نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد هجدهم، شماره ۲(۷۰)، تابستان ۱۴۰۳، صفحه ۲۲۸-۲۰۹

مقاله پژوهشی DOI:

تاثیر کود فسفر و نوع و شیوه مصرف کودهای نیتروژنی بر عملکرد دانه و کارایی زراعی فسفر و مصرف آب ذرت

محمد کرمیان[۱] و محمدعلی ابوطالبیان[۲*]

تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۸/۰۲ تاریخ بازنگری:۱۴۰۱/۱۰/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲

چکیده

نوع و چگونگی کاربرد کودهای نیتروژنی می‌تواند در بهبود جذب فسفر خاک، رشد و عملکرد گیاه موثر باشد. بنابراین پژوهشی به‌صورت فاکتوریل سه عاملی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در بهار و تابستان ۱۳۹۸ در مزرعه آموزشی پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا اجرا شد. عامل اول نوع کود نیتروژنی با سه سطح اوره، سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم، عامل دوم شیوه مصرف کود نیتروژنی با دو سطح مصرف نواری و مصرف پخش و عامل سوم نیز کود فسفات در دو سطح مصرف و عدم مصرف بود. نتایج نشان داد در شرایط نبود فسفر، مصرف نواری نیترات آمونیوم نسبت به مصرف پخش آن بیشینه شاخص سطح برگ، وزن هزار دانه و کارایی مصرف آب را به‌ترتیب ۲۶/۸، ۲۹ و ۳۱/۳ درصد افزایش داد. بیشینه سرعت رشد محصول با مصرف نواری دو کود سولفات آمونیوم و اوره حدود ۱۵ درصد نسبت به نیترات آمونیوم افزایش یافت. در نبود فسفر مصرف نواری سولفات آمونیوم در مقایسه با دو کود دیگر تعداد ردیف دانه در بلال، عملکرد زیستی و عملکرد دانه را افزایش داد. در این پژوهش شاخص برداشت تنها تحت تأثیر شیوه مصرف نیترات آمونیوم قرار گرفت. دو کود اوره و سولفات آمونیوم کارایی زراعی فسفر را حدود ۳۵ درصد نسبت به نیترات آمونیوم بالاتر بردند و کاربرد نواری هر سه کود، کارایی زراعی فسفر را نسبت به مصرف پخش آن‌ها حدود ۲۵ درصد افزایش داد. به‌طورکلی توصیه می‌شود در زراعت ذرت، بخشی از کودهای نیتروژنی به‌ویژه سولفات آمونیوم به‌صورت نواری در زمان مصرف کود فسفر استفاده شود.

واژگان کلیدی: ردیف دانه در بلال، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، نیتروژن.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
(نگارنده مسئول) m.aboutalebian@basu.ac.ir

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) از غلات مهم دنیا است و پس از گندم بیشترین سطح زیر کشت جهان به آن اختصاص دارد. بر طبق آمار فائو در سال ۱۳۹۹ سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای در دنیا حدود ۲۰۲ میلیون هکتار با تولید ۱۱۶۲ میلیون تن بوده است. در صورتی‌که در این سال ایران تنها ۲۰۵ هزار هکتار سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای داشته‌است با تولید حدود ۱/۴ میلیون تن (Anonymus, 2020). طبق تحقیقات ثابت شده است که عملکردهای بالا در زراعت ذرت بدون مصرف کودهای شیمیایی و دامی حتی در اراضی حاصلخیز امکان‌پذیر نیست (Mazaheri and Majnoonhoseini, 2009). فسفر از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز گیاهان است که باعث رشد و قوی‌تر شدن ریشه‌ها، رشد و ضخیم‌تر شدن ساقه‌ها، پرحجم شدن دانه‌ها، افزایش میزان عملکرد دانه و زودرسی محصول می‌شود و در عمل تلقیح گل‌ها دخالت دارد (Kumari, 2017). فسفر در کلیه فرایندهای بیوشیمیایی، ترکیبات انرژی‌زا و سازوکارهای انتقال مواد مشارکت دارد ولی در عین حال نسبت به دیگر عناصر پرمصرف، تحرک بسیار کمی در خاک دارد (Kumari, 2017)، زیرا با یون‌های خاک واکنش می‌دهد و به صورت غیرقابل جذب در می‌آید (Song *et al*., 2010). دسترسی به فسفر کافی در مراحل اولیه رشد ذرت به اندازه نیتروژن حیاتی است و البته کمبود آن در اغلب موارد در مراحل اولیه فصل رشد گیاه مشاهده می‌شود (Fageria *et al*., 2013). عوامل تأثیرگذار زیادی بر قابلیت جذب فسفر وجود دارد که pH محیط رشد ریشه، یکی از مهم‌ترین آنها است (Cerozi and Fitzsimmons, 2016). اکثر کودهای نیتروژنی به ویژه سولفات آمونیوم با کاهش pH در محدوده مکان مصرف خود می‌توانند جذب عناصری مثل فسفر را افزایش دهند (Fageria *et al*., 2010). بنابراین، در صورتی که کودهای نیتروژنی هم‌زمان به‌صورت نواری با کود فسفاته مصرف شوند امکان افزایش جذب فسفر بیشتر می‌شود. گزارش شده است که تأثیر و هم افزایی نیتروژن بر جذب بیشتر فسفر به دلیل اثر آن بر رشد بیشتر ریشه و کاهش pH خاک است (Song *et al*., 2010). از سوی دیگر خاک‌های اکثر مناطق ایران آهکی و سنگین هستند که باعث کاهش کارایی جذب کودهای فسفر و تثبیت آن در خاک می‌شود بنابراین کاهش pH در محدوده مصرف کود فسفات می‌تواند در این خاک‌ها سودمند باشد (Mirza Shahi, 2011). تحقیقات نشان می‌دهد که پتانسیل کودهای نیتروژنی در کاهش pH خاک متفاوت است و در این میان کود سولفات آمونیوم در مقایسه با نیترات آمونیوم و اوره توانایی اسیدی زایی بیشتری دارد (Fageria *et al*., 2010). بنابراین، انتظار می‌رود با مصرف هم‌زمان کودهای فسفاته و نیتروژنی میزان جذب فسفر خاک افزایