نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۵، ص. ۱۵۹۴-۱۵۸۴

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 5, Nov.-Dec. 2016, p. 1584-1594

بررسی تأثیر مصرف تقسیطی کود اوره بر تلفات نیتروژن در کودآبیاری جویچه‌ای

فرید فیض‌اله‌پور[1*]- مهدی کوچک‌زاده[2]- فریبرز عباسی[3]- محمد نبی غیبی[4] - رجب چوگان[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۳۰

چکیده

کود آبیاری به دلیل امکان مصرف تقسیطی عناصر غذایی روشی مؤثر برای افزایش کار آیی مصرف آب و کود و کاهش تلفات کودهای نیتروژنی است. در پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر مصرف تقسیطی کود اوره در کودآبیاری جویچه‌ای بر تلفات کود، تحقیقی بر روی ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۲۶۰ در مزرعه پژوهشی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج) در سال زراعی ۱۳۹۲ انجام شد. این آزمایش شامل ۷ تیمار به‌صورت یک تیمار پخش سطحی کود و شش تیمار کودآبیاری بود و در چهار تکرار انجام گردید. طرح آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا گردید. فاکتور اول (S) شامل دو سطح تقسیط کود اوره (سه و چهار تقسیطی) و فاکتور دوم (N) شامل سه سطح کودی (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد توصیه کودی) بود. تیمارهای کودآبیاری در نهایت با روش کود دهی سطحی مورد مقایسه قرار گرفتند. کود مورد نیاز در تیمار سنتی در دو تقسیط مساوی و به‌صورت پخش سطحی به خاک اضافه گردید. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، درصد تلفات نیتروژن از طریق رواناب سطحی، تحت تأثیر مقدار کود مصرفی و اثر متقابل آن با تقسیط کود قرار گرفت. بیشترین تلفات نیتروژن توسط رواناب، در سطح کودی ۱۰۰ درصد اتفاق افتاد و تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۶۰ و ۸۰ درصد توصیه کودی حاصل نشد. از لحاظ درصد نیتروژن باقی‌مانده در خاک، تیمار سنتی با روش پخش سطحی کود، دارای بیش‌ترین مقدار نیتروژن موجود در خاک بعد از آزمایشات کودآبیاری بود. علاوه بر این در بررسی اثر متقابل تقسیط و مقدار کود مصرفی مشاهده شد که با کاربرد تنها ۶۰ درصد توصیه کودی طی چهار تقسیط مساوی در طول فصل رشد، می‌توان ضمن دست‌یابی به عملکرد مطلوب، میزان آلودگی زیست‌محیطی را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: پخش سطحی، ذرت، رواناب، کارآیی مصرف کود

مقدمه

آلودگی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی در اثر استفاده بی‌رویه از سموم، کودهای شیمیایی و تخلیه غیراصولی زهاب‌ها حاصل می‌شود. از آن‌جایی که پخش آلودگی در بخش کشاورزی به‌صورت نامتمرکز انجام می‌گیرد، کنترل و مدیریت آن دشوار بوده و تنها از طریق روش‌های مدیریتی مناسب و آموزش میسر خواهد بود (۱۷).

از میان کودهای شیمیایی، کودهای نیتروژنی سهم عمده‌ای در آلودگی منابع آب و خاک دارند. چرا که یون‌های آمونیومی و نیتراتی با قابلیت انحلال‌پذیری بالا بوده و به‌راحتی در خاک جابجا می‌شود. افزایش غلظت نیترات در منابع آب زیرزمینی، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر سلامت انسان تأثیرگذار است. تاکنون تدابیر مختلفی به‌منظور کاهش تلفات نیتروژن از مزارع ارائه شده است که از جمله این مدیریت‌ها می‌توان به کاهش میزان مصرف کودهای نیتروژنه، کود دهی صحیح و به‌موقع، بهبود عملکرد سیستم‌های آبیاری، استفاده از گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن (بقولات)، بالا بردن کیفیت کود، مکانیزه کردن کشاورزی، افزایش فاصله زهکش‌ها و کنترل سطح ایستابی با استفاده از زهکشی کنترل‌شده، اشاره نمود (۲).

روش کود دهی نقش مهمی در استفاده بهینه از کود و افزایش کارآیی مصرف آن دارد. کودآبیاری به دلیل امکان مصرف تقسیطی عناصر غذایی، یکنواختی در توزیع، قابلیت مکانیزاسیون و مدیریت آسان‌تر، به عنوان یک روش مدیریتی کارا در کود دهی توصیه می‌شود. مطالعات متعددی به‌منظور بررسی تأثیر کودآبیاری و کاربرد تقسیطی کود بر عملکرد گیاه و کارآیی مصرف کود صورت گرفته است (۶ و ۱۱). نتایج این تحقیقات نشان داده است که کودآبیاری نسبت به روش‌های سنتی پخش کود، باعث افزایش عملکرد و کارآیی

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی و دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس
(*- نویسنده مسئول: Email: f_feizolahpour@yahoo.com)
۳- استاد موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
۴- استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب
۵- استاد موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر

مصرف کود می‌شود. در بررسی اثر مصرف تقسیطی کود، یانگ و همکاران (۲۱) با کاربرد کود در مراحل قبل از کشت، گلدهی و اوج گلدهی نتیجه گرفتند که کاربرد بیشتر نیتروژن در مرحله آخر منجر به افزایش عملکرد، شاخص برداشت و بیوماس پنبه می‌شود. پلی‌کروناکی و همکاران (۱۸) گزارش کردند با مصرف تقسیطی نیتروژن و کاربرد نصف کود در زمان جوانه‌زنی، بیشترین عملکرد دانه و کمترین تلفات نیترات از مزرعه حاصل می‌شود.

