روابط خاک و گیاه/ سال سیزدهم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۱ / صفحات ۱۱۷-۱۰۵ مقاله پژوهشی
DOI: 10.47176/jspi.13.4.19821 EISSN: 2783-5286 https://jspi.iut.ac.ir

بررسی تلفات نیتروژن، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت تحت سطوح مختلف کود نیتروژن و مدیریت کود-آبیاری در آبیاری جویچه‌ای

فریبرز عباسی[1*]، محمدنبی غیبی[2] و اصلان اگدرنژاد[3]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۳)

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی کود-آبیاری بر رشد گیاه ذرت و تلفات نیتروژن تحت مقادیر مختلف و تقسیط کود نیتروژن در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با دو عامل مقدار کود (N1: ۱۰۰، N2: ۸۰ و N3:۶۰ درصد نیتروژن خالص مورد نیاز براساس توصیه کودی) و زمان تقسیط (T1: چهار و T2: سه تقسیط مساوی) در سه تکرار و در دو سال زراعی انجام شد. سپس این تیمارها با تیمار شاهد (کوددهی عرف منطقه) مقایسه شدند. بیش‌ترین عملکرد دانه در سال نخست در تیمارهای T1N1، T1N3 و شاهد به‌دست آمد. عملکرد دانه در تیمارهای با سه تقسیط (T2) کم‌تر از چهار تقسیط (T1) بود. تقسیط نیتروژن در سه مرحله (تیمار T2) نسبت به تقسیط آن در چهار مرحله (تیمار T1) سبب کاهش نیتروژن و پروتئین دانه به‌ترتیب به‌میزان ۱۲/۸ و ۱۳ درصد شد. تقسیط کود نیتروژن در سه مرحله سبب جذب بیش‌تر نیتروژن توسط برگ گیاه در انتهای فصل رشد شد؛ گرچه این کار اثری بر افزایش عملکرد و صفات کیفی دانه نداشت. به‌جز شاهد، تغییرات محسوسی در درصد نیتروژن خاک از سطح به عمق مشاهده نشد. بیش‌ترین درصد نیتروژن خاک در دو لایه ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متر برای شاهد مشاهده شد. بیش‌ترین و کم‌ترین تلفات نیتروژن در رواناب به‌ترتیب در تیمار T1N1 (۲۳ درصد) و شاهد (۷ درصد) مشاهده شد. براساس کلیه نتایج، T1N2 به‌دلیل مطلوب‌بودن عملکرد دانه، صفات کیفی و کاهش تلفات نیتروژن به‌عنوان تیمار مناسب پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، تلفات کود، تنش کودی، کود-آبیاری، نیتروژن دانه.

مقدمه

ذرت یکی از غلات مهم در دنیا است که در اکثر مناطق جهان قابل کشت است. این گیاه زراعی به‌عنوان سومین غله پر مصرف در دنیا، سهم حدود ۲/۸ درصد از مصرف غلات در جهان را دارد (۱، ۵ و ۷). براساس آمار FAO، سطح زیر کشت ذرت حدود ۱۸۸ میلیون هکتار و میزان تولید آن حدود

۱- مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fariborzabbasi@ymail.com

یک میلیارد و ۶۰ تن گزارش شده است. سطح زیر کشت آن در ایران حدود ۱۳۰ هزار هکتار و عملکرد آن حدود هفت تن در هکتار برآورد شده است (۱۰).

این گیاه زراعی در اکثر استان‌های کشور کشت می‌شود و به‌مصرف نیتروژن حساس است (۱). افزایش نیتروژن در دسترس سبب بهبود عملکرد دانه و شاخص‌های رشد می‌شود (۱۱). در پژوهشی که توسط مارچزن و همکاران (۹) برای بررسی منابع حاوی نیتروژن از جمله کودهای حیوانی (خوک و گاو) و کود کامل (NPK) در طی ۱۲ سال روی گیاه ذرت انجام شد مشخص شد که نیتروژن غیرآلی غالب‌ترین شکل نیتروژن در همه تیمارها بود و مقدار آن بین ۵۳ تا ۸۰ درصد از کل نیتروژن متغیر بود. این پژوهش‌گران بیان کردند که به‌دلیل کاربرد کود کامل تا ۳۵ روز پس از سبزشدن، غلظت نیتروژن در خاک حفظ شد و همین عامل سبب افزایش عملکرد دانه شد. همچنین در تیمارهایی که از منبع کود گاوی استفاده شد شاخص‌های رشدی گیاه بهتر از سایر تیمارها بود. علت آن فراهمی مداوم نیتروژن در طول فصل رشد بود. به‌همین دلیل این پژوهش‌گران کاربرد منابع کودی حاوی نیتروژن را برای گیاه ذرت ضروری گزارش کردند.

