صحیح‌تر و بهتری عمل شود.

مواد و روش‌ها

با توجه به اهداف، ضرورت داشت بتوان کنترل دقیقی بر شرایط اجرای پژوهش اعمال کرد. از همین روی از ستون‌های آب و خاک در اجرای آزمون‌ها بهره گرفته شد. برای انتخاب خاک و درنظر گرفتن اینکه بیشترین تلفات انتقال آلودگی‌ها درخاک‌هایی با بافت سبک و متوسط صورت می‌گیرد، از خاکی با بافت لوم شنی[1] استفاده شد. خاک پس از هواخشک شدن و عبور از الک با اندازهٔ مش ۱۰ میلی‌متری (برای یکنواختی بیشتر و بهتر خاک)، آمادهٔ انتقال به ستون‌ها شد. برای پُرکردن ستون‌ها، خاک به‌صورت لایه‌هایی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در داخل تمامی ستون‌ها پُرشده و برای ایجاد نشست (بدون اجرای عملیات تراکمی بر روی خاک)، مقداری آب به آن اضافه و سپس لایه ۳۰ سانتی‌متری بعدی روی آن ریخته شد. وزن خاک داخل همه ستون‌ها برابر درنظر گرفته شد. در مجموع در هر ستون، به ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر از خاک پُرشد و بقیهٔ فضا به عنوان عمق آزاد لحاظ گردید. مشخصات اصلی خاک در آزمایشگاه شیمی خاک و آب ستاد مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی تعیین شد که نتایج آن در جدول ۱ قابل مشاهده است. گفتنی است که مقادیر دیگری نیز در این خاک اندازه‌گیری شد، از جمله: نیترات موجود در عصارهٔ اشباع خاک برابر با ۱۲/۷۷ میلی‌گرم بر لیتر، آهک ۱۷/۶۴ درصد، کربن آلی ۰/۲۵ درصد، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی به ترتیب برابر با ۱/۴۵ و ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و تخلخل خاک برابر با ۰/۴۵.

1- Sandy loam

2- Sulfur Coated Urea

جدول ۱- مشخصات شیمیایی خاک مورد استفاده در پژوهش

Table 1- Chemical characteristics of the soil used in the research

هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی‌زیمنس بر متر) ECe (dS/m)	pH	کاتیون‌ها (میلی‌اکی‌والان‌گرم بر لیتر) Cations (meq/lit)			آنیون‌ها (میلی‌اکی‌والان‌گرم بر لیتر) Anions (meq/lit)				نسبت جذب سدیم Sodium Adsorption Ratio (SAR) $(meq/lit)^{0.5}$
		Na^+	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	K^+	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}	
1.78	7.34	20.17	138.50	0.00	36.25	86.25	25.06	0.00	2.42

در مجموع ۱۵ ستون استوانه‌ای شکل (با توجه به تیمارها و تکرارهای لحاظ شده بر مبنای طرح آماری) از جنس پی. وی. سی. به ارتفاع ۱۵۰ و قطر ۱۰ سانتی‌متر به‌کار برده شد. برای نمونه‌برداری از زهاب از اعماق مختلف ستون‌ها، لوله‌هایی از جنس پلاستیک روزنه‌دار به قطر یک سانتی‌متر به عنوان زهکش و در فاصله‌های ۳۰ سانتی‌متری از یکدیگر (به‌ترتیب در عمق‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک) در تمامی آنها نصب شد. اولین زهکش در عمق ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک و آخرین زهکش هم در عمق ۱۲۰ سانتی‌متری از سطح قرار داشت. برای زهکشی مناسب ستون‌های خاک و جمع‌نشدن آب در کف آنها، از مقداری شن و ماسه با دانه‌بندی متوسط در اطراف زهکش واقع در کف هر ستون استفاده شد. ستون‌ها در محل آزمایشگاه تحقیقات آبیاری و زهکشی قرار داده شدند. شکل‌های ۱ و ۲، ستون‌های آماده شده و پایهٔ فلزی استقرار آنها را قبل از انتقال به محل اجرای پژوهش نشان می‌دهند.

کودهای مورد استفاده از دو نوع اصلی، شامل کود شیمیایی (اوره، نیترات آمونیوم و اورهٔ پوشش‌دار) و کود آلی (مرغی) انتخاب شدند. مقدار نیتروژن موجود در هریک از این کودها در جدول ۲ ارائه شده است. لازم است یادآوری شود که کود مرغی در کنار کود گوسفندی، بیشترین میزان نیتروژن را در بین کودهای دامی دارد، ضمن اینکه از نظر پراکنش علف هرز نیز در مقایسه با سایر انواع کود دامی مضرات کمتری دارد (Hassanoghli, 2011). مقادیر کود مورد نیاز برای هرستون، بر اساس میزان مصرف آنها در کشت گیاه گوجه‌فرنگی (به‌عنوان گیاهی پُرمصرف از نظر نیاز به نیتروژن) درنظر گرفته شد. برای همین منظور، با محاسبهٔ سطح مقطع ستون آب و خاک، بر مبنای میزان توصیه شده کاربرد کود مورد نظر در یک هکتار برای کشت گوجه‌فرنگی (Peyvast, 2003)، مقدار نیاز کودی برآورد شد. یک هفته قبل از شروع آزمایش، از کودهای مذکور در وزن‌های محاسبه شده روی سطح خاک تیمار قرار داده شد و برای جلوگیری از پخش شدن و به‌هم خوردگی درحین اجرای عملیات آبیاری، روی آن‌ها لایه‌ای از خاک به ارتفاع دو سانتی‌متر ریخته شد.

شکل ۱- ستون‌های آماده شده پس از نصب زهکش‌ها
Fig. 1- Prepared columns after drains installation

شکل ۲- چارچوب فلزی ساخته شده برای استقرار ستون‌ها
Fig. 2- Metal frame made for establishment of columns

جدول ۲- میزان نیتروژن موجود در کودها (Hashemi-Majd, 2005)
Table 2- The amount of available nitrogen in fertilizers

نوع کود Fertilizer	نیتروژن کل (درصد) Total Nitrogen (%)
اوره معمولی (Urea)	46.00
نیترات آمونیوم (Ammonium Nitrate)	34.00
اوره با پوشش گوگردی*	30.00 – 40.00
کود مرغی پوسیده (Manure poultry)	3.61

* SCU (Sulfur Coated Urea) میزان گوگرد کود در حدود ۲۰ - ۱۵ درصد است. این کود از یکی از شرکت‌های داخلی تهیه شد.