مطالعاتی که تاکنون بر روی تأثیر آبیاری بر انتقال املاح صورت گرفته است، نشان می دهد که انتقال املاح به طور محسوسی از خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک، روش و رژیم آبیاری و نحوه کاربرد کود (میزان، زمان و نحوه تزریق) تأثیر می‌پذیرد. لرسچ و همکاران (۱۴) به این نتیجه رسیدند که کودآبیاری در جویچه‌های یک در میان نسبت به کودآبیاری جویچه‌های کنار هم، باعث کاهش تلفات کود به‌صورت آبشویی می‌شود. باترز و همکاران (۸) نشان دادند که در آبیاری جویچه‌ای روی خطوط تراز به دلیل یکنواختی حرکت آب در سطح خاک و توزیع یکنواخت نیترات در پروفیل خاک میزان آبشویی آن کاهش می‌یابد. زوو و همکاران (۲۲) مشاهده کردند که استفاده از کودآبیاری در آبیاری قطره‌ای در مقایسه با روش پخش سطحی، تلفات نیترات را کاهش و مقدار نیترات معدنی شده در خاک را افزایش می‌دهد. قیصری و همکاران (۱۰) گزارش کردند که کودآبیاری در آبیاری بارانی میزان آبشویی نیترات را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که در تیمارهای کم آبیاری، تلفات نیترات از طریق آبشویی قابل اغماض بوده و در تیمارهایی که آب آبیاری بیشتر از نیاز آبی گیاه بود، مصرف بیشتر کود نیتراتی باعث افزایش شدت آبشویی نیترات می‌شود. ابراهیمیان و همکاران (۹) با بررسی تلفات نیترات در دو رژیم آبیاری جویچه‌ای یک در میان (ثابت و متغیر) تحت شرایط کودآبیاری به این نتیجه رسیدند که در روش کودآبیاری جویچه‌ای یک در میان متغیر، تلفات آب و کود کاهش می‌یابد. نتایج آزمایشات محسنی و همکاران (۱۶) بیانگر آن بود که به مقدار قابل توجهی تلفات عمقی نیترات در کودآبیاری نسبت به روش پخش سطحی کاهش می‌یابد. در بررسی اثر زمان تزریق کود، سابیلون و مرکلی (۲۰) با شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در آبیاری جویچه‌ای نشان دادند که برای کاهش تلفات کود، بهترین مدت زمان تزریق کود بین ۵ تا ۱۵ درصد کل زمان آبیاری می‌باشد. هو و همکاران (۱۲) در آزمایشی سه سطح زمان تزریق کود در ابتدا، وسط و انتهای آبیاری در نظر گرفتند. بر اساس نتایج حاصل، کودآبیاری با تزریق کود در ابتدای آبیاری از بیشترین عملکرد و برداشت نیتروژن برخوردار بوده ولی تلفات کود نیتروژنی در آن حداکثر بوده است. درحالی‌که در آزمایش با تزریق کود در انتهای آبیاری میزان تلفات کود کاهش یافته و میزان عملکرد و برداشت نیتروژن در آن نیز حداقل بود. همچنین جلینی و عباسی (۱۳) نیز به این نتیجه رسیدند که، تزریق کود در تمام مدت زمان آبیاری و یا تزریق کود در نیمه دوم آبیاری منجر به یکنواختی توزیع بالای کود می‌گردد.

تاکنون مدل‌های متعددی برای شبیه‌سازی انتقال نیترات با در نظر گرفتن شرایط حاکم بر جریان آب و انتقال املاح تحت سناریوهای مدیریتی مختلف ارائه شده است. ترکیب کودآبیاری با آبیاری موجی می‌تواند روشی مناسب برای کاهش تلفات آبشویی نیترات باشد. یک مدل کامپیوتری به نام SIFUM[1] برای شبیه‌سازی توزیع یکنواختی و تلفات رواناب نیتروژن در آبیاری موجی ارائه شده است (۷). برای تعیین آبشویی نیتروژن، مدل‌های زیادی نظیر، HYDRUS-1D، TDNIT، NCSWAP، LEACHM، FEMWATER، SOILN، SESOIL، NFLOOD و HYDRUS-2D ارائه شده است (۱۵). پارامترهای ورودی این مدل‌ها شامل خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و هیدرولیکی خاک و اجزاء انتقالی نیتروژن، اطلاعات محیطی، اقلیمی و مدیریت گیاه می‌باشند. عباسی و همکاران (۱) یک مدل ریاضی برای ارزیابی کودآبیاری جویچه‌ای بر اساس ترکیب یک مدل جریان سطحی آب (مدل اینرسی صفر) و یک مدل انتقال املاح روی سطح خاک (معادله انتقال–انتشار یک بعدی) ارائه کردند. نوابیان (۱۷) یک مدل جامع شبیه‌ساز- بهینه‌ساز کودآبیاری جویچه‌ای برای آبیاری با رژیم جریان ثابت و رژیم کاهش جریان ارائه کرد. این مدل با بهینه کردن دبی ورودی، زمان قطع جریان، زمان شروع و مدت زمان تزریق کود، میزان تلفات کود از طریق رواناب سطحی و نفوذ عمقی را کمینه می‌کند.

به‌طورکلی پژوهش‌هایی که تاکنون در زمینه کودآبیاری سطحی انجام شده است، اغلب مسائلی مربوط به اهمیت کودآبیاری، برآورد میزان تلفات کود به‌صورت رواناب و نفوذ عمقی و تعیین یکنواختی کود تحت مدیریت‌های آبیاری و کودآبیاری مختلف را اغلب بدون در نظر گرفتن نقش گیاه مورد بررسی و مقایسه قرار دادند و کمتر به مسائلی همچون اثر مصرف تقسیطی کود در دوره‌های مختلف رشد گیاه بر تلفات کود و عملکرد گیاه توجه شده است. لذا هدف اصلی از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر مصرف تقسیطی نیتروژن مطابق با نیاز ذرت تحت مدیریت کودآبیاری بر تلفات نیتروژن و عملکرد ذرت دانه‌ای در کرج بوده است. علاوه بر این نتایج حاصل با روش کود دهی سنتی نیز مورد مقایسه قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر مصرف تقسیطی کود اوره بر تلفات نیتروژن در کودآبیاری جویچه‌ای پژوهشی در مزرعه ۵۰۰ هکتاری موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج) در سال ۱۳۹۲ انجام شد.