از طرفی، کاربرد بیش از حد نیتروژن ممکن است سبب افزایش نیتروژن دانه و سمّیت آن شود و از طریق تلفات نیتروژن به محیط‌زیست آسیب وارد سازد. از این‌رو، مدیریت مصرف نیتروژن می‌تواند کمّیت و کیفیت زراعت غلات از جمله ذرت و محیط‌زیست را تضمین کند (۱۱). صادقی و همکاران (۱۵) به بررسی کاربرد کود نیتروژنه با مقادیر ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار بر ذرت از دیدگاه پایداری محیط زیستی پرداختند. این پژوهش‌گران نشان دادند که عملکرد ذرت با افزایش کود نیتروژن تا ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. ولی کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تغییری در عملکرد ذرت ایجاد نکرد. بنگر و همکاران (۳) به بررسی نرخ کود و روش کاربرد آن بر کاهش تلفات نیتروژن و افزایش عملکرد ذرت در اونتاریو پرداختند. این پژوهش‌گران مدلی خاص برای خاک‌های این منطقه توسعه دادند تا بتوانند روشی برای مدیریت کوددهی ارائه دهند. این پژوهش‌گران گزارش کردند که تلفات نیتروژن توسط تبخیر، آبشویی و انتشار سبب از دست رفتن این منبع غذایی از خاک شد. بنابراین برای کاهش انتشار نیتروژن به میزان بیشینه ۱۶ درصد، استفاده از روش‌های بازدارنده پیشنهاد شد. در این پژوهش، کاهش کاربرد نیتروژن نیز آبشویی و انتشار را کاهش داد و اثری منفی بر عملکرد ذرت نداشت. از این‌رو، به دلیل قابلیت آبشویی زیاد کودهای نیتروژنه، کاهش مصرف و تقسیط آن به‌عنوان ابزارهایی برای مدیریت نیتروژن در کشور ما پیشنهاد شده است. پرزا فونتس و همکاران (۱۳) به بررسی تقسیط نیتروژن در زراعت ذرت پرداختند و نشان دادند که تقسیط نیتروژن سبب تغییر محتوای نیتروژن خاک، جذب نیتروژن گیاه و عملکرد دانه به‌ترتیب به‌میزان متوسط ۸۸، ۳۷ و ۳۳ درصد شد. توانگر و همکاران (۱۷) به ارزیابی عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت در شرایط مختلف آبیاری و تقسیط کود نیتروژن پرداختند. این پژوهش‌گران نشان دادند که عملکرد دانه و سطح برگ تحت تأثیر عوامل مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش‌گران گزارش کردند که تقسیط نیتروژن سبب افزایش عملکرد دانه به میزان ۲/۳۲ درصد و کارایی مصرف آب به مقدار ۳۲/۷ درصد شد. این نتایج به‌صورت مشابه توسط پادماواتی و گاپلاسوامی (۱۲) نیز گزارش شده است. این پژوهش‌گران افزایش کارایی مصرف آب در اثر تقسیط نیتروژن را حدود ۳۹-۲۴ درصد گزارش کردند. بیندر و همکاران (۴) تقسیط کود نیتروژن در زمان کاشت و در طول فصل رشد را سبب افزایش دانه و عملکرد نهایی ذرت دانستند. رادز و همکاران (۱۴) در پژوهش‌های خود نشان دادند که در خاک‌های درشت‌بافت به‌کار بردن تقسیطی کود نیتروژن سبب افزایش عملکرد دانه ذرت نسبت به شرایط کاربرد همزمان یا در دو تقسیط آن می‌شود.

با توجه به این‌که مقادیر مختلف کود نیتروژن در شرایط تقسیط آن می‌تواند سبب افزایش شاخص‌های رشدی و کاهش تلفات نیتروژن شود؛ در پژوهش حاضر اثر این دو عامل بر گیاه

ذرت بررسی شد. وجه تمایز این پژوهش با سایر پژوهش‌ها، در اجرای آن به‌صورت کود-آبیاری و بررسی تلفات نیتروژن در عمق خاک و رواناب خروجی از جویچه‌ها بود. علاوه بر عملکرد و شاخص‌های عملکرد، کیفیت دانه ذرت از نظر پروتئین، روی، کارایی مصرف آب و کود نیتروژن نیز بررسی شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر دو عامل سطوح کودی در سه سطح (N1: ۱۰۰، N2: ۸۰ و N3:۶۰ درصد نیتروژن خالص براساس توصیه کودی) و زمان تقسیط آن‌ها (T1: چهار تقسیط مساوی شامل مرحله ۶-۴ برگی، مرحله ۱۰ برگی، مرحله تاسل‌دهی و مرحله تلقیح و T2: سه تقسیط مساوی شامل مرحله ۶-۴ برگی، مرحله ۱۰ برگی و مرحله تاسل‌دهی) بر گیاه ذرت دانه‌ای هیبرید سینگل کراس ۲۶۰ در سه تکرار و دو سال زراعی (۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱) در بخشی از مزرعه ۵۰۰ هکتاری مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج واقع در طول جغرافیایی ۵۰/۵۸ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵/۵۶ شمالی و ارتفاع ۱۳۱۲ متری از سطح دریا انجام شد. لازم به ذکر است که تیمارهای شش‌گانه مورد بررسی در نهایت با روش معمول پخش کود در منطقه (۵۰٪ توصیه کودی پیش از کاشت و ۵۰٪ در مرحله ۶-۴ برگی به روش پخش سطحی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مقایسه شدند (۱). عملیات کاشت این رقم در تاریخ یکم اردیبهشت هر سال و با تراکم ۸۰ هزار بوته در هکتار انجام شد. آبیاری براساس تأمین نیاز آبی کامل گیاه با دور هفت روز و براساس عرف رایج منطقه انجام شد. برای تعیین مقدار آب آبیاری، تبخیر از سطح تشت کلاس A و اعمال ضرایب تشتک و گیاهی در نظر گرفته شد. بدین منظور از داده‌های ایستگاه هواشناسی در فاصله دو کیلومتری از مزرعه تحقیقاتی استفاده شد. این منطقه از نظر آب و هوایی براساس طبقه‌بندی کوپن جز مناطق نیمه‌خشک با زمستان سرد است. ضریب تشت برابر با ۰/۶۵ در نظر گرفته شد. ضریب گیاهی نیز براساس مقادیر ارائه‌شده در نشریه FAO ۵۶ (۰/۳، ۱/۲ و ۰/۶ به‌ترتیب برای دوره‌های رشد ابتدایی، توسعه و انتهایی) در نظر گرفته شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). میانگین بارندگی در این منطقه ۲۴۵ میلی‌متر و میانگین دمای هوا ۱۵ درجه سلسیوس است.

مدیریت آبیاری رایج منطقه و به‌صورت جویچه‌ای با دور هفت روز انجام شد. بدین منظور، برای هر تیمار پنج جویچه (سه جویچه میانی برای برداشت محصول و دو جویچه کناری برای اثر حاشیه‌ای) با طول ۱۲۰ متر در نظر گرفته شد. فاصله پشته‌ها از هم ۷۵ سانتی‌متر بود. دبی ورودی و خروجی به هر جویچه با استفاده از فلوم WSC تیپ سه اندازه‌گیری شد. در همه تیمارها، پس از رسیدن آب به انتهای جویچه، دبی ورودی به میزان نصف دبی اولیه کاهش یافت. این میزان براساس تجربیات پژوهش‌گران در این مزرعه و برای اعمال یکنواختی بیش‌تر اعمال شد (۱). همچنین برای تعیین مقدار نفوذ آب در خاک و تعیین یکنواختی توزیع آب از معادله نفوذ کوستیاکف-لوییس استفاده شد. پارامترهای این معادله با استفاده از روش بیلان حجم آب تعیین شد (۱). مقادیر آب آبیاری برای هر تیمار در شکل (۱) ارائه شده است.