تلفات قابل توجه نیترات در زمان کاربرد کودهای شیمیایی رایج در ابتدای فصل زراعی و زمانی اتفاق می‌افتد که کود در زمین پخش شده‌است، گیاه هنوز سیستم ریشه‌ای توسعه یافته‌ای ندارد، خاک سطحی سست است و آب به روش‌های آبیاری غرقابی به‌کار برده می‌شود، از این رو این دورهٔ زمانی برای بررسی مدنظر قرار گرفت. با توجه به شرایط عمومی کشت و کار و فعالیت‌های کشاورزی در مناطقی مانند استان تهران، عملیات آبیاری در ستون‌های آزمایشی با دور آبیاری یک هفته‌ای و به صورت غرقابی سطحی اجرا شد و در همهٔ آبیاری‌ها نمونه‌برداری صورت گرفت. برای اجرای عملیات آبیاری از آب موجود در محل، پس از ذخیره آن به مدت ۴۸ ساعت استفاده شد. مشخصات آب آبیاری کاربردی در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- ویژگی‌های آب آبیاری

Table 3- Irrigation water characteristics

هدایت الکتریکی آب (دسی‌زیمنس بر متر) ECw (dS/m)	pH	نیترات (میلی‌گرم بر لیتر) Nitrate (mg/lit)	کاتیون‌ها (میلی‌اکی‌والان‌گرم بر لیتر) Cations (meq/lit)			آنیون‌ها (میلی‌اکی‌والان‌گرم بر لیتر) Anions (meq/lit)			SAR $(meq/lit)^{0.5}$
			Na^+	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	K^+	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}
1.64	7.75	14.26	2.61	14.30	0.00	6.05	6.40	6.54	0.00	0.98

حجم آب مورد استفاده در هر نوبت آبیاری به میزانی بود که بر اساس محاسبات و با توجه به بافت و تخلخل خاک، برای یک‌بار و به‌طور کامل، حجم منفذی (پوروالیوم یا به اختصار .P.V) خاک را پُر و تخلیه کند. در واقع با تعیین درصد خلل و فرج کل خاک و ضرب آن در حجم خاک موجود در هر ستون، حجم منفذی کل هر ستون (پوروالیوم) محاسبه شد. در شرایط یکسان همه ستون‌ها، این مقدار حجم برابر با ۳/۴ لیتر یا ۳۴۰۰ سانتی‌متر مکعب بود. برای بررسی دقیق‌تر روند تغییرات انتقال نیترات به عمق‌های مختلف خاک در هر آبیاری، در مقاطع مشخصی از میزان تخلیهٔ بخشی از یک پوروالیوم، نمونه زهاب تهیه می‌شد. برای این منظور، یک پوروالیوم به پنج بخش مساوی تقسیم و با ملاک قرار دادن میزان تخلیهٔ به وقوع پیوسته از زهکش واقع در کف ستون‌ها، از زهاب و در تمامی عمق‌ها نمونه‌برداری می‌شد. نحوهٔ اجرای کار به این صورت بودکه نمونهٔ اول بلافاصله بعد از خارج شدن زهاب از هر زهکش، نمونهٔ دوم با خروج یک چهارم از حجم پوروالیوم زهاب (1/4 P.V.)، نمونهٔ سوم با خروج یک دوم از حجم پوروالیوم زهاب (1/2 P.V.)، نمونهٔ چهارم با خروج سه چهارم (3/4 P.V.) و نمونهٔ پنجم هنگامی که تمامی حجم یک پوروالیوم (1 P.V.)، زهاب از زهکش تحتانی خارج شد تهیه گردید. به دلیل محدودیت امکانات و تعداد قابل توجه تیمارها و تکرارها (نمونه‌های زهاب)، پنج آبیاری متوالی اجرا شد و در تمامی آنها، از زهاب در تمامی عمق‌ها و در پنج نوبت از هر عمق نمونه‌برداری شد . در این شرایط، در هر نوبت آبیاری ۶۰ نمونهٔ زهاب از ستون‌ها و در مجموع ۱۵۰۰ نمونهٔ زهاب در مدت اجرای پژوهش تهیه و آنالیز شد. لازم است گفته شود که با توجه به سطح مقطع کوچک ستون‌ها و عمق قابل توجه سطح ایستابی برای اعمال یکبارهٔ آب آبیاری در آنها، به منظور حفظ یکنواختی در شرایط هیدرولیکی سیستم در زمان اجرای عملیات آبیاری و جلوگیری از قطع جریان آب و نفوذ هوا به داخل خاک از سطح، در تمامی مدت زمان لازم برای ورود کامل حجم آب آبیاری لحاظ شده به خاک، سطح ایستابی با عمق ثابتی در حدود ۱۰ سانتی‌متر روی سطح خاک حفظ می‌شد. کمیت نیترات در تمامی نمونه‌های زهاب از عمق‌های مختلف به روش اسپکتروفوتومتری (Kamrani, 2013) تعیین شد.

طرح آماری مورد استفاده، فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی بود. در این نوع طرح‌ها، چندین متغیر

یا منبع تغییرات قابل کنترل (در این‌جا نوع کود، نوبت آبیاری یا آبشویی، عمق و زمان نمونه‌برداری) بررسی شد. پس از آن، اختلاف معنی‌دار تیمارها با یکدیگر مقایسه شد. برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون دانکن بهره گرفته شد. تیمارهای مورد بررسی عبارت بودند از: نوع کود (در پنج نوع)، عمق نمونه-برداری (در چهار عمق)، نوبت آبیاری یا آبشویی (در پنج نوبت) و زمان‌های نمونه‌برداری در هر آبیاری (در پنج مرحله). هر یک از این عوامل در سه ستون مجزا (به عنوان تکرار) اعمال شد. برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS استفاده شد.

نتایج و بحث

آبشویی نیترات و نفوذ آن به عمق در زمین‌های کشاورزی، پس از کاربرد کود و تخلیهٔ آن به همراه زهاب، واقعه‌ای است که از عوامل مؤثر بر تلفات این نهادهٔ مهم کشاورزی به شمار می‌آید و آلودگی منابع آب سطحی، زیرزمینی و خاک را به دنبال دارد. در این پژوهش، فرآیند انتقال نیترات به عمق‌های مختلف خاک در نتیجهٔ اجرای آبیاری، با کاربرد کود اوره پوشش‌دار یا کُندرها، در مقابل سایر انواع کودهای شیمیایی و آلی معمول بررسی شد. در این خصوص علاوه بر آزمون‌های آماری، روند آبشویی نیترات در خاک به عمق‌های مختلف با رسم نمودارهایی بررسی گردید که در آنها محور افقی بیانگر مراحل (نوبت) نمونه‌برداری از زهاب و بر حسب کسری از حجم یک پوروالیوم کامل تخلیه شده از خاک، و محور عمودی نشان دهندهٔ غلظت نیترات اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها بود.

به منظور بررسی دقیق‌تر و علمی فرآیند انتقال، نتایج حاصل از آنالیز تمامی داده‌ها و تجزیهٔ واریانس آنها در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج تجزیهٔ واریانس نشان از آن دارد که هر یک از اثرهای اصلی، شامل نوع کود کاربردی، نوبت آبیاری و زمان نمونه-برداری، بر میزان نیترات اندازه‌گیری شده در نمونه‌های زهاب (آبشویی نیترات)، به لحاظ آماری در سطح یک درصد معنی‌دار است. البته غلظت نیترات در نمونه‌های زهاب تهیه شده از عمق‌های مختلف، تغییرات معنی‌داری را به لحاظ آماری از خود نشان نداد که می‌تواند در نتیجه عوامل مختلفی باشد که از جمله آنها می‌توان به انحلال‌پذیری بالای نیترات و انتقال سریع آن به عمق‌های مختلف، جریان نزدیک به اشباع آب در نیمرخ خاک در بخش قابل توجهی از زمان اجرای آزمون‌ها، نمونه‌برداری‌ها در مدت تخلیه یک حجم منفذی و سایر عوامل اشاره کرد.