1- Surge Irrigation Fertigation Uniformity Model

مزرعه دارای توپوگرافی یکنواخت با شیب ۰/۰۱ متر بر متر بود. عمق خاک زراعی مزرعه بین ۶۰ تا ۷۰ سانتی‌متر بود و از نظر شوری نیز مشکل خاصی نداشت. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physical and chemical properties of field soil

عمق خاک Soil depth (cm)	بافت خاک Soiltexture	EC ($dS\ m^{-1}$)	pH (-)	نیتروژن آلی N (%)	فسفر قابل استفاده P ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل استفاده K ($mg\ kg^{-1}$)	رطوبت حجمی اشباع θ_v (٪)
0-20	Loam	1.43	7.5	0.05	10.3	220	32
20-40	Clay loam	1.68	7.5	0.04	8.4	170	32
40-60	Clay loam	0.98	7.5	0.04	4.2	154	34

آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در ۴ تکرار اجرا گردید. فاکتور اول (S) شامل دو سطح تقسیط کود اوره (سه و چهار تقسیطی) و فاکتور دوم (N) شامل سه سطح کودی (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد توصیه کودی) بود. زمان تقسیط‌های کودی بر اساس دوره‌های حساس رشد ذرت به مواد غذایی اعمال گردید. نحوه تقسیط کود در تیمارهای مختلف به‌طور خلاصه در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین در تیمار سنتی (عرف منطقه) کود مورد نیاز در دو تقسیط مساوی (۵۰ درصد قبل از کاشت و ۵۰ درصد مابقی در مرحله ۱۰ برگی) به‌صورت پخش سطحی به خاک اضافه گردید. در نهایت ارزیابی نتایج حاصل از تیمارهای ۶ گانه کودآبیاری و تیمار سنتی به‌صورت مقایسه میانگین‌ها انجام گردید. بیشترین مقدار کود مصرفی (تیمار ۱۰۰ درصد) بر اساس توصیه کودی و آزمایش تجزیه خاک تعیین گردید و سایر تیمارها به‌عنوان درصدی از این مقدار در نظر گرفته شدند. نیتروژن مورد نیاز توسط کود اوره به گیاه داده شد.

در این تحقیق برای هر بلوک پنج جویچه آزمایشی (سه جویچه اصلی برای برداشت و دو جویچه کناری به عنوان حاشیه)، دو جویچه برای تفکیک بلوک‌های مجاور و چهار جویچه برای حاشیه مزرعه در نظر گرفته شد. طول جویچه‌ها ۱۲۰ متر و فاصله آن‌ها از هم ۷۵ سانتی‌متر بود. زمان‌های پیشروی و پسروی در فواصل ۱۰ متری یادداشت برداری شد. نیاز آبی بر اساس داده‌های تبخیر از سطح تشت کلاس A(داده‌های ایستگاه هواشناسی کرج) و اعمال ضرایب تشت تبخیر (Kp) و گیاهی (Kc) تعیین گردید. ضرایب گیاهی در دوره‌های مختلف رشد ذرت با استفاده از ضرایب ارائه شده در نشریه شماره ۵۶ سازمان جهانی خواروبار در نظر گرفته شد (۵). علاوه بر این ضریب تشت تبخیر نیز بر اساس توصیه ایستگاه هواشناسی منطقه برابر با ۰/۶۵ در نظر گرفته شد. در نهایت مقدار آب آبیاری برای همه تیمارها یکسان و بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه اعمال گردید. برای اندازه‌گیری میزان آب ورودی و خروجی ازهر تیمار، از فلوم WSC تیپ سوم استفاده گردید.

جدول ۲- مشخصات تقسیط کودی تیمارهای مختلف

Table 2- Properties of fertilizer splits in different treatments

تیمار Treatment	روش کود دهی Fertilizing method	مقدار کود مصرفی Fertilizer usage amount (kg/ha)	درصد کود مصرفی در هر مرحله از فصل رشد Percent of fertilizer usage in each growth stage				
			قبل از کاشت Before planting	٦-٤ برگی 4-6 leaves	۱۰ برگی 10 leaves	ساقه رفتن stalking	سنبله زدن corn ear
T1	پخش سطحی (سنتی) Broadcast	400	50	-	50	-	-
T2 (S_1N_1)	کودآبیاری Fertigation	400	-	25	25	25	25
T3 (S_1N_2)		320					
T4 (S_1N_3)		240					
T5 (S_2N1)	کودآبیاری Fertigation	400	-	33	33	33	-
T6 (S_2N_2)		320					
T7 (S_2N3)		240					

یکنواختی توزیع آب با استفاده از شاخص‌های یکنواختی توزیع نیمه پایین[1] (DU_{LH}) و یکنواختی توزیع چارک پایین[2] (DU_{LQ}) که از

1- Distribution Uniformity of low Half

2- Distribution Uniformity of Low Quarter

متداول‌ترین شاخص‌های ارزیابی یکنواختی توزیع هستند، تعیین شد. بدین منظور مقدار آب نفوذ یافته در خاک با استفاده از معادله نفوذ کوستیاکف–لوئیس محاسبه گردید. پارامترهای این معادله با استفاده از روش بیلان حجمی آب تعیین گردید. علاوه بر این راندمان کاربرد آب در مزرعه نیز بر اساس جریان ورودی و خروجی تعیین شد.

تزریق کود اوره در تیمارهای کودآبیاری با استفاده از بشکه‌های ۴۰ لیتری که در ابتدای جویچه‌ها قرار داشتند، صورت گرفت. بر اساس تحقیقات صورت گرفته در زمینه تعیین زمان مناسب برای تزریق کود در کودآبیاری، مشاهده شده است که تزریق کود در نیمه دوم و اواخر آبیاری و در مدت زمان کوتاه با غلظت بالا، باعث افزایش راندمان کود و کاهش تلفات آن می‌گردد (۳، ۱۳ و ۱۸). بنابراین در این تحقیق نیز، تزریق کود در ۱۰ الی ۲۰ دقیقه انتهایی زمان آبیاری انجام گرفت.