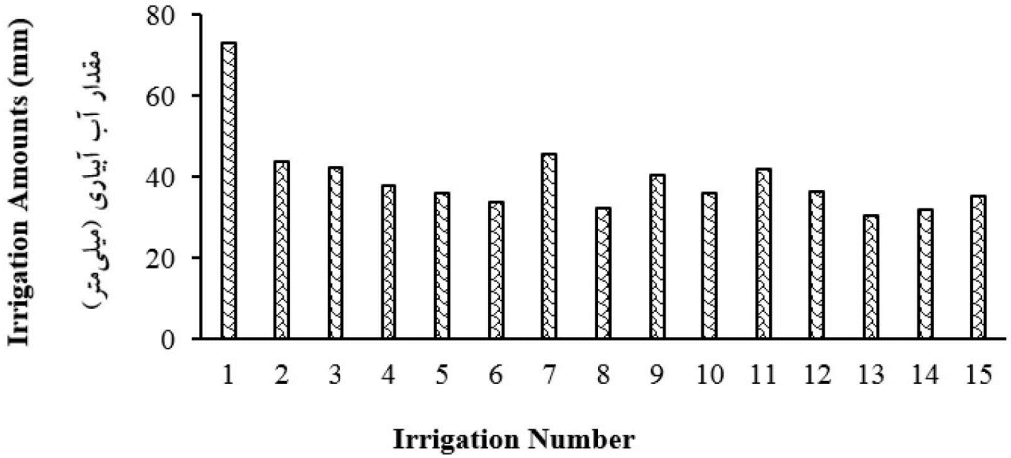
در طول آزمایش مبارزه با علف‌های هرز با استفاده از علف‌کش پیش‌کاشتی و همچنین وجین دستی طی فصل رشد انجام گرفت. پس از استقرار کامل بوته‌ها و کسب اطمینان از این‌که بوته‌ها خطرات اولیه را پشت سر گذاشته‌اند، به تنک‌کردن بوته‌ها اقدام شد. کود سوپرفسفات تریپل با توجه به آزمایش خاک (جدول ۱) به مقدار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار پیش از کاشت در تمام تیمارها به‌صورت یکسان در سطح خاک پخش شد.

اعمال کود نیتروژن از منبع اوره و به‌صورت کود-آبیاری انجام شد. میزان کود نیتروژن مورد استفاده توسط آزمون خاک (جدول ۱) تعیین شد. برای اعمال آن، کود مورد نظر از طریق بشکه‌های ۲۰ لیتری به جویچه‌های آزمایشی تزریق شد. به‌دلیل این‌که تزریق کود در اواخر آبیاری یکنواختی توزیع بیش‌تری به‌همراه دارد، تزریق کود در ۳۰-۲۰ دقیقه انتهای آبیاری انجام شد. صفات زراعی شامل عملکرد دانه و برخی اجزای عملکرد

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش.

Table 1. Some soil physical and chemical characteristics in the study area.

Soil layer لایه خاک	Soil texture بافت خاک	Bulk density چگالی ظاهری	Permanent wilting point (PWP) نقطه پژمردگی دائم	Field capacity (FC) گنجایش مزرعه	Saturated water content رطوبت اشباع	EC_e شوری عصاره اشباع	pH_e	N نیتروژن	P فسفر	K پتاسیم
cm	-	$g\ cm^{-3}$	$cm^3.cm^{-3}$			$dS\ m^{-1}$	-	%	$mg\ kg^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$
0–20	Loam	1.34	15	29	45	1.16	7.77	0.05	10.3	220
20–40	Loam	1.46	15	29	44	0.82	7.67	0.04	8.4	170
40–60	Loam	1.47	16	28	44	0.80	7.85	0.04	4.2	154



شکل ۱. مقدار آب آبیاری در طول آزمایش.

Fig. 1. Irrigation water amount during study.

(طول بلال، تعداد دانه در هر ردیف بلال، تعداد ردیف در بلال، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، روی و پروتئین دانه) در انتهای آزمایش اندازه‌گیری شدند. برداشت محصول از سه جویچه وسط و به حدود ۵ متر از هر تکرار به‌صورت تصادفی انجام شد. برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد از تعداد ۱۰ بوته تصادفی برای هر تکرار استفاده شد. اندازه‌گیری عملکرد دانه در رطوبت ۱۴ درصد انجام شد. درصد روی و پروتئین دانه با انتخاب ۱۰۰ گرم دانه از هر تکرار تعیین شد. در انتهای سال دوم، بهره‌وری مصرف آب و کود به‌ترتیب با استفاده از روابط (۱) و (۲) تعیین شدند:

$$WP = \frac{Y}{W} \qquad (۱)$$

$$FP = \frac{Y - Yo}{F} \qquad (۲)$$

در این روابط، Y عملکرد محصول (کیلوگرم)، W مقدار آب آبیاری (مترمکعب)، Y_0 عملکرد محصول در تیمار بدون کود (کیلوگرم) و F مقدار کود مصرفی (کیلوگرم) است.

در سال دوم، برای تعیین میزان نیتروژن تلف‌شده در رواناب و مقدار آن در خاک و برگ، نمونه‌برداری‌های لازم انجام شد. برای تعیین جرم کود تلف‌شده به‌صورت رواناب از انتهای مزرعه، از رابطه زیر استفاده شد (۱):

$$F_R = \sum_{t=0}^{t=t_t} \frac{(Q_R^{t+\Delta t} + Q_R^t)}{2} \times \frac{(C_R^{t+\Delta t} + C_R^t)}{2} \times \Delta t \qquad (۳)$$

که در آن، F_R جرم کود تلف‌شده همراه رواناب (میلی‌گرم)، C_R غلظت کود مورد نظر در آب آبیاری (میلی‌گرم بر لیتر)، Q_R جریان خروجی از انتهای جویچه (لیتر بر ثانیه) و t_t زمان تزریق کود به آب آبیاری است. نمونه‌برداری از رواناب برای تعیین نیتروژن، دقایقی پس از تزریق کود و با فواصل ۳ دقیقه انجام شد. درصد نیتروژن رواناب به روش کجلدال تعیین شد. همچنین برای تعیین نیتروژن برگ در طول فصل رشد در سال دوم دو نمونه‌برداری (S1: اواسط و S2: انتهای فصل رشد) و برای نیتروژن خاک یک نمونه‌برداری در انتهای فصل رشد انجام شد. برای تعیین نیتروژن خاک، نمونه‌برداری یک هفته پس از هر آبیاری از لایه‌های ۲۰-۰، ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی‌متر و با فاصله ۲۰ سانتی‌متر انجام شد. در تیمار پخش سنتی کود، یک هفته پس از هر کودپاشی از خاک نمونه‌برداری می‌شد. غلظت نیتروژن نمونه‌های خاک به روش کجلدال تعیین شد.