جدول ۴- نتایج تجزیه و تحلیل آماری آبشویی نیترات

Table 4- Results of statistical analysis of nitrate leaching

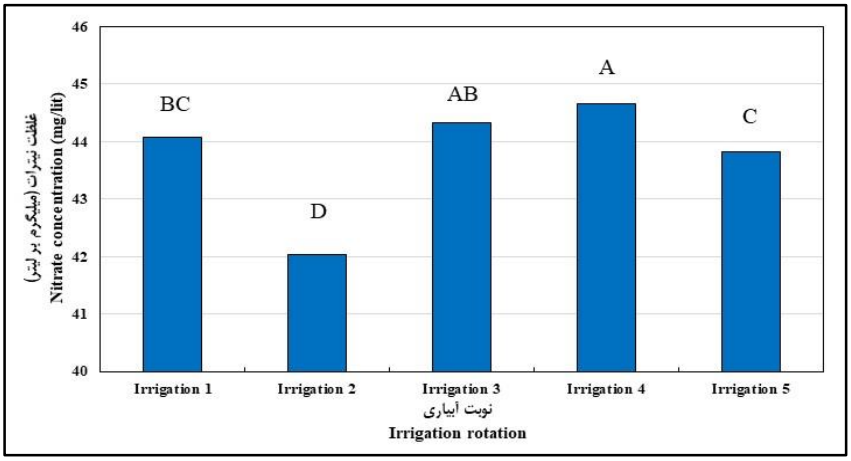
منبع تغییرات Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean square (MS)
نوبت آبیاری (Irrigation rotation)	4	317.60**
نوع کود (Fertilizer)	4	10054.94**
زمان (نمونه‌برداری) Time (sampling)	4	74.63**
عمق (نمونه‌برداری یا زهکش) Depth (sampling or drain)	3	0.87 ns
نوبت آبیاری × کود Irrigation rotation × Fertilizer	16	3187.04**
کود × زمان Fertilizer × Time	16	178.91**
زمان × نوبت آبیاری Time × Irrigation rotation	16	177.71**
نوبت آبیاری × عمق Irrigation rotation × Depth	12	6.44 ns
کود × عمق Fertilizer × Depth	12	1.94 ns
عمق × زمان Depth × Time	12	2.62 ns
نوبت آبیاری× کود× زمان Irrigation rotation × Fertilizer × Time	64	5.67 ns
نوبت آبیاری× کود× عمق Irrigation rotation × Fertilizer × Depth	48	4.43 ns
زمان× کود× عمق Time × Fertilizer × Depth	48	3.79 ns
نوبت آبیاری× کود× زمان× عمق Irrigation rotation × Fertilizer × Time × Depth	240	2.96 ns
خطا (error)	1000	7.71
ضریب تغییرات Coefficient of variation (C.V.)		6.34

** تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد ns: تفاوت معنی‌دار نیست

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها در خصوص اثرهای متقابل عوامل نشان می‌دهد که اثرهای متقابل دوگانه نوع کود در زمان نمونه‌برداری، نوبت آبیاری در نوع کود و زمان نمونه‌برداری در نوبت آبیاری، در سطح یک درصد معنی‌دار و بر فرآیند انتقال نیترات در نیمرخ خاک مؤثر است. ولی سایر اثرهای متقابل

دوگانه معنی‌دار نیست. از نظر تأثیر متقابل سه‌گانه عوامل مختلف بر یکدیگر و بر میزان آبشویی نیترات به عمق‌های مختلف خاک نیز مشاهده شد که تفاوت‌ها در هیچ یک از موارد به لحاظ آماری معنی‌دار نیست. همچنین اثر متقابل چهارگانهٔ نوبت آبیاری در نوع کود در زمان و در عمق نمونه‌برداری نیز به لحاظ آماری معنی‌دار نیست.

بررسی نتایج آنالیز آماری به لحاظ مقایسهٔ میانگین‌ها نشان می‌دهد که نوبت اجرای عملیات آبیاری اثر معنی‌داری بر میزان آبشویی نیترات در نیمرخ خاک یا غلظت نیترات خروجی از ستون‌های خاک و آب در سطح پنج درصد دارد (حرف‌های متفاوت روی هر ستون، بیان‌گر تفاوت معنی‌دار است). مطابق شکل ۳، بیشترین میزان آبشویی نیترات در آبیاری چهارم اتفاق افتاده‌است. روند تغییرات این‌گونه است که میزان آبشویی در آبیاری اول بالاست و در آبیاری دوم تا حدودی کاهش می‌یابد زیرا مقادیری از نیترات موجود در خاک از قبل به همراه بخشی از نیترات اضافه شده با کاربرد کود در آبیاری قبلی به عمق منتقل شده‌است. در آبیاری‌های سوم و چهارم، میزان آبشویی نیترات تا حدودی افزایش می‌یابد که می‌تواند در نتیجهٔ تداوم آزادسازی نیتروژن از منابع کودی و تغییر شکل آن از آمونیوم به نیترات و انتقال به عمق به‌وقوع پیوسته باشد. در آبیاری پنجم، میزان نیترات آبشویی شده نسبت به دو آبیاری قبل کاهش یافته‌است.

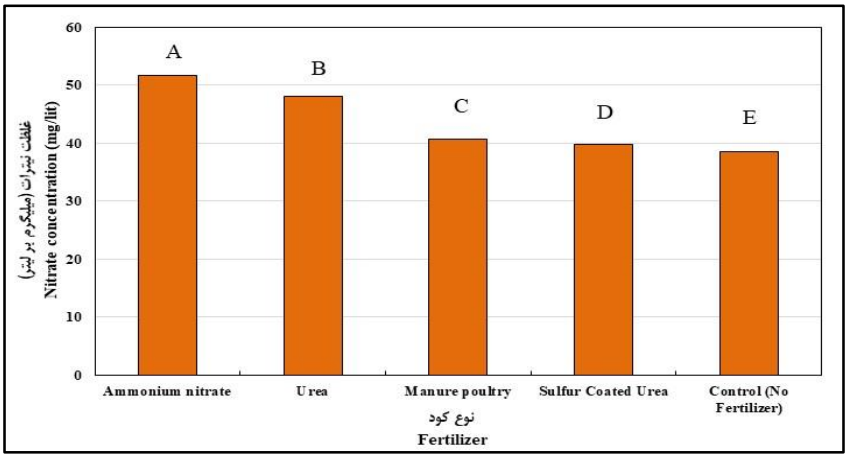


شکل ۳- اثر نوبت آبیاری بر میزان آبشویی نیترات در خاک

Fig. 3 - The effect of irrigation rotation on the amount of nitrate leaching in the soil

مطابق شکل ۴ و بر اساس نتایج آزمون دانکن، بین مقادیر نیترات آبشویی شده حاصل از کاربرد کودهای مختلف و به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد وجود دارد (حرف‌های متفاوت روی هر ستون، بیان‌گر تفاوت معنی‌دار است). کود نیترات آمونیوم بالاترین میزان انتقال نیترات در خاک را از خود نشان می‌دهد و پس از آن و به ترتیب کود اورهٔ معمولی ، کود مرغی ، کود اورهٔ پوشش‌دار و تیمار شاهد (بدون کاربرد کود) قرار دارند. کود اورهٔ معمولی پس از کود نیترات آمونیوم بیشترین رهاسازی نیترات و انتقال و آبشویی آن در خاک را دارد که تفاوت این دو به ماهیت کود و نوع نیتروژن موجود در آنها وابسته است. کود مرغی با اندک اختلافی با کود اورهٔ پوشش‌دار، نیترات کمتری

را از دو کود شیمیایی نیترات آمونیوم و اوره آزاد کرده است که آن هم علاوه بر ماهیت کود می‌تواند به میزان فعالیت‌های بیولوژیکی خاک و مدت اجرای تحقیق مربوط شود. نکتهٔ مهم این است که کود اوره پوشش‌دار به دلیل کُندرها بودن و در بازهٔ زمانی مورد بررسی، کمترین مقدار انتقال و آبشویی نیترات را در نیمرخ خاک موجب شده است. این شرایط قطعاً در ابتدای فصل کشت که گیاه در مرحلهٔ جوانه‌زدن است و احتمال بارندگی یا آبیاری در مقادیر بسیار بیشتر از نیاز گیاه جوان و بدون سیستم ریشه‌ای توسعه یافته وجود دارد، موجب تلفات بالاتر عامل مغذی در کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار رایج می‌شود. در نتیجه، کاربرد کود اورهٔ پوشش‌دار می‌تواند این تلفات را به حداقل ممکن برساند.