برای تعیین مقدار کود تلف شده به‌صورت رواناب، نمونه‌برداری از زهاب در انتهای جویچه‌ها انجام شد. نمونه‌برداری‌ها در دقایقی بعد از شروع تزریق کود و در فواصل زمانی ۳ دقیقه صورت گرفت. درصد نیتروژن نمونه‌های زهاب با استفاده از روش اسپکترومتری تعیین گردید. در نهایت جرم کود تلف شده به‌صورت رواناب از انتهای مزرعه با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید(۲):

$$F_R = \sum_{t=0}^{t=t_t} \frac{\left(Q_R^{t+\Delta t} + Q_R^{t}\right)}{2} \times \frac{\left(C_R^{t+\Delta t} + C_R^{t}\right)}{2} \times \Delta t \qquad (۱)$$

که در آن، F_R جرم کود تلف‌شده همراه رواناب (mg)، C_R غلظت کود موردنظر در آب آبیاری (mg/lit)، Q_R شدت جریان خروجی (lit/s) از انتهای مزرعه و t_t زمان کل آبیاری (s) است. همچنین برای تعیین مقدار کود نفوذ یافته در خاک، نمونه‌برداری‌های خاک بعد از هر مرحله کودآبیاری از روی پشته جویچه اصلی و در عمق‌های مختلف، انجام شد. غلظت نیتروژن نمونه‌های خاک نیز پس از تعیین عصاره اشباع آن‌ها با استفاده از روش کجلدال تعیین شد.

به‌منظور تعیین عملکرد در تیمارهای مختلف، عملیات برداشت محصول از دو جویچه میانی و به طول ۵ متر از هر تکرار به‌صورت تصادفی انجام شد. سپس با استفاده از رابطه (۲) عملکرد محصول در رطوبت ۱۴٪برحسب تن در هکتار تعیین گردید:

$$Y = \frac{Y_a \times 10}{7.5} \qquad (۲)$$

در رابطه اخیر، Y: عملکرد برحسب تن در هکتار، Y_a: عملکرد در ۷/۵ مترمربع از سطح مزرعه برحسب کیلوگرم می‌باشد.

نتایج و بحث

در جدول (۳) شاخص‌های یکنواختی توزیع آب، راندمان کاربرد آب در مزرعه و میزان عمق آب نفوذ یافته در مراحل مختلف کود دهی برای تیمارهای مختلف ارائه شده است.

نتایج حاکی از آن است که یکنواختی توزیع چارک پایین و یکنواختی توزیع نیمه پایین آب در همه آزمایش‌ها بسیار بالا بوده است. به‌طوری‌که یکنواختی توزیع چارک پایین آب برای همه تیمارها بین ۹۰/۵ تا ۹۸/۳ درصد و یکنواختی توزیع نیمه پایین آب در تیمارهای مختلف بین ۹۴/۴ تا ۹۹/۰ درصد می‌باشد. همچنین راندمان کاربرد آب برای آزمایش‌های مختلف بین ۳۷/۹ تا ۸۱/۸ درصد متغیر است. با بررسی میزان عمق آب نفوذ یافته در خاک، مشاهده می‌شود که در مراحل مختلف کودآبیاری، این مقدار در حد نیاز آبی گیاه بوده و پایین بودن راندمان آبیاری در برخی از مراحل کود دهی به‌طور عمده ناشی از تلفات رواناب خروجی می‌باشد. نتایج تحقیقات صورت گرفته بیانگر آن است که بالا بودن یکنواختی توزیع آب، منجر به کسب یکنواختی توزیع بالای کود نیز می‌شود (۲ و ۴).

لذا در تحقیق حاضر نیز با توجه به بالا بودن یکنواختی توزیع بالای آب و البته تزریق کود در ۲۰–۱۰ دقیقه انتهایی آبیاری می‌توان اذعان داشت که یکنواختی توزیع کود در آزمایشات انجام گرفته شده در حد بالا بوده است.

بررسی نیتروژن خروجی توسط رواناب سطحی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، مشاهده شد که درصد نیتروژن خروجی از طریق رواناب سطحی تحت تأثیر سطوح تقسیط کود و مقدار کود مصرفی می‌باشد. همان‌طور که در جدول (۴) ارائه شده است، اثر سطوح تقسیط کود بر درصد تلفات نیتروژن معنی‌دار نبوده است. ولی اثر مقادیر مختلف کود و اثر متقابل آن با تقسیط کود بر درصد نیتروژن خروجی به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بوده است. لازم به ذکر است، به دلیل تزریق کود در مدت زمان بسیار کوتاه و با غلظت بالا در اواخر آبیاری و کنترل شرایط آزمایش جهت یکسان بودن دبی ورودی به تیمارها، بررسی آماری تأثیر دبی ورودی بر میزان تلفات نیتروژن توسط رواناب خروجی در نظر گرفته نشده است.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر مقدار کود بر درصد نیتروژن خروجی (بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد)، ملاحظه می‌شود که با افزایش سطح کودی از ۶۰ درصد به ۸۰ درصد توصیه کودی، درصد تلفات نیتروژن نیز افزایش یافته است، اما این تفاوت معنی‌دار نبوده است. در مقابل، با افزایش سطح کودی از ۸۰ درصد به ۱۰۰ درصد توصیه کودی، افزایش درصد نیتروژن خروجی معنی‌دار بوده است (شکل ۱).

جدول ۳- مقایسه شاخص‌های ارزیابی آبیاری در آزمایش‌های مختلف کودآبیاری

Table 3- Comparison of the irrigation evaluation indexes in different fertigationextriments

تیمار (Treatment) / نوبت کود دهی (Fertilizing times)		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
اول First	DU_{LQ}	98.2	97.3	95.8	95.9	97.0	97.2	98.3
	DU_{LH}	99.0	98.4	97.5	97.8	98.2	98.3	99.0
	Ea (%)	59.1	48.8	74.5	71.0	78.8	59.9	54.2
	dz (mm)	82.3	38.5	45.9	51.3	64.1	38.3	41.0
دوم Second	DU_{LQ}	97.2	96.0	92.8	93.7	92.9	90.5	95.1
	DU_{LH}	98.4	97.7	97.2	96.3	95.8	94.4	97.0
	Ea (%)	70.3	39.2	66.6	59.9	72.5	64.1	55.2
	dz (mm)	42.5	41.5	47.3	37.0	48.6	47.6	37.0
سوم Third	DU_{LQ}	-	94.3	91.9	95.5	96.7	92.1	95.2
	DU_{LH}	-	96.7	94.7	97.2	98.8	95.4	97.0
	Ea (%)	-	44.6	77.1	66.1	81.8	69.8	53.6
	dz (mm)	-	37.4	43.4	40.6	46.1	44.7	34.9
چهارم Forth	DU_{LQ}	-	97.4	93.4	96.8	-	-	-
	DU_{LH}	-	98.4	96.0	98.0	-	-	-
	Ea (%)	-	37.9	67.8	57.0	-	-	-
	dz (mm)	-	41.3	38.3	31.9	-	-	-