برای تجزیه و تحلیل نتایج از نرم‌افزار MSTATC و آزمون آماری دانکن در سطح پنج درصد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Microsoft Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس اثر مقدار کود نیتروژن و تقسیط آن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در جدول (۲) نشان داده شده است. در سال اول، تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد دانه اثر معنی‌داری داشت ($p < ۰/۰۱$). این نتایج با یافته‌های سایر پژوهش‌گران از جمله فونتس و همکاران (۱۳)، توانگر و همکاران (۱۷)، پادماواتی و گاپلاسوامی (۱۲) و بیندر و همکاران (۴) هم‌خوانی داشت. این پژوهش‌گران نیز افزایش عملکرد ذرت در شرایط تقسیط نیتروژن را گزارش کردند. مقدار کود نیتروژن بر عملکرد دانه، وزن صد دانه، طول بلال و ارتفاع گیاه اثر معنی‌داری نشان داد ($p < ۰/۰۱$). برهم‌کنش تقسیط کود نیتروژن و مقدار آن بر عملکرد دانه ($p < ۰/۰۱$) و ارتفاع گیاه ($p < ۰/۰۵$) اثر معنی‌داری داشت. در سال دوم، تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد دانه اثر نداشت ولی بر تعداد دانه در ردیف، وزن صد دانه، طول بلال ($p < ۰/۰۱$) و ارتفاع گیاه ($p < ۰/۰۵$) اثر معنی‌داری نشان داد. مقدار کود نیتروژن بر وزن صد دانه ($p < ۰/۰۱$) و برهم‌کنش مقدار کود و تقسیط آن بر وزن صد دانه، طول بلال و ارتفاع گیاه ($p < ۰/۰۵$) اثر معنی‌داری داشت.

بیش‌ترین عملکرد دانه در سال نخست در تیمارهای T1N1، T1N3 و شاهد به‌دست آمد. عملکرد دانه در تیمارهای با سه تقسیط (T2) کم‌تر از چهار تقسیط (T1) بودند (جدول ۳). در سال دوم تفاوت آماری معنی‌داری بین عملکرد دانه در تیمارهای مختلف مشاهده نشد. همچنین عملکرد دانه در سال

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات عملکرد و اجزای عملکرد ذرت.

Table 2. Analysis of variance of corn yield and yield criteria.

S.O.V منابع تغییرات	Df درجه آزادی	Yield (ton ha^{-1}) عملکرد (تن در هکتار)	Number of rows تعداد ردیف	Number of seeds per row تعداد دانه در ردیف	One hundred seeds weight (g) وزن صد دانه (گرم)	Corn pod length (cm) طول بلال (سانتی-متر)	Corn height (cm) ارتفاع بلال (سانتی‌متر)
		First year سال اول					
Splitting (S) تقسیط	2	2.15**	0.02ns	16.66ns	2.01ns	0.12ns	80.30ns
Fertilizer (F) کود	2	6.77**	0.20ns	0.20ns	870.04**	11.60**	537.16**
F × S	3	1.12**	0.007ns	3.51ns	7.54ns	0.12ns	127.84*
Repetition (R) تکرار	1	0.33	0.55	15.15	29.22	1.04	62.05
Error خطا	15	0.04	0.25	9.67	27.85	0.29	34.04
		Second year سال دوم					
Splitting (S) تقسیط	1	0.29ns	8.88**	134.42**	130.66	2364.13**	7.04*
Fertilizer (F) کود	2	0.03ns	0.60ns	10.56ns	225.54**	135.87ns	0.23ns
F×S	2	1.44ns	0.67ns	2.53ns	99.29*	284.79*	3.25*
Repetition (R) تکرار	3	0.46	0.38	2.78	24.50	54.48	0.30
Error خطا	15	0.40	0.88	5.26	21.20	65.57	0.81

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اثر معنی‌دار، و اثر معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد هستند.

ns, * and ** shows no significant, and significant effects at 5 and 1% probability levels, respectively.

دوم نسبت به سال نخست بسیار کاهش یافت به‌طوری‌که میانگین عملکرد تیمارهای T1، T2 و شاهد در سال نخست به‌ترتیب ۵۳، ۳۸ و ۵۶ درصد از تیمارهای مشابه در سال دوم بیش‌تر بود. برخی پژوهش‌ها نشان داده است اگرچه کاربرد یک‌باره نیتروژن در برخی موارد می‌تواند منجر به نتایج نزدیک به تقسیط نیتروژن شود؛ ولی این در شرایطی است که خاک و شرایط آب و هوایی برای نگهداری رطوبت و مواد مغذی در خاک مناسب باشد (۶، ۸ و ۱۶). به‌عنوان مثال آدیمی و

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش مقدار کود نیتروژن و تقسیط آن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت.

Table 3. Comparison of interaction of fertilizer amount and splitting on corn yield and yield criteria.

Treatment تیمارها	Yield (ton ha^{-1}) عملکرد (تن در هکتار)	Number of rows تعداد ردیف	Number of seeds per row تعداد دانه در ردیف	One hundred seeds weight (g) وزن صد دانه (گرم)	Corn pod length (cm) طول بلال (سانتی-متر)	Corn pod height (cm) ارتفاع بلال (سانتی‌متر)
	First year سال اول					
Control	11.52a	16.50a	40.75a	253.5a	182.4b	19.05a
T1N1	11.48a	16.80a	39.80a	252.0a	199.6a	17.27b
T1N2	10.50c	16.80a	40.80a	233.5b	184.4b	17.10b
T1N3	11.70a	16.60a	42.00a	252.0a	195.2a	19.20a
T2N1	10.82bc	16.80a	42.95a	253.3a	199.6a	16.98b
T2N2	9.17d	16.90a	41.40a	235.8b	182.6b	16.83b
T2N3	10.95b	17.20a	39.60a	232.3b	177.8b	17.48b
	Second year سال دوم					
Control	7.00a	15.55ab	36.00abc	209.29d	153.15c	14.95a
T1N1	7.17a	15.25b	34.00bcd	234.50a	145.70d	13.32bc
T1N2	7.40a	15.25b	33.00cd	229.00ab	153.15cd	12.67c
T1N3	8.05a	15.20b	31.50d	217.25c	160.20bc	13.60bc
T2N1	7.72a	15.80ab	37.60ab	224.25bc	171.65ab	14.20ab
T2N2	7.31a	16.75a	38.85a	222.00bc	180.65a	15.12a
T2N3	6.92a	16.80a	36.25abc	220.50c	166.30b	13.52bc

در هر گروه و هر ستون، اعداد با حروف مشابه از نظر آماری براساس آزمون دانکن ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

In each group and each column,the figures with the similar letter are not statistically different (Duncan, $p < 0.05$).