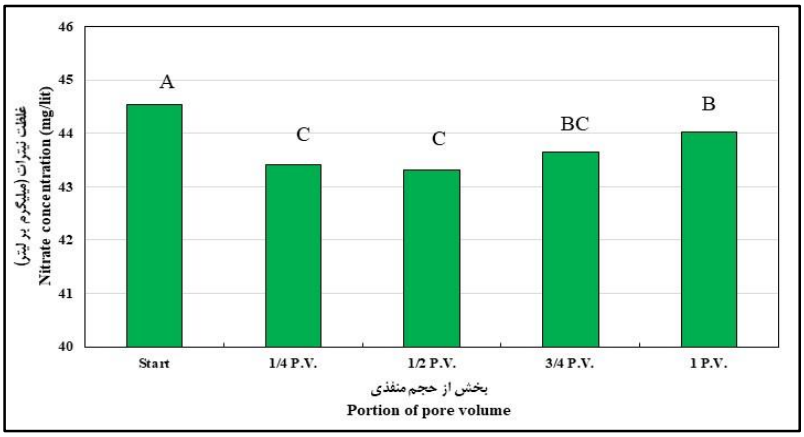
شکل ۴- اثر نوع کود کاربردی بر میزان آبشویی نیترات در خاک

Fig. 4 - The effect of the type of applied fertilizer on the leaching rate of nitrate in the soil

نیترات خروجی از ستون خاک در تیمار شاهد (بدون کود) را می‌توان به نیتروژن باقی مانده از قبل در نتیجهٔ حضور بقایای کودی در خاک، معدنی شدن بخشی از نیتروژن آلی اولیهٔ خاک و نیترات موجود در آب آبیاری مربوط دانست.

در این آزمایش، یک حجم منفذی (پوروالیوم) کامل در ستون‌های خاک و در هر نوبت آبیاری، به پنج بخش مساوی تقسیم شد و در هر آبیاری، پنج نمونه جداگانه از زهاب (در نوبت‌های اول تا پنجم) و در حجم‌های مساویِ تخلیه، از تمامی عمق‌های نصب زهکش‌ها برداشت شد. منظور از این کار بررسی روند انتقال نیترات در خاک و به عمق‌های نصب زهکش‌ها در مدت هر آبیاری بود.

در شکل ۵، نتیجهٔ آزمون میانگین‌ها از نظر اثر مرحلهٔ نمونه‌برداری از زهاب بر غلظت نیترات قابل مشاهده است (حرف‌های متفاوت روی هر ستون، بیان‌گر تفاوت معنی‌دار است).



شکل ۵- اثر زمان نمونه‌برداری بر میزان آبشویی نیترات در خاک

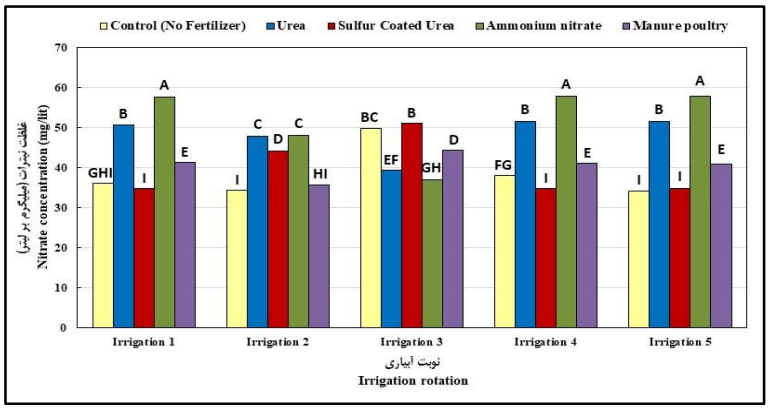
Fig. 5 – The effect of sampling time on nitrate leaching rate in the soil

همانگونه که در شکل ۵ دیده می‌شود، بیشترین غلظت نیترات در مرحلهٔ اول نمونه‌برداری (از پنج مرحله) در هر آبیاری مشاهده شد. در این نوبت، نیترات باقی‌مانده که از قبل در ستون خاک موجود بوده است، به همراه مقادیری از نیترات افزوده شده به خاک با کاربرد کود، آبشویی و از زهکش‌ها خارج شده‌است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در نوبت‌های بعدی نمونه‌برداری در هر آبیاری از میزان غلظت نیترات موجود در زهاب به‌تدریج کاسته شده است، ولی در آخرین نوبت نمونه‌برداری، میزان نیترات خروجی اندکی افزایش یافته است. به نظر می‌رسد که در این مرحله با حذف کامل هرگونه جریان ترجیحی احتمالی و عبور کامل زهاب از ماتریکس خاک، محلول قرار گرفته در بین ذرات ریزتر خاک نیز بر کیفیت زهاب اثر گذاشته و نقش آن در کنار جریان توده‌ای مؤثرتر شده است.

با توجه به نتایج آنالیزهای آماری (جدول ۴)، اثر متقابل نوبت آبیاری در نوع کود در سطح یک درصد معنی‌دار است. همان‌طور که در شکل ۶ قابل مشاهده است، کودهای مختلف در آبیاری‌های متوالی رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند (حرف‌های متفاوت روی ستون‌ها، بیان‌گر تفاوت معنی‌دار است). دو کود اوره و نیترات آمونیوم در آبیاری‌های دوم، چهارم و پنجم تقریباً بیشترین افزایش را بر غلظت نیترات در زهاب خروجی موجب شده‌اند، اما کود اورهٔ پوشش‌دار در آبیاری‌های متوالی، ابتدا روند تدریجی صعودی (در نتیجه انتقال نیترات باقی‌مانده در خاک به عمق زهکش) و سپس روند نزولی از خود نشان می‌دهد. در آبیاری دوم، بین تیمارهای کود نیترات آمونیوم و کود اوره تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود و تیمارهای کود مرغی و شاهد نیز با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند. اما بین تیمار کود اورهٔ پوشش‌دار و سایر انواع کود، تفاوتی معنی‌دار در سطح پنج درصد دیده می‌شود. در این آبیاری، تیمار کود نیترات آمونیوم و اوره، بیشترین میزان آبشویی و تیمار شاهد، کمترین مقدار آبشویی نیترات را دارد. میانگین مقادیر آبشویی نیترات در تیمار کود اورهٔ پوشش‌دار در میانهٔ کودهای نیترات آمونیوم با کود اوره و شاهد با کود مرغی قرار دارد.