DU_{LQ}: یکنواختی توزیع چارک پایین(Distribution Uniformity of Low Quarter)، DU_{LH}: یکنواختی توزیع نیمه پایین (Distribution Uniformity of low Half)، Ea: راندمان کاربرد (Application efficiency)، dz: عمق آب نفوذ یافته (Depth of infiltrared water)

جدول ٤- خلاصه نتایج تجزیه واریانس درصد تلفات رواناب نیتروژن

Table 4- Summary analysis of variance of nitrogen loss in Run-off flow

منبع تغییرات Source changes	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean square	f	p
تقسیط کود (Fertilizersplit)	1	7.990	0.439	0.518^{ns}
مقدار کود (Fertilizer usage)	2	118.003	6.482	0.009^{**}
مقدار کود × تقسیط کود (Split fertilize× Fertilizer usage)	2	95.336	5.237	0.019^{*}
تکرار (Repeat)	3	31.678	1.740	0.202
خطای آزمایشی (Error)	15	18.204	-	-

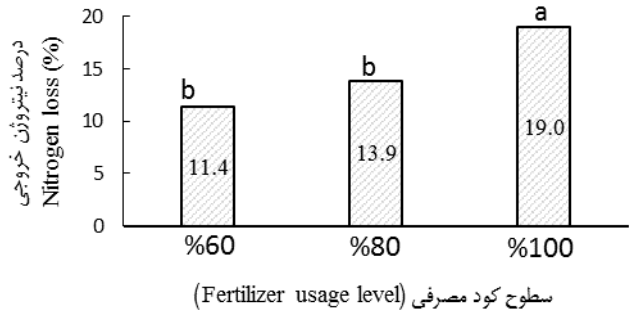
ns غیر معنی دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

ns no significantly different , * and ** have significantly different (P<0.05) and (P<0.01) respectively

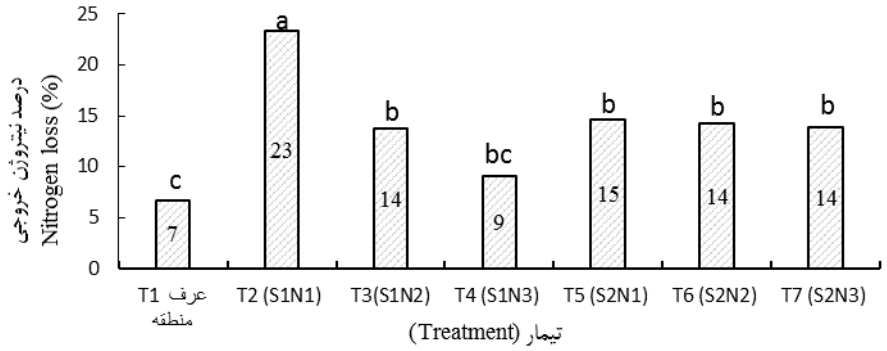
علاوه بر این، نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تقسیط کود و مقدار کود بر درصد نیتروژن خروجی بیانگر آن است که، تیمار T2 با متوسط ۲۳ درصد، به‌طور معنی‌داری دارای بیشترین درصد تلفات نیتروژن در رواناب نسبت به سایر تیمارها می‌باشد. نکته قابل‌توجه آن است که تیمار T1 با روش پخش سطحی کود و ۱۰۰ درصد توصیه کودی، در مقایسه با تیمارهای کودآبیاری دارای کمترین درصد تلفات نیتروژن در رواناب می‌باشد (شکل ۲). مطالعه سایر تحقیقات صورت گرفته بیانگر آن است که عمده تلفات نیتروژن در روش پخش سطحی کود به‌صورت آبشویی از ناحیه توسعه ریشه می‌باشد. محسنی و همکاران (۱۶) گزارش کردند که تلفات عمقی نیترات در روش پخش سطحی کود در حدود ۲۵ درصد بوده و به میزان قابل توجهی بیشتر از تیمارهای کودآبیاری می‌باشد.

بررسی نیتروژن باقی‌مانده در خاک

نکته قابل‌توجه آن است که، علاوه بر تلفات رواناب سطحی، همواره امکان تلفات نیتروژن به‌صورت نفوذ عمقی نیز در خاک مطرح می‌باشد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مشاهده شد که، درصد نیتروژن موجود در اعماق مختلف خاک در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، میزان نیتروژن موجود در لایه سطحی خاک (۲۰-۰ سانتی‌متر) به‌طور معنی‌داری بیشتر از اعماق زیرین بوده است ولی بین اعماق ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی‌متری عمق توسعه ریشه تفاوت معنی‌داری ازلحاظ درصد نیتروژن موجود، ایجاد نشده است.

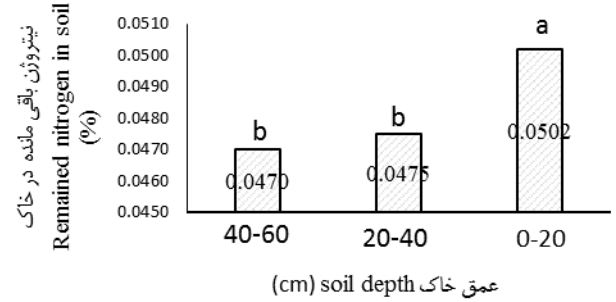


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کود بر درصد نیتروژن خروجی توسط رواناب
Figure 1- Comparison of Effects of fertilizer usage level on nitrogen losses in surface run-off



شکل ۲- مقایسه اثر متقابل تقسیط کود × مقدار کود بر درصد نیتروژن خروجی توسط رواناب
Figure 2- Comparison of Effects of fertilizer usage × fertilizer split on nitrogen losses in surface run-off