همکاران (۲) به بررسی آثار تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن ذرت در دو سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که به‌دلیل بارندگی، عملکرد ذرت در سال ۲۰۱۸ بیش‌تر بود. در این سال، تفاوت آماری بین تیمارهای نیتروژن مشاهده نشد و علت آن وقوع بارندگی ذکر شد. از طرفی، تعویق استفاده از کود نیتروژن در سال ۲۰۱۹ سبب کاهش عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن شد. با توجه به این‌که بارش در سال نخست پژوهش حاضر نیز بیش‌تر از سال دوم بود (شکل ۱)، می‌توان تفاوت نتایج عملکرد در دو سال مورد بررسی را ناشی از این عامل دانست. مقادیر تعداد ردیف در تیمارهای مختلف و در دو سال مورد بررسی نزدیک به هم بود. تفاوت آماری معنی‌داری در تعداد دانه در ردیف در سال نخست بین تیمارهای مختلف مشاهده نشد. کم‌ترین تعداد ردیف و تعداد دانه در ردیف در سال دوم در تیمار T1N3 به‌دست آمد. تفاوت مقادیر این صفت نسبت به شاهد به‌ترتیب برابر ۲/۲ و ۱۲/۵ درصد بود. رابطه مشخصی بین مقدار کود یا تقسیط کود و وزن صد دانه مشاهده نشد به‌طوری‌که در سال نخست کم‌ترین وزن صد دانه در تیمارهای T1N2، T2N2 و T2N3 و در سال دوم برای شاهد به‌دست آمد. عدم وجود رابطه معین در مورد صفات ارتفاع گیاه و طول بلال نیز مشاهده شد.

جدول ۴. تجزیه واریانس صفات پروتئین، و غلظت نیتروژن و روی در دانه ذرت.

Table 4. Analysis of variance of corn seed protein, and nitrogen and zinc concentration in the corn seed.

S.O.V منابع تغییرات	Df درجه آزادی	First year سال اول			Second year سال دوم		
		Seed protein (%) پروتئین دانه (درصد)	Seed nitrogen (kg ha^{-1}) غلظت نیتروژن دانه (کیلوگرم در هکتار)	Seed zinc (mg kg^{-1}) غلظت روی دانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	Seed protein (%) پروتئین دانه (درصد)	Seed nitrogen (kg ha^{-1}) نیتروژن دانه (کیلوگرم در هکتار)	Seed zinc (mg kg^{-1}) غلظت روی دانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
Repetition (R) تکرار	3	1.22	0.031	86.07	1.01	0.02	149.45
Fertilizer (F) کود	2	1.57**	0.04**	303.47**	3.03**	0.78**	0.198^{ns}
Splitting (S) تقسیط	1	0.47^{ns}	0.012^{ns}	256.56**	5.41**	0.138**	36.26^{ns}
F × S تقسیط ×کود	2	1.11*	0.028*	9.04*	1.45**	0.037**	0.94^{ns}
Error خطا	15	0.21	0.005	22.09	0.04	0.01	21.02

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده اثر غیرمعنی‌دار، و اثر معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد هستند.

ns, * and ** shows no significant and significant differences at 5 and 1% probability levels, respectively.

مقایسه کلیه نتایج نشان داد که در برخی تیمارها مانند شاهد، کمبود نیتروژن سبب کاهش ارتفاع گیاه و وزن صد دانه شد ولی با کاهش تخصیص نیتروژن در طول فصل رشد، طول بلال، تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف‌ها افزایش یافت و در نتیجه عملکرد افزایش داشت. درحالی‌که در تیمارهایی مانند T1N3، وزن صد دانه و تعداد دانه در ردیف کاهش یافت ولی طول بلال و تعداد ردیف‌ها افزایش داشت؛ به همین علت عملکرد در آن نسبت به سایر تیمارها از لحاظ آماری یکسان بود.

صفات کیفی دانه

نتایج تجزیه واریانس صفات کیفی ذرت در جدول (۴) نشان داده شده است. مقدار کود نیتروژن در هر دو سال مورد بررسی سبب تغییرات معنی‌دار پروتئین و نیتروژن دانه ذرت شد ($p < ۰/۰۱$). ولی تنها در سال نخست اثر معنی‌داری بر مقدار روی دانه داشت ($p < ۰/۰۱$). تقسیط کود نیتروژن در سال نخست سبب تغییرات معنی‌دار مقدار روی دانه ($p < ۰/۰۱$) و در سال دوم سبب تغییرات پروتئین و نیتروژن دانه شد ($p < ۰/۰۱$). این نتایج با یافته‌های فونتس و همکاران (۱۳) هم‌خوانی داشت. برهم‌کنش مقدار کود و تقسیط آن در سال نخست بر همه صفات کیفی ذرت ($p < ۰/۰۵$) و در سال دوم تنها بر پروتئین و نیتروژن دانه ($p < ۰/۰۱$) اثر معنی‌دار داشت.

مقایسه میانگین صفات کیفی در جدول (۵) نشان داد که بیش‌ترین پروتئین و نیتروژن دانه در سال نخست در شاهد وجود داشت. در سال دوم، بیش‌ترین مقدار نیتروژن و پروتئین در تیمار T1N1 مشاهده شد لیکن این تیمار تفاوت آماری معنی‌داری با شاهد نداشت. همچنین تقسیط نیتروژن در سه مرحله (تیمار T2) نسبت به تقسیط آن در چهار مرحله (تیمار T1) سبب کاهش نیتروژن (۱۲/۸ درصد) و پروتئین دانه (۱۳ درصد) شد. بیش‌ترین میزان روی در تیمار T1N1 در سال نخست مشاهده شد ولی در سال دوم تفاوت آماری معنی‌داری در میزان روی بین تیمارها وجود نداشت. مقایسه میانگین صفات کیفی در دو سال آزمایش نشان داد که در سال دوم

جدول ۵. مقایسه میانگین پروتئین، نیتروژن کل و روی در دانه ذرت.