در آبیاری سوم نیز بین تیمارهای کود پوشش‌دار و شاهد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، اما این دو با تیمار کود مرغی تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد از خود نشان داده‌اند. با این همه، و

در همین نوبت آبیاری، تیمار کود اوره پوشش‌دار آبشویی بیشتر و تیمار کودهای نیترات آمونیوم و اوره، آبشویی کمتری از نیترات را موجب شده‌اند. در آبیاری چهارم بین تیمارهای کاربرد کود نیترات آمونیوم، اوره و اورهٔ پوشش‌دار تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد مشاهده می‌شود، اما بین کاربرد کود مرغی با تیمار شاهد، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. با این حال در این نوبت آبیاری نیز تیمار کود نیترات آمونیوم بیشترین و تیمار شاهد و کود اوره پوشش‌دار، کمترین مقادیر آبشویی نیترات را موجب شده‌اند.



شکل ۶- اثر متقابل نوع کود و نوبت آبیاری بر فرآیند انتقال نیترات در خاک

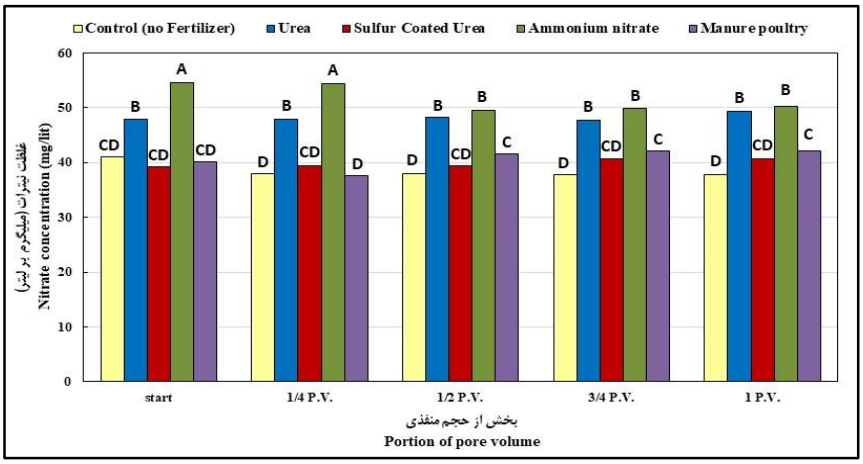
Fig. 6 – The interaction of fertilizer type and irrigation rotation on the nitrate transfer process in the soil

به‌طور کلی، بین نمونه‌های زهاب در آبیاری اول با نمونه‌های حاصل از آبیاری‌های دوم، سوم، چهارم و پنجم، تفاوت معنی‌داری وجود دارد، یعنی با گذشت زمان و در آبیاری‌های متوالی، میزان آلودگی انتقال یافته به عمق تغییر کرده و تا حدودی کاهش یافته است. میزان آلودگی ایجادشده در تیمار کاربرد نیترات آمونیوم در مجموع بیشترین و در تیمار شاهد کمترین است.

در پژوهشی که در آن به بررسی تأثیر منابع و مقادیر متفاوت نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد خیار سبز پرداخته شد، بیشترین عملکرد در کشت خیار در کاربرد تیمار اورهٔ با پوشش گوگردی و کمترین عملکرد مربوط به کاربرد کود نیترات آمونیوم بوده است (Rostamzadeh *et al.*, 2014). طبیعی است که میزان آبشویی بیشتر، رابطهٔ مستقیم با خارج شدن بیشتر کود از دسترس گیاه دارد که با یافته حاصل از تحقیق حاضر نیز همخوانی نشان می‌دهد.

با توجه به آنالیزهای آماری، اثر متقابل زمان نمونه‌برداری (یا مراحل نمونه‌برداری از زهاب در یک پورواليوم) در مقابل نوع کود در سطح پنج درصد معنی‌دار است. نتایج حاصل از آزمون مقایسهٔ میانگین‌ها در شکل ۷ قابل مشاهده است (حرف‌های متفاوت روی ستون‌ها، بیان‌گر تفاوت معنی‌دار است). برطبق نتایج آزمون میانگین‌ها، تغییرات چندان زیادی بین میزان نیترات آبشویی شده ازنظر زمان نمونه‌برداری در تخلیهٔ یک پورواليوم کامل و در یک نوع کود مشخص قابل مشاهده نیست. برای مثال در کود اورهٔ معمولی و در هر پنج مرحله نمونه‌برداری از زهاب در یک آبیاری حرف B و در کود اوره

پوشش‌دار حرف CD را دارد. اما تغییراتی از این نظر در مقایسهٔ انواع کود در یک جزء نمونه‌برداری قابل مشاهده است. در واقع کودهای نیترات آمونیوم و اوره فاصلهٔ قابل توجهی را در غلظت نیترات موجود در زهاب در هر مرحله نمونه‌برداری با سایر کودها و با تیمار شاهد از خود نشان می‌دهند. تیمارهای کود مرغی، کود اورهٔ پوشش‌دار و شاهد نیز در یک تراز آماری قرار دارند و از نظر غلظت نیترات موجود در زهاب، در مقایسه با دو کود دیگر، کاهش معنی‌داری در سطح پنج درصد از خود نشان دادند.

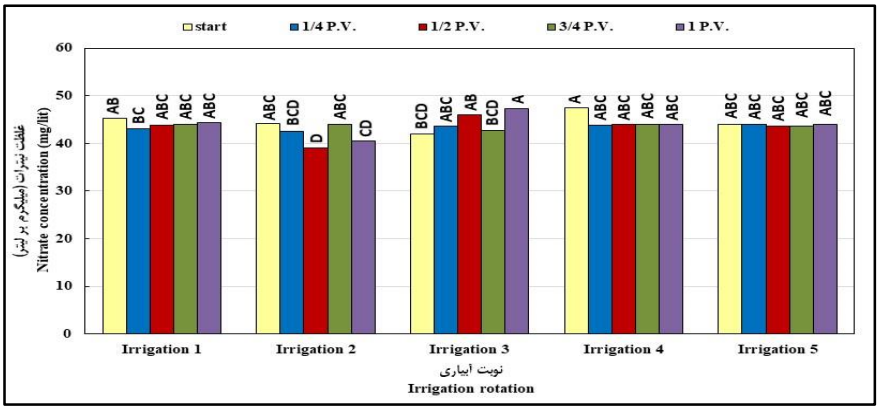


شکل ۷- اثر متقابل نوع کود و زمان نمونه‌برداری بر فرآیند انتقال نیترات در خاک

Fig. 7 - The interaction of fertilizer type and sampling time on the nitrate transfer process in the soil