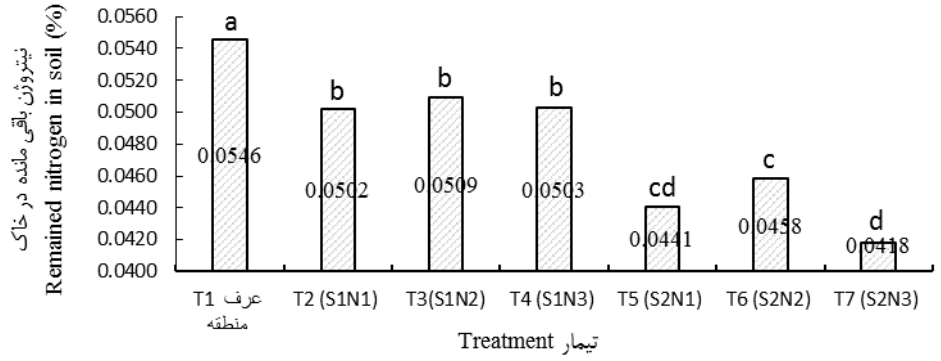
بنابراین می‌توان این نکته را خاطر نشان کرد که در تیمارهای کودآبیاری با تزریق کود در مدت زمان انتهایی آبیاری، میزان قابل توجهی از نیتروژن در لایه‌های سطحی خاک تجمع یافته و از این جهت میزان نیتروژن آبشویی شده از ناحیه توسعه ریشه ناچیز بوده است. علاوه بر این همان‌طور که در جدول (۳) آورده شده است، بالا بودن یکنواختی توزیع آب و مطلوب بودن عمق آبیاری در کودآبیاری‌ها این مطلب را تائید می‌کند.



شکل ۳- مقایسه میانگین درصد نیتروژن موجود در اعماق مختلف خاک
Figure 3- Comparison ofaverage remained nitrogen in different depths of

به‌منظور بررسی اثر متقابل تقسیط کود و مقدار کود مصرفی بر میزان نفوذ نیتروژن در خاک، مقایسه میانگین بین تیمارهای کودآبیاری و تیمار سنتی انجام گرفت. همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، تیمار T1با متوسط ۰/۰۵۴۶ درصد و تیمار T7 با

متوسط ۰/۰۴۱۸ درصد، به ترتیب دارای بیشترین و کمترین درصد نیتروژن در عمق توسعه ریشه می‌باشند. لازم به ذکر است که، درصد نیتروژن ارائه شده در این شکل، مربوط به متوسط درصد نیتروژن موجود در خاک بعد از مراحل کود دهی می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در تیمار سنتی T1، میزان قابل توجهی از نیتروژن در مرحله‌ای از رشد در خاک تجمع پیدا می‌کند که گیاه نیاز زیادی به آن ندارد. بنابراین، در صورت انجام آبیاری‌های مکرر، امکان آبشویی نیتروژن از منطقه توسعه ریشه افزایش می‌یابد.

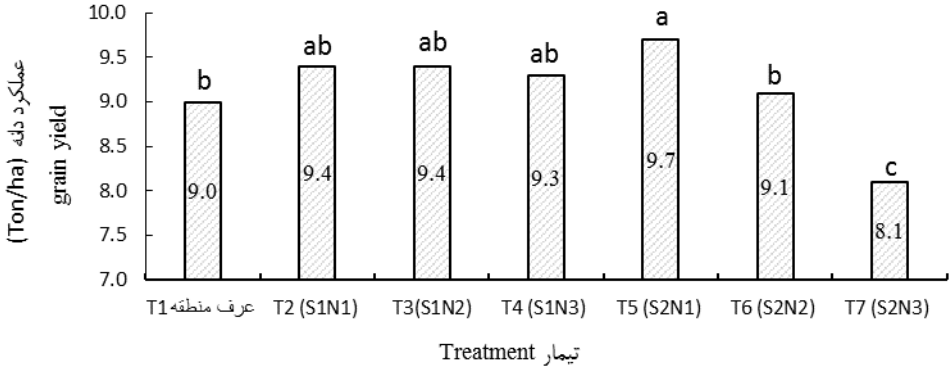


شکل ٤- مقایسه متوسط درصد نیتروژن باقی‌مانده در خاک بعد از هر مرحله کود دهی در عمق ٦٠-٠ سانتی‌متر
Figure 4- Comparison ofaverage remained nitrogen in soil after each fertigation in depth of 0-60 cm

عملکرد دانه

همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، بر اساس نتایج مقایسه میانگین میان تیمارهای کودآبیاری و تیمار عرف منطقه (بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد)، بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به تیمار T5 با ۱۰۰ درصد توصیه کودی و میانگین عملکرد برابر با ۹/۷ تن در هکتار است. تیمار T1 با ۱۰۰ درصد توصیه کودی، در مقایسه با تمام تیمارهای کودآبیاری به‌جز تیمار T7 با ۶۰ درصد سطح کودی، عملکرد پایین‌تری داشته است. البته این تفاوت تنها با تیمار T5 معنی‌دار می‌باشد. علاوه بر این توجه به این نکته لازم است که در تیمارهای T3 و T6 با ۸۰ درصد مصرف کودی و تیمار T4 با ۶۰ درصد مصرف کودی، تفاوت معنی‌داری ازلحاظ عملکرد با تیمارهای ۱۰۰ درصد توصیه کودی حاصل نشده است.

روضاتی و همکاران (۱۹) گزارش کردند که تقسیط نیتروژن باعث افزایش عملکرد ذرت می‌گردد. آنان با بررسی حالت‌های مختلف تقسیط کود به این نتیجه رسیدند که با مصرف نسبت کمتر نیتروژن در زمان کاشت، عملکرد دانه افزایش می‌یابد. در تحقیق حاضر نیز نسبت کود مصرفی در مراحل اولیه رشد برای تیمارهای کودآبیاری چهار تقسیطی (T2، T3 و T4) کمتر از سایر تیمارها بوده و کود مورد نیاز در طول فصل رشد متناسب با نیاز گیاه در اختیار آن قرار گرفته و در نتیجه میزان عملکرد بیشتری حاصل شده است که البته این مورد تنها بین تیمارهای T4 و T7 معنی‌دار بوده است.