Table 5. Mean comparisons of corn seed protein, nitrogen and zinc concentration.

Treatment تیمار	First year سال اول			Second year سال دوم		
	Seed protein (%) پروتئین دانه (درصد)	Seed nitrogen (kg ha^{-1}) نیتروژن دانه (کیلوگرم بر هکتار)	Seed zinc (mg kg^{-1}) میزان روی دانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	Seed protein (%) پروتئین دانه (درصد)	Seed nitrogen (kg ha^{-1}) نیتروژن دانه (کیلوگرم بر هکتار)	Seed zinc (mg kg^{-1}) میزان روی دانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
Control	10.19a	187a	35.97b	8.83a	98a	36.7a
T1N1	9.24b	169b	51.64a	8.95a	102a	36.6a
T1N2	9.43ab	158ab	44.96ab	8.30ab	98ab	37.1a
T1N3	7.94c	148c	39.51b	7.38bc	94bc	36.9a
T2N1	9.30b	161b	46.18ab	7.94ab	98ab	34.6a
T2N2	9.10b	132b	35.97b	6.53c	76c	33.9a
T2N3	9.05b	158b	34.33b	7.31bc	80bc	34.8a

در هر ستون، اعداد با حروف مشابه از نظر آماری براساس آزمون دانکن ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

In each column, the figures with the similar letter are not statistically different (Duncan, $p < 0.05$).

علاوه بر کاهش عملکرد دانه بر اثر بارندگی، صفات کیفی (شامل میزان نیتروژن و پروتئین دانه) نیز کاهش یافتند.

تلفات نیتروژن

بیش‌ترین درصد نیتروژن برگ در اواسط دوره رشد به شاهد و تیمار T2N3 و در انتهای دوره رشد به تیمارهای T2N1، T2N2، T2N3 و T1N3 اختصاص داشت (جدول ۶). براساس این نتایج، تقسیط کود نیتروژن در سه مرحله سبب جذب بیش‌تر نیتروژن توسط برگ گیاه در انتهای فصل رشد شد. گرچه این کار اثری بر افزایش عملکرد و صفات کیفی دانه نسبت به شاهد و تقسیط چهار مرحله‌ای کود نیتروژن نداشت. بیش‌ترین درصد نیتروژن خاک در دو لایه ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متر در تیمار شاهد مشاهده شد. کم‌ترین درصد نیتروژن در این دو عمق نیز در تیمار T2N3 به‌ترتیب با مقادیر ۲۴/۵ و ۲۴/۵ درصد کاهش مشاهده شد. تغییرات درصد نیتروژن در این دو عمق نشان داد که رابطه مستقیمی بین مقدار کود و درصد نیتروژن خاک وجود نداشت. در واقع، کاهش مقدار کود نیتروژن تغییری در درصد نیتروژن خاک ایجاد نکرد. در لایه ۶۰-۴۰ سانتی‌متر، بیش‌ترین و کم‌ترین درصد نیتروژن خاک به‌ترتیب در تیمارهای T1N2 و T2N3 مشاهده شد. مقایسه دو تقسیط T1 و T2 نشان داد که احتمالاً علت کم‌بودن درصد نیتروژن خاک در تیمار T2، افزایش جذب برگی آن‌ها است.

این نتایج با پژوهش‌های بیندر و همکاران (۴) هوخوانی داشت. این پژوهش‌گران نیز دسترسی بیش‌تر گیاه به نیتروژن را عامل مهمی در رشد اجزای عملکرد آن بیان کردند. بیش‌ترین و کم‌ترین تلفات نیتروژن در رواناب به‌ترتیب در تیمار T1N1 (۲۳ درصد) و شاهد (۷ درصد) مشاهده شد. با کاهش مقدار کود مصرفی، تلفات رواناب نیز کاهش یافت به‌طوری‌که در تیمارهای T1N2 و T1N3 این کاهش به‌ترتیب ۹ و ۱۴ درصد بود. کاهش رواناب در تقسیط سه مرحله‌ای (T2) تقریباً مشابه بود و از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت. بیش‌ترین بهره‌وری آب در تیمار T1N3 مشاهده شد و علت آن بیش‌تر بودن عملکرد دانه نسبت به سایر تیمارها بود. بهره‌وری آب در سایر تیمارها از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. تیمار T2N3 و شاهد کم‌ترین و تیمار T2N1 بیش‌ترین کارایی مصرف نیتروژن را داشتند. کارایی مصرف نیتروژن در

جدول ۶. مقایسه میانگین درصد نیتروژن در برگ، خاک و رواناب و بهره‌وری آب و کود

Table 6. Comparison of corn leaf nitrogen, soil and runoff

Treatment تیمار	Leaf nitrogen (%) نیتروژن برگ (درصد)		Percentage of nitrogen in soil درصد نیتروژن خاک			Runoff nitrogen (%) نیتروژن رواناب (درصد)	Water productivity ($kg\ m^{-3}$) بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	Fertilizer productivity ($kg\ kg^{-1}$) بهره‌وری کود (کیلوگرم بر کیلوگرم)
	S1	S2	0–20	20–40	40–60			
Control	1.98a	0.89bc	0.057a	0.053a	0.049b	7c	6.4b	15.1b
T1N1	1.59bc	0.94bc	0.049d	0.049b	0.049b	23a	7.4b	1.58ab
T1N2	1.49c	0.84c	0.051c	0.048b	0.051a	14b	9.6ab	1.60ab
T1N3	1.64bc	1.41a	0.053b	0.048b	0.047c	9bc	12.0a	1.56ab
T2N1	1.92ab	1.45a	0.044f	0.043c	0.043d	15b	8.4b	1.65a
T2N2	1.41c	1.65a	0.046e	0.043c	0.044d	14b	8.4b	1.53ab
T2N3	2.01a	1.25ab	0.043f	0.040d	0.039e	14b	7.0b	1.36c

در هر ستون، اعداد با حروف مشابه از نظر آماری براساس آزمون دانکن ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

In each column, the figures with the similar letter are not statistically different (Duncan, $p < 0.05$).