با توجه به آنالیزهای آماری، و همان‌گونه که در شکل ۸ دیده می‌شود، اگرچه اثرهای متقابل نوبت آبیاری در زمان نمونه‌برداری (یا مراحل نمونه‌برداری در یک پوروالیوم) در آنالیز واریانس معنی‌دار است، اما مقادیر میانگین‌ها در بررسی اثر متقابل آنها عمدتاً نزدیک به هم‌اند و گاهی تمایز قائل شدن بین آنها به سختی میسر است. بر اساس نتایج حاصل از آزمون مقایسهٔ میانگین‌ها در این شکل، در آبیاری اول و به‌طور کلی تغییراتی در میزان نیترات آبشویی شده در نمونه‌برداری‌های متوالی تا تخلیهٔ یک پوروالیوم کامل مشاهده نمی‌شود و مقادیر بین ۴۳/۰۸ تا ۴۵/۲۲ میلی‌گرم بر لیتر در نوسان است. در آبیاری دوم تفاوت‌ها تا حدودی آشکارتر است و کمترین مقدار میانگین آبشویی نیترات در کل داده‌ها، در این آبیاری و در نمونه‌برداری سوم آن، با کمیت ۳۹/۰۲ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده می‌شود. بیشترین مقدار نیز برابر با ۴۴/۰۹ میلی‌گرم بر لیتر است که در اولین نمونه‌برداری این آبیاری به دست آمده‌است. در آبیاری سوم، تغییرات در میزان نیترات آبشویی شده در نمونه‌برداری‌های متوالی تا تخلیه یک پوروالیوم کامل تا حدودی معنی‌دار است. در این آبیاری، بیشترین مقدار میانگین آبشویی نیترات در آخرین نمونه‌برداری مشاهده می‌شود که برابر با ۴۷/۳۲ میلی‌گرم بر لیتر است. کمترین مقدار نیز به نمونه‌برداری اول و با کمیت ۴۱/۹ میلی‌گرم بر لیتر اختصاص دارد. در آبیاری چهارم، تغییرات در میزان نیترات آبشویی شده در نمونه‌برداری‌های متوالی تا تخلیهٔ یک پوروالیوم کامل آنچنان معنی‌دار نیست. در این آبیاری، بیشترین مقدار میانگین آبشویی نیترات در اولین نمونه‌برداری مشاهده شده که برابر

با ۴۷/۴ میلی‌گرم بر لیتر است و در بقیهٔ نمونه‌برداری‌ها مقادیر نزدیک به هم مشاهده می‌شود. در آبیاری پنجم، تفاوت معنی‌داری بین مقادیر میانگین آبشویی نیترات در نمونه‌برداری‌های مختلف قابل مشاهده نیست و تمام حروف معنی‌داری در سطح پنج درصد، در یک سطح مشابه قرار دارند و مقادیر بین ۴۳/۵۹ تا ۴۴/۰۳ میلی‌گرم بر لیتر در نوسان است.



شکل ۸- اثر متقابل نوبت آبیاری و زمان نمونه‌برداری بر فرآیند انتقال نیترات در خاک

Fig. 8 - The interaction of irrigation rotation and sampling time on the nitrate transfer process in the soil

مقادیر میانگین نیترات آبشویی شده در هر آبیاری و در تمامی نمونه‌برداری‌ها از روی نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها به روش دانکن محاسبه شد. این مقادیر در آبیاری اول تا پنجم به ترتیب برابر با ۴۴/۰۸، ۴۲/۰۳، ۴۴/۳۲، ۴۴/۶۶ و ۴۳/۸۳ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد. همین محاسبات روی مقادیر حاصل از آنالیز میانگین‌ها و این بار بر اساس مقادیر در هر مرحله نمونه‌برداری در تمامی آبیاری‌ها اجرا شد. این مقادیر در نمونه‌برداری اول تا پنجم به ترتیب برابر با ۴۴/۵۳، ۴۳/۴۱، ۴۳/۳۲، ۴۳/۶۳ و ۴۴/۰۳ میلی‌گرم بر لیتر است که نوسان زیادی از خود نشان نمی‌دهند.

درکل و مطابق با نتایج و تحلیل‌های مختلفی که تاکنون ارائه شده‌است، میزان آلودگی نیترات ایجاد شده از تیمارهای مختلف کودی به این ترتیب است که کود نیترات آمونیوم بیشترین میزان انتقال نیتروژن و تیمار شاهد (بدون کاربرد کود) کمترین آن را به‌دست داده‌اند. تیمارهای کود اروه، کود مرغی و کود اورهٔ پوشش‌دار بین دو تیمار فوق‌الذکر قراردارند. قابل توجه این است که براساس نتایج حاصل از یک پژوهش، پوشش گیاهی به دلیل جذب نیترات، باعث کاهش میزان شستشو و انتقال این عامل به عمق خاک می‌شود (Cepuder & Shukla, 2002). بنابراین در پژوهش حاضر و با عنایت به اینکه گیاه در ستون‌های آب و خاک کشت نشده است، میزان انتقال نیترات به عمق نصب زهکش‌های تحتانی و در واقع به عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی، بیشترین است و به نوعی این فرآیند شبیه‌سازی وقوع بدترین شرایط ممکن در انتقال نیترات به عمق خاک است. در این خصوص و در پژوهشی، اثرهای کاربرد کمپوست، کود حیوانی و کود معدنی در خاک بر آبشویی نیترات در دو محصول ذرت و یونجه در میشیگان بررسی شد. این تحقیق دارای تیمارهای کودی شامل شاهد (بدون

کود)، کمپوست، کود حیوانی و کود معدنی بود. برای تأمین ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، به میزان ۱۸ تن کود حیوانی، ۳۰ تن کود کمپوست و ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌کار برده شد. نتایج، تفاوت معنی‌داری را در عملکرد محصول بین تیمارهای مختلف نشان نداد، اما مقدار آبشویی نیترات در کاربرد کود حیوانی ۵۵ کیلوگرم در هکتار، کمپوست ۳۵ و کود معدنی ۳۳ کیلوگرم در هکتار و تیمار بدون کود ۲۷ کیلوگرم در هکتار بود (Basso & Ritchie, 2005). پس، حضور گیاه و به ویژه گیاهان با نیاز بالای نیتروژن در مراحل رشد رویشی خود قادر به اثرگذاری مؤثر بر میزان آبشویی نیترات و کاهش آن در کاربرد کودهای معدنی هستند.

در پژوهشی دیگر، توجیه اقتصادی و بالابودن کارایی نیتروژن درکاربرد کودهای نیتروژنی پوشش‌دار در کاشت سیب‌زمینی، با سنجش ویژگی‌های غلظت نیتروژن برگ، خاک و عملکرد غده، در مقایسه با کود اوره معمولی به اثبات رسید (Ziaeyan & Keshavarz, 2011). توجه به این نکتهٔ مهم نیز ضروری است که در پژوهشی به‌منظور بررسی اثر کاربرد گوگرد در کشاورزی بر جذب عناصر کم‌مصرف توسط گیاهان مشاهده شد که گوگرد به‌طور میانگین میزان جذب عنصر روی از خاک را در گیاهان تا ۲/۳ برابر افزایش می‌دهد (Najafi *et al.*, 2013) که می‌توان آن را جزو اثرهای جانبی و مثبت کاربرد کود اورهٔ پوشش‌دار دارای پوشش گوگردی نیز به حساب آورد.

در ارزیابی پاسخ سیب‌زمینی به کاربرد کود اورهٔ پوشش‌دار مشاهده شد که در نتیجهٔ آبشویی کمتر نیتروژن، مقادیر کارایی نیتروژن و عملکرد غده در سیب‌زمینی با کاربرد این نوع کود شیمیایی بیشتر است. غلظت نیترات تجمع یافته درغده‌های سیب‌زمینی نیز که معیار کیفی ارزیابی غده‌هاست، در تیمارهای کودی نانوکلات و اورهٔ پوشش‌دار به مراتب کمتر است تا در تیمارهای کودی اوره معمولی. این موضوع توانایی کودهای نانو و پوشش‌دار را در رهاسازی کنترل شدهٔ عناصر غذایی، ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی کمتر و رسانش آسان و ایمن عناصر غذایی به گیاهان نشان می‌دهد (Zvomuya *et al.*, 2002). در پژوهشی دیگر با ارزیابی پاسخ سیب‌زمینی به کاربرد کود اورهٔ معمولی، در مقایسه با کود اورهٔ پوشش‌دار، مشاهده شد که پوشش‌دار کردن کود با ایجاد قابلیت تنظیم در رهاسازی عناصر غذایی، باعث آزادسازی آهسته و مداوم نیتروژن خواهد شد (Liu-Feng *et al.*, 2006).