شکل ۵- مقایسه میانگین عملکرد دانه میان تیمارهای کودآبیاری و تیمار پخش سطحی
Figure 5- Comparison ofaverage grain yield of fertigation and broadcast fertilizing treatments

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق اثر کودآبیاری جویچه‌ای بر میزان تلفات نیتروژن از مزرعه و عملکرد ذرت دانه‌ای در سطوح تقسیط و مقادیر کود مصرفی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این، تیمارهای کودآبیاری با تیمار سنتی (روش پخش سطحی کود) مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که، درصد نیتروژن خروجی توسط رواناب تحت تأثیر مقدار کود مصرفی و اثر متقابل آن با تقسیط کود قرار گرفته است.

در بررسی درصد نیتروژن خروجی تفاوت معنی‌داری میان سطوح سه و چهار تقسیطی مشاهده نشد. اما از لحاظ مقدار کود مصرفی، تیمارهای ۱۰۰ درصد توصیه کودی، دارای درصد نیتروژن خروجی بیشتری نسبت به سطوح کودی ۶۰ و ۸۰ درصد بودند. علاوه بر این در بررسی اثر متقابل سطوح تقسیط کود و مقدار کود مصرفی، تیمار T2 (با کاربرد ۱۰۰ درصد توصیه کودی طی ۴ تقسیط) دارای بیشترین درصد تلفات نیتروژن از مزرعه و تیمار T5 نیز (با کاربرد ۱۰۰ درصد توصیه کودی طی ۳ مرحله تقسیط) دارای بیشترین عملکرد دانه بوده‌اند. نکته قابل توجه آن است که، تیمار T4 با کاربرد ۶۰ درصد نیاز کودی، تفاوت معنی‌داری ازلحاظ عملکرد دانه با تیمار T5 نداشته است و در مقایسه با تیمار T2 به‌طور معنی‌داری دارای تلفات نیتروژن کمتری می‌باشد. لذا بر اساس نتایج حاصل در این تحقیق، توصیه می‌شود که با کاربرد ۶۰ درصد توصیه کودی طی چهار تقسیط مساوی به‌صورت کودآبیاری جویچه‌ای در طول فصل رشد، ضمن دست‌یابی به عملکرد مطلوب، از میزان آلودگی زیست‌محیطی نیز کاسته شود.

مقایسه عملکرد تیمار سنتی با تیمارهای کودآبیاری، حاکی از آن است که میزان عملکرد دانه درروش پخش سطحی کمتر از تیمارهای کودآبیاری بوده است. لازم به ذکر است که، درصد نیتروژن خروجی توسط رواناب برای تیمار سنتی کمتر از سایر تیمارها بود. اما با بررسی میزان نیتروژن موجود در خاک مشاهده شد که در روش پخش سطحی کود، درصد قابل توجهی از نیتروژن در مرحله‌ای از رشد که گیاه نیاز چندانی به عناصر غذایی ندارد، در خاک ذخیره می‌شود و در صورت آبیاری‌های مکرر و یا بارش باران، امکان خطر آلودگی منابع آب زیرزمینی افزایش می‌یابد.

منابع

1- Abbasi F., Adamsen F. J., Hunsaker D. J., Feyen J., Shouse P., and Van Genuchten M. T. 2003. Effects of flow depth on water flow and solute transport in furrow irrigation: Field data analysis, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 129(4): 237-246.

2- Abbasi F., Liaghat A.M., and Ganjeh A. 2009. Evaluation of fertigation uniformity in furrow irrigation, Journal of Soil and Water, 39 (1): 26-37. (in Persian with English abstract)

3- Alizadeh H.A., Abbasi F., and Liaghat A.M. 2010. Evaluation of distribution uniformity and nitrogen losses in furrow fertigation, Journal of Soil and Water, 23 (2): 75-86. (in Persian)

4- Alizadeh H.A., Liaghat A.M., and Abbasi F. 2009. The effect of furrow fertigation on fertilizer and water use efficiency, productivity and yield component of corn, Journal of Soil and Water, 23(4): 137-147. (in Persian with English abstract)

5- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelinesfor computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300, 6541.

6- Bhat R., and Sujatha S. 2009. Soil fertility and nutrient uptake by arecanut (Areca catechu L.) as affected by level and frequency of fertigation in a laterite soil, Agricultural Water Management, 96(3): 445-456.

7- Boldt A.L., Watts D.G., Eisenhauer D.E., and Schepers J. S. 1994. Simulation of water applied nitrogen distribution under surge irrigation, Transactions of the ASAE (USA).

8- Butters G.L., Benjamin J.G., Ahuja L.R., and Ruan H. 2000. Bromide and atrazine leaching in furrow-and sprinkler-irrigated corn, Soil Science Society of America Journal, 64(5): 1723-1732.

9- Ebrahimian H., Liaghat A., Parsinejad M., Abbasi F., and Navabian M. 2011. Water and nitrate losses and water use efficiency in alternate furrow fertigation, Iranian Journal of Water Research in Agriculture, 25(1): 21-29. (in Persian)

10- Gheysari M., Mirlatifi S.M., Homaee M., Asadi M. E., and Hoogenboom G. 2009. Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates, Agricultural Water Management, 96(6): 946-954.

11- Granberry D.M., Harrison K.A., and Kelley W.T. 2000. Drip Irrigation. Cooperative Extension Service University ofGeorgia, USA.