شرایط تقسیط چهار مرحله‌ای کود (T1) نسبت به یکدیگر از نظر آماری معنی‌دار نبود. دو تیمار T2N1 و T2N2 نیز تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. از این‌رو، براساس نتایج پژوهش حاضر، تنها درصورتی‌که تقسیط سه مرحله‌ای و با مقدار نیتروژن کم (۶۰ درصد) انجام شود، کارایی مصرف کود نیتروژن کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی تقسیط کود نیتروژن در سه و چهار مرحله تحت مقادیر مختلف پرداخته شد. رابطه منظمی بین مقدار کود مصرفی و صفات کمّی و کیفی ذرت مشاهده نشد. ولی تقسیط کود در چهار مرحله بر افزایش برخی صفات مانند عملکرد دانه، پروتئین و نیتروژن مؤثر بود. عواملی مانند کمبود بارش در طول فصل رشد می‌تواند اثرگذاری این روش را کاهش دهند. تغییرات نیتروژن جذب‌شده توسط برگ در طول فصل رشد نشان داد که تقسیط کود نیتروژن در سه مرحله سبب جذب بیش‌تر نیتروژن توسط برگ گیاه در انتهای فصل رشد شد. این عامل سبب کاهش درصد نیتروژن خاک در تقسیط سه مرحله‌ای شد. تلفات رواناب نیتروژن در تقسیط چهار مرحله‌ای بیش‌تر از شاهد و تقسیط سه‌مرحله‌ای نیتروژن بود. با توجه به نتایج این پژوهش، تقسیط نیتروژن در چهار مرحله می‌تواند به افزایش صفات کمّی و کیفی ذرت کمک کرده ولی سبب تلفات رواناب می‌شود. بیش‌ترین بهره‌وری آب در تیمار T1N3 مشاهده شد و تفاوت آماری در بهره‌وری آب سایر تیمارها مشاهده نگردید. بین تیمارهای مورد بررسی تفاوتی از نظر بهره‌وری کود نیز مشاهده نشد. بنابراین، با در نظر گرفتن کلیه شرایط، تیمار T1N2 به‌دلیل مطلوب‌بودن عملکرد دانه، صفات کیفی، بهره‌وری آب و کود نیتروژن و کمبود تلفات رواناب، به‌عنوان تیمار مناسب پیشنهاد می‌شود. به همین دلیل پیشنهاد می‌شود در مزارع ذرت این منطقه، کود نیتروژن در چهار تقسیط و براساس ۸۰ درصد نیاز مصرفی گیاه در سیستم آبیاری جویچه‌ای مصرف شود.

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, F., Chogan, R., Gheibi, M., 2015. Investigating the possibility of reducing nitrogen losses in corn under furrow fertigation. Final Report of The Research Project. (In Persian)
2. Adeyemi, O., Keshavarz-Afshar, R., Jahanzad, E., Battaglia, M.L., Luo, Y., Sadeghpour, A., 2020. Effect of wheat cover crop and split nitrogen application on corn yield and nitrogen use efficiency. *Agronomy* 10(8): 1081.
3. Banger, K., Wagner-Riddle, C., Grant, B.B., Smith, W.N., Drury, C., Yang, J., 2020. Modifying fertilizer rate and application method reduces environmental nitrogen losses and increases corn yield in Ontario. *Science of The Total Environment* 722: 137851.
4. Binder, D.L., Sander, D.H., Walters, D.T., 2000. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency. *Agronomy Journal* 92: 1228–1236.
5. Cakir, R., 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research* 89: 1–16.
6. Clark, J.D., Fernandez, F.G., Camberato, J.J., Carter, P.R., Ferguson, R.B., Franzen, D.W., Kitchen, N.R., Laboski, C.A.M., Nafziger, E.D., Sawyer, J.E., Shananhan, J.F., 2020. Weather and soil in the US Midwest influence the effectiveness of single- and split-nitrogen applications in corn production. *Agronomy* 112: 5288–5299.
7. FAO. 2014. Statistical Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO, Rome.
8. Gehl, R.J., Schmidt, J.P., Maddux, L.D., Gordon, W.B., 2005. Corn yield response to nitrogen rate and timing in sandy irrigated soils. *Agronomy Journal* 97: 1230–1238. https://doi.org/10.2134/ agronj2004.0303.
9. Marchezan, C., Ferreira, P.A., Silva, L.S., Bacca, A., Krug, A.V., Nicoloso, F.T., Tarouco, C.P., Tiecher, T.L., Brunetto, G., Ceretta, C.A., 2020. Nitrogen availability and physiological response of corn after 12 years with organic and mineral fertilization. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 20: 979–989.
10. Ministry of Agriculture. 2017. MAJ The Statistics of the Agriculture Deputy Directorate of Ministry of Agriculture. Available online at: http://zeraat.maj.ir. Accessed 2017.
11. Namihira, T, Shinzato, N., Akamine, H, Nakamura, I, Maekawa, H, Kawamoto, Y., Matsui, T., 2011. The effect of nitrogen fertilization to the sward on guineagrass (*Panicum maximum* Jacq cv. Gatton) silage fermentation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 24: 358–363.
12. Padmavathi, P., Gopalaswamy, N., 1995. Effect of time of nitrogen application, methods of weed control and sowing on yield and economics of maize. *Madras Agricultural Journal* 82: 460–461.
13. Preza-fontes, G., Pittelkow, C.M., Greer, K.D., Bhattarai, R., Christianson, L.E., 2021. Split-nitrogen application with cover cropping reduces subsurface nitrate losses while maintaining corn yields. *Journal of Environmental Quality* 50: 1408–1418.
14. Rhoads, F., Mansell, R., Hammond, L., 1978. Influence of water and fertilizer management on yield and water-input efficiency of corn. *Agronomy Journal* 70: 305–308.
15. Sadeghi, S.M., Noorhosseini, S.A., Damalas, Ch.A., 2018. Environmental sustainability of corn (*Zea mays* L.) production on the basis of nitrogen fertilizer application: The case of Lahijan, Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 95: 48–55.
16. Saxton, K.E., Rawls, W.J., 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Science Society of America Journal* 70: 1569–1578. https://doi.org/10.2136/ sssaj2005.0117.
17. Tavangar, M., Eshghizadeh, H.R., Gheysari, M., 2020. Evaluation of late maturing corn hybrids for yield and water use efficiency under different irrigation regimes and split-application of nitrogen fertilizer. *Journal of Water and Soil Science* 24(2): 235–249. (In Persian with English abstract)

J. Soil and Plant Interactions, Vol. 13, No. 4, Winter 2023, Isfahan Univ. Technol., Isf., Iran.
https://jspi.iut.ac.ir EISSN: 2783-5286 DOI: 10.47176/jspi.13.4.19821