در مورد تأثیر کاربرد نانوکودهای نیتروژن‌دار و اوره بر عملکرد و کارایی نیتروژن در کشت سیب‌زمینی، نتیجهٔ یک پژوهش نشان داد که با کاربرد کودهای نانویی و پوشش‌دار، بدون آنکه کاربرد نیتروژن نسبت به مقدار نیتروژن کاربردی در تیمار کود اوره افزایش یابد، کارایی نیتروژن در کشت سیب‌زمینی افزایش می‌یابد. بیشترین عملکرد در کشت سیب‌زمینی مربوط به کاربرد کود نانوکیلیت نیتروژن و اورهٔ پوشش‌دار و کمترین عملکرد درکاربرد کود اورهٔ معمولی حاصل شده‌است. بیشترین تجمع نیتروژن در غده با کاربرد کود اوره و کمترین تجمع آن در تیمار کاربرد کود اورهٔ پوشش‌دار رخ داده‌است. بیشترین آبشویی نیتروژن نیز در کاربرد کود اوره و کمترین آن در کاربرد اورهٔ پوشش‌دار مشاهده شده است. تأثیر کاربرد نانوکودهای اوره و اورهٔ معمولی بر عملکرد و کارایی نیتروژن و آبشویی آن درکشت سیب‌زمینی نیز

بررسی شد و نتایج به‌دست آمده نشان داد که افزایش میزان جذب نیتروژن توسط گیاه در سطوح مختلف تیمار کودی نانوکیلیت، موجب انتقال کمتر نیترات به عمق و کاهش پتانسیل آبشویی می‌شود. در عین حال میزان محصول به عنوان مهم‌ترین مؤلفهٔ اقتصادی در زراعت، در سطوح مختلف تیمار کود نانوکیلیت به صورت معنی‌دار افزایشی و در تیمار کود اورهٔ معمولی غیر معنی‌دار کاهشی بود (Bayat Varkeshi *et al.*, 2017). در پژوهش دیگر روی آبشویی نیتروژن مشاهده شد که کم بودن درصد جذب نیتروژن در کاربرد کود اورهٔ معمولی نتیجهٔ هدر رفت آن از طریق تصعید، آبشویی و انحلال در رواناب سطحی نیز هست (Fan *et al.*, 2004).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهشنشان داد که کاربرد کود پوشش‌دار توانسته است انتقال نیترات به عمق خاک را در مراحل ابتدایی رشد گیاه (با سیستم ریشه‌ای بسیار محدود و خاک سست) به‌شکلی قابل‌توجه کاهش دهد. در شرایط کنترل شده و کاملاً مشابه، کود نیترات آمونیوم با میانگین غلظت ۵۱/۶۷ میلی‌گرم بر لیتر، بیشترین میزان انتقال نیترات به عمق نصب زهکش انتهایی ستون‌ها را در پی داشته‌است و در رتبه‌های بعدی، کود اوره و کود مرغی قرار دارند. کمترین میزان انتقال نیترات هم در خاک، با کاربرد کود اورهٔ پوشش‌دار (با میانگین ۳۹/۸۸ میلی‌گرم بر لیتر) به‌وقوع پیوست و تفاوت‌ها قابل توجه است. این تفاوت‌ها طی یک فصل زراعی منجر به اختلاف چشمگیری در غلظت و مجموع جرم آلاینده نیترات تخلیه شده به منابع پذیرنده و محیط زیست می‌شود. این مورد از آنجا مهم است که در شرایط مزرعه‌ای و در مناطقی همچون استان خوزستان، با کاربرد آب آبیاری قابل‌توجه، کشت و کار گسترده وسیعی از انواع گیاهان زراعی با نیازهای آبی بالا مانند نیشکر، و اجرای شبکه‌های بزرگ آبیاری و زهکشی زیرزمینی، توجه و به‌کارگیری این یافته می‌تواند کمک شایانی به جلوگیری از انتقال بیش از حد آلایندهٔ نیترات در خاک‌های کشاورزی و ورود آن به منابع آب سطحی و زیرزمینی تدارک بیند. در نتیجهٔ کاهش هدر رفت این ترکیب کودی ارزشمند، فرصت لازم برای جذب بیشتر کود توسط گیاهان به وجود می‌آید که به افزایش بهره‌وری کود در زراعت و استفادهٔ بهتر از سرمایه‌های ملی خواهد انجامید. پیشنهاد می‌شود در آزمون‌های آتی اثر تراکم خاک و کشت گیاه، به ویژه در بلندمدت، بررسی و با نتایج پژوهش حاضر مقایسه شود.

مراجع

Afrous, A.Sh., Liaghat, A., Sotudehnia, A. & Bashlideh, H. (2007). Groundwater pollution by agricultural fertilizers (case study of Qazvin Plain). National Conference on Irrigation and Drainage Network Management, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahwvaz, Iran (in Persian).

Akhlaghi, K. (2009). Formulation and manufacture of suitable sealant for use in the production process of sulfur coated urea fertilizer. Proceedings of the First Iranian Petrochemical Conference, National Company of Petrochemical Industries, Tehran, Iran (in Persian).

Basso, B. & Ritchie, J.T. (2005). Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for 6-years maize-alfalfa retention in Michigan. Agriculture, Ecosystems and Environmant, 108: 329-341.

Bayat Varkeshi, M., Zareabyaneh, H. & Mahdavi, Sh. (2017). Effect of Nano fertilizers and urea on yield and nitrogen efficiency in potatoes. Journal of Agrology, 7(1): 81-95.

Bubbar, L.I. and Zak, D.R. 1996. Nitrogen losses from agro ecosystem in Costarica: Leaching & denitrification in the presence and absence of shade trees. Journal of Environmental Quality, (24): 227 – 235.

Bybordi, M., Malakouti, M.J., Amir-Mokri, H. & Nafisi, M. (2000). Optimum production and consumption of chemical fertilizers in line with sustainable agricultural goals. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Pub. of Agricultural Education (in Persian).

Cepuder, P. and Shukla, M.K. (2002). Groundwater nitrate in Austria: A case study in Tullnerfeld. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 64: 301-315.

Collure, S., Comtie, R., Robertson, A., Rose, C. and Shdbolt, N. (2002). Human health risks associated with manure (Form http://wvlc.uwaterloo.Ca/ biology447/ Assignment3 Submissions/ 44702ass3/ topic9/ example1). Egyptian Oceanologia, 46(1): 25-44.

Fan, X., Li, F. & Kumar, D. (2004). Fertilization with a new type of coated urea; Evaluation for nitrogen efficiency & yield in winter wheat. Plant Nutrition, 25: 853-865.

Galloway, J.N., Dentener, F.J., Capone, D.G., Boyer, E.W., Howarth, R.W., Seitzinger, S.P., Clevelan, G.P., Green, C., Holland, P.E., Karl, D.M., Michaels, A.F., Porter, J.H. & Vorosmarty, A. (2004). Nitrogen cycles; past, present & future. Biogeochemistry, 70(2): 153-226.