12- Hou Z., Chen W., Li X., Xiu L., and Wu L. 2009. Effects of salinity and fertigation practice on cotton yield and ^{15}N recovery, Agricultural water management, 96(10): 1483-1489

13- Jolaini M., and Abbasi F. 2009. Evaluation of fertigation uniformity and fertilizer losses in furrow irrigation, Journal of Soil and Water, 23(2): 75-86. (in Persian with English abstract)

14- Lehrsch G.A., Sojka R.E., and Westermann D.T. 2000. Nitrogen placement, row spacing, and furrow irrigation water positioning effects on corn yield, Agronomy Journal, 92(6): 1266-1275.
15- Liang H., Li F., and Nong M. 2013. Effects of alternate partial root-zone irrigation on yield and water use of sticky maize with fertigation, Agricultural Water Management, 116: 242-247.
16- Mohseni A., Mirseyed Hosseini H., and Abbasi F. 2012. Comparison of Fertigation with Surface Broadcast Fertilizer Method in Water, Fertilizer Use Efficiency, Yield, Compenent Yield of Corn and Losses of Nitrogen, Journal of Water and Soil, 26(5): 1181- 1189. (in Persian with English abstract)
17- Navabian M. 2008. Optimization of Furrow Fertigation Design and Management to Decrease Nitrate Pollution. ThesisPresented for the degree of Doctor of Science in Irrigation & Drainage Engineering. Agriculture and Natural Resource Camps of University of Tehran. (in Persian with English abstract)
18- Polychronaki E., Douma C., Giourga C., and Loumou A. 2012. Assessing nitrogen fertilization strategies in winter wheat and cotton crops in northern Greece, Pedosphere, 22(5): 689-697.
19- Rozati1 N.S., Gholami A., and Asghari H.R. 2011. Study of nitrogen split application levels and variety effects on yield and agronomical characteristics of corn, Electronic Journal of Crop Production, 4(2): 1-16. (in Persian with English abstract)
20- Sabillón G. N., and Merkley G. P. 2004. Fertigation guidelines for furrow irrigation, Spanish Journal of Agricultural Research, 2(4): 576-587.
21- Yang G., Tang H., Nie Y., and Zhang X. 2011. Responses of cotton growth, yield, and biomass to nitrogen split application ratio, European Journal of Agronomy, 35(3): 164-170.
22- Zhou J.B., Xi J.G., Chen Z.J., and Li S. X. 2006. Leaching and transformation of nitrogen fertilizers in soil after application of N with irrigation: a soil column method, Pedosphere, 16(2): 245-252.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 5, Nov.-Dec. 2016, p. 1584-1594

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۵، ص. ۱۵۹۴-۱۵۸۴

Evaluation of the Effect of Split application of Urea on Nitrogen Losses in Furrow Fertigation

F. Feizolahpour[1*]- M. Kouchakzadeh[2]- F. Abbasi[3]- M.N. Gheibi[4]- R. Choukan[5]

Received: 02-12-2014
Accepted: 18-04-2016

Introduction: Broadcast fertilization method increases fertilizer losses while results in lower nutrient absorption by plant roots. Fertigation is an effective method to increase water and fertilizer efficiency and to reduce the losses of nitrogen. Moreover, it allows farmers to apply the nutrients in splits and few amounts in response to crop needs. In the present study, a field experiment was conducted to investigate the effects of split application of fertilizer in furrow fertigation on nitrogen losses and corn yield.

Materials and Methods: Field experiments were carried out factorially in a randomized complete block design with four replicates. Experimental treatments were consisted of three fertilizer splits (two, three, and four splits) and three levels of urea fertilizer (60, 80 and 100% of required urea fertilizer), which compared with the common method (broadcasting fertilizer) as used by farmers in the fields. Experiments were conducted on a one hectare field in 120 meter long and open end furrows. During the crop season, Irrigation water was applied in the same way for all fertigation treatments and the third type of the WSC flumes was used to measure the amount of input and output water in irrigation events. Moreover, for determining the indexes of uniformity of water distribution in carrying out fertigation experiments, the amount of infiltration into the soil was calculated using the Kostiakov-Louis equation. The parameters of this equation were determined using the water volume balance method. Injection of Urea fertilizer was done by using 40-liter barrels were placed at the beginning of Furrows. In this study, the injection of fertilizers was applied in the last 10 to 20 minutes of irrigation time.

Results and Discussions: Results showed that water distribution uniformities of low quarter and low half in all tests were very high. Such that the water low quarter distribution uniformities for all treatments were between 90.5 to 98.3 percent and the low half distribution uniformities of water for different treatments were between 94.4 to 99.0 percent. So, according to the high water distribution uniformity and injecting fertilizer in 20-10 minutes at the end of irrigation, it should be stated that the distribution uniformities of fertilizer, used in the experiments, were high too. Statistical analysis showed that nitrogen usage amount and interaction of splits-usage rates of fertilizer had a significant influence on run-off nitrogen losses. The most nitrogen losses were achieved in treatment using 100 percent of fertilization recommendation and there were not significant differences between 60 and 80 percent of fertilization recommendation. It is nothworthy that, in addition to the nitrogen loss by surface runoff, nitrogen deep percolation losses always are also considered. In fertigation treatments, because of high rate of nitrogen injection in short intervals at the end of irrigations, the amount of nitrogen in the surface layer (20-0 cm) was significantly higher than the lower depths and this could led to low percolation losses of nitrogen, but the broadcast fertilization method provided the highest percent of remaining nitrogen in the soil after fertilization, which almost is unusable for plant and in the case of over irrigation or rainfall, the risk of groundwater pollution could be raised. Besides, the results showed that application of nitrogen in 4 splits provided more grain yield compared to the 3 splits level. Also, grain yield of corn increased significantly with increasing nitrogen rate application. The fertigation treatments had better performance of water and fertilizer application efficiencies compared to broadcast fertilization method. The most grain yield was achieved in the fifth treatment by application of 100 percent of fertilization usage recommendation in three splits.

Conclusion: In this study, the effect of furrow fertigation on nitrogen losses and corn yield was studied under different splits and amounts of fertilizer consumption. Eventually, fertigation treatments were compared

1 and 2- M.Sc. Student and Associate Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture, TarbiatModares University
(*-Corresponding Author Email: f_feizolahpour@yahoo.com)
3- Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI)
4- Assistant Professor, Soil and Water Research Institute (SWRI)
5- Professor of Seed and Plant Improvement Research Institute (SPII)

with traditional treatments (fertilizer broadcasting method). According to the obtained results, evaluate the interactions of the effect of split × N usage showed that, the fourth treatment (60% of fertilizer application in 4 splits) can be suggested, owing to its lower N losses by runoff. In addition there were no statistical significant differences of grain yield between the fourth and fifth treatments (100% of fertilizer application in 3 splits). Consequently, it can be concluded that by the usage of 60 percent of the recommended fertilizer application in four equal splits during the growing season, the potential of environmental pollution will be reduced while achieving optimal performance.

Keywords: Broadcast fertilization, Corn, Fertilizer use efficiency, Run off