Investigation of Nitrogen Losses, Corn Yield and Yield Components Under Different Amounts of Nitrogen Fertilizer and Fertigation Management Via Furrow Irrigation

F. Abbasi[1*], M. N. Gheibi[2] and A. Egdernezhad[3]

(Received: 14 January 2023; Accepted: 4 March 2023)

Abstract

The present study was conducted in the research field of Seed and Plant Improvement Research Institute to investigate the effect of fertilizer amount in three levels (N1: 100, N2: 80, N3: 60 percent of fertilizer requirement) and two splitting methods (T1: four equal usage including 4–6 leaf stage, 10 leaf stage, reproduction stage and inoculation stage and T2: three equal usage including 4–6 leaf stage, 10 leaf stage and reproduction stage) on corn yield and yield components. The treatments were compared with control which is the common fertilizer usage in the region. Based on the results, the highest grain yield in the first year was obtained in T1N1, T1N3 and control treatments. Grain yield in T2 was less than T1. Nitrogen splitting in T2 compared to T1 reduced the nitrogen content and grain protein content by 12.8% and 13%, respectively. Splitting of nitrogen fertilizer in three stages caused more nitrogen uptake by crop leaves at the end of the growing season; however, this did not increase grain yield and seed quality. Except for the control, no significant changes in soil nitrogen content were observed from surface to depth. The highest percentage of soil nitrogen was observed in the two layers of 0–20 and 20–40 cm in the control. The lowest content of soil nitrogen was observed in in T2N3 treatment with 24.5% (0–20 cm) and 24.5% (20–40 cm) more than control, respectively. The highest and lowest nitrogen losses in runoff were observed in T1N1 (23%) and control (7%), respectively. With the reduction of fertilizer application, runoff losses also decreased; in the T1N2 and T1N3 treatments, this reduction was 9% and 14%, respectively. Overall, T1N2 is recommended as a suitable treatment due to the high grain yield, seed quality and reduction of nitrogen losses.

Keywords: Furrow irrigation, Fertilizer losses, Fertilizer stress, Fertilizer irrigation, Grain nitrogen.

Background and Objectives: Although reducing the amount of nitrogen fertilizer can lessen the negative effects of its losses, but it reduces the yield and yield components of crops, including corn (1). Therefore, nitrogen splitting is considered as a suitable solution to combat the reduction of nitrogen fertilizer

1- Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering, Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
2- Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
3- Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
* Corresponding author, Email: fariborzabbasi@ymail.com

consumption (2). Corn is one of the most important grains in the world, which can be cultivated in most regions of the world. As the third most consumed grain in the world, this crop has a share of about 2.8% of grain consumption in the world. This crop is cultivated in most provinces of the country and is sensitive to nitrogen (3) consumption. Increasing available nitrogen improves seed yield and growth indicators.

Methods: To achieve this goal, the present study was carried out in the research field of Seed and Plant Improvement Research Institute on fertilizer amount in three levels (N1: 100, N2: 80, N3: 60 percent of fertilizer requirement) and two splitting methods (T1: Four equal usage including 4–6 leaf stage, 10 leaf stage, reproduction stage and inoculation stage and T2: three equal usage including 4–6 leaf stage, 10 leaf stage and reproduction stage) in two years. These treatments were compared with control which was the traditional fertilizer usage in the region. The planting operation of this variety was done in May every year with a density of 80 thousand plants per hectare. Irrigation was done based on the complete water requirement of the plant. To determine the amount of irrigation water, evaporation from the surface of class A pan and application of pan and plant coefficients were considered. Irrigation was done in the form of furrows and according to the custom of the region, with a cycle of seven days. For this purpose, five wells were considered for each treatment. Three middle furrows were considered for harvest and two side furrows were considered for the marginal effect. The distance between the stacks was 75 cm and their length were 115 meters. Irrigation treatments were applied 5 days after planting.

Results: The highest grain yield in the first year was obtained in T1N1, T1N3 and control treatments. Grain yield in T2 was less than T1. Nitrogen splitting in T2 compared to T1 reduced nitrogen and grain protein by 12.8% and 13%, respectively. Splitting of nitrogen fertilizer in three stages caused more nitrogen uptake by crop leaves at the end of the growing season; however, this did not increase grain yield and seed quality. Except for the control, no significant changes in soil nitrogen content were observed from surface to depth. The highest soil nitrogen content was observed in the two layers of 0–20 and 20–40 cm in the control. The lowest soil nitrogen content was observed in T2N3 treatment with 24.5% (0–20 cm) and 24.5% (20–40 cm) more than control, respectively. The highest and lowest nitrogen losses in runoff were observed in T1N1 (23%) and control (7%), respectively. With the reduction of fertilizer application, runoff losses also decreased, so that in T1N2 and T1N3 treatments, this reduction was 9% and 14%, respectively. Splitting of nitrogen in three stages (treatment T2) compared to division in four stages (treatment T1) decreased nitrogen (12.8%) and seed protein (13%). The highest uptake of zinc was observed in T1N1 treatment in the first year, but in the second year, there was no statistically significant difference in the zinc uptake between the treatments. The comparison of the average quality traits in two years of the experiment showed that in the second year, in addition to the decrease in seed yield due to rainfall, the quality traits (including the nitrogen uptake and seed protein) also decreased.

Conclusions: Overall, splitting nitrogen in four equal usage can help to increase the quantitative and qualitative traits of corn, but it causes runoff losses. Therefore, considering these two conditions, T1N2 treatment is suggested as a suitable treatment due to the favorable grain yield, quality traits, water and nitrogen fertilizer efficiency and lack of runoff losses.

References:

1. Abbasi, F., Chogan, R., Gheibi, M. 2015. Investigating the possibility of reducing nitrogen losses in corn under furrow fertigation. Final Report of The Research Project. (In Persian)
2. Sadeghi, S.M., Noorhosseini, S.A., Damalas, Ch.A. 2018. Environmental sustainability of corn (*Zea mays* L.) production on the basis of nitrogen fertilizer application: The case of Lahijan, Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 95: 48–55.
3. Tavangar, M., Eshghizadeh, H.R., Gheysari, M. 2020. Evaluation of late maturing corn hybrids for yield and water use efficiency under different irrigation regimes and split-application of nitrogen fertilizer. *Journal of Water and Soil Science* 24(2): 235–249. (In Persian with English abstract)