Hashemi-Majd, K. (2005). Soil fertility and fertilizers (an introduction to nutrient management). Aaeizh Pub., Tehran (in Persian).

Hassanoghli, A. (2020). Determination of nitrate leaching to soil depth using sugarcane Biochar and slow-release fertilizer. Final Research Report, Agricultural Engineering Research Institute. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Karaj, Iran (in Persian).

Hassanoghli, A. (2011). Investigation of mineral and biological contaminants transport caused by organic fertilizers through different soils texture via irrigation. Final Research Report, Agricultural Engineering Research Institute. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Karaj, Iran (in Persian).

Heumann, S., Bottcher, J. and Spring, G. (2002). Mineralization parameter of sandy arable soils. Journal of Plant Nutrient, 166 (2): 308 – 318.

Kamrani, J. (2013). Investigating of controlled drainage on reducing the amount of drain water and nitrate amount and the yield of corn. M.Sc. Thesis, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran (in Persian).

Keshavarz, P. & Malakouti, M.J. (2007). An attitude on soil fertility in Iran. Sana Pub. (in Persian).

Kimetu, J.M., Mugendi, D.N., Bationo, A, Palm, C.A., Mutuo, P.K., Kihara, J., Nnaudwa, S. and Giller, K. (2006). Parhul balance of nitrogen in Maize cropping system in humic nitisol. Nutrient Cycling in Agroecosystems, (76): 261 - 270.

Liu-Feng, Z., Zhang, S., Zhang, J., Iao, Q. & Wang, Y. (2006). Preparation and testing of cementing nano-subnano composites of slower controlled release of fertilizers. Journal of Scientia Agricultura Sinica, (39): 1598-1604.

Malakouti, M.J. & Nafisi, M. (1998). The necessity of production and consumption of agricultural sulfur to increase the quantity and quality of agricultural products. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Pub. of Agricultural Education, Technical note No. 22 (in Persian).

Masoudifar, S. (2013). Chemical modification of lignin with oxalic acid to be used as a coating to produce urea release control fertilizer. M.Sc. Thesis, Department of Chemical Engineering, Razi University, Iran (in Persian).

Najafi, S., Mirseyed Hosseini, H. & Alaee, E. (2012). Study of the effect of micronutrient enriched sulfur fertilizer application in a calcareous soil. Journal of Water & Soil, 26(1): 95-101 (in Persian).

Nielsen, D.R. and Bigger, J.W. 1960. Miscible displacement in soil, I. Experimental information. *Soil Science Society of America Journal, 25*(1): 1-5.

Peterson, E.W., Davis, R.K., Brahana, J.V. and Orndorff, H.A. 2002. Movement of nitrate through regolith covered karst teraane, northwest Arkansas. Journal of Hydrology. 256(1-2): 35-47.

Peyvast, Gh. (2003). Olericulture. Agricultural Sciences Pub., 2nd edition, Tehran (in Persian).

Rostamzadeh, A., Golchin, A. & Mohammadi, J. (2014). The effects of different sources and rates of nitrogen on nitrogen use efficiency and cucumber yield. Water and Soil Science, 23 (1): 15-26 (in Persian).

Shivay, Y.S., Parsad, R. and Pal Shingh, M. 2015. Effect of Nitrogen Levels and Coated Urea on Growth, Yields and Nitrogen Use Efficiency in Aromatic Rice. Journal of Plant Nutrition, 39(6): 875-882.

Siadati Moghadam, M.J. (2005). Groundwater quality model of Mashhad. M.Sc. Thesis, Faculty of Civil Engineering, Khajeh-Nasir University, Iran (in Persian).

Stite, W. and Kraft, G.J. (2000). Groundwater quality beneath irrigated vegetable fields in North-Central US sand plain. Environmental Quality, 29(5):1509-1517.

Tajner-Czopek, A., Jarge-Czyszka, M. & Lisinska, G. (2008). Changes in Glycoalkaloids content of potatoes destined for consumption. Food Chemistry, 106 (2): 706 – 711.

Varavipour, M. (2005). General geology. Payam-e Noor University Pub. (in Persian).

Zare Abyaneh, H. & Bayat Varkeshi, M. (2015). Effects of slow-release fertilizer on nitrate leaching and its distribution in soil profile, N-use effecting and yield in potato crop. Environmental Earth Sciences, (74): 3385-3393.

Ziaeyan, A.H. & Keshavarz, P. (2011). Increasing nitrogen use efficiency in potato by application of slow release N- fertilizers. Iranian Journal of Soil Research, 25(2): 107-111.

Zvomuya, F., Roson, C.J., Russelle, M.P. & Gupta, S.C. (2002). Nitrate leaching & recovery following application of polyolefin coated urea to potato. Jornal of plant Nutrition, 20: 989 – 1001.

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.23/No.87/ Summer 2022/P:77-98

The Effect of Using Coated Urea on the Process of Nitrate Transfer to Different Soil Depths Compared to Some Types of Common Fertilizers

A. Hassanoghli*, Z. Heidaryzad, M. Mashal and M. Varavipoor

* Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Alborz, Iran. Email: arho49@yahoo.com
Received: 28 August 2022, Accepted: 23 October 2022

Extended Abstract

Introduction

In today's agriculture, the use of different chemical and organic fertilizers is inevitable via to adding the amount of production. However, in some cases, application of fertilizers could result to introduce of some pollutants such as nitrates into the environment and water and soil resources. In such a condition, the application of urea coated fertilizers or slow released may cause less pollution. In this research, the amount of nitrate transport in soil profile was investigated due to the application of some common chemical and organic fertilizers in comparison with slow release urea (sulfur coated) fertilizer (SCU).

Methodology

For this purpose, 15 cylindrical columns of soil and water, with a height of 150 cm and a diameter of 10 cm were designed, constructed and used. The columns were filled up to a height of 120 cm with a sandy loam soil. Drainages were installed at different depths of the columns. The amount of applied fertilizers was calculated and applied based on the amount of nitrogen required for the tomato plant. In this research, a statistical factorial with completely randomized design was used to study the factors including: type of fertilizer (no fertilizer as control treatment, urea, ammonium nitrate, coated urea and poultry manure); sampling depth of drainage water (30, 60 , 90 and 120 cm from the soil surface); irrigation rotation (5 times) and sampling intervals in each irrigation (5 times based on specific volumes of drainage water discharge of a complete purvolum of soil) with three replications.

Results and Discussion

The results of the analysis of variance indicated that the effects of the type of applied fertilizer, irrigation rotation and sampling time on the amount of nitrate measured in the effluent samples (nitrate leaching) were statistically significant at the 1% level. But nitrate concentration in the samples prepared from the different depths did not show significant changes. Investigating the mean values of nitrates in drainage water showed that nitrate transfer to soil depth was the highest in ammonium nitrate application (with a mean of 51.67 mg/l) and was the lowest in control treatment (with a mean of 38.39 mg/l). Also, urea fertilizers (with a mean of 48.16 mg/l), poultry (with a mean of 40.70 mg/l) and coated urea (with a mean of 39.88 mg/l) were placed in between them, respectively, and the differences were statistically significant at one percent level.

Conclusions

In general, application of coated urea (SCU) fertilizer could have a clear effect on reducing nitrate leaching to soil depth, especially in the condition of this research and in comparison with other types of common fertilizers.

Keywords: Chemical fertilizer, Drainage, Leaching, Nitrate pollution, Sulfur coated urea, poultry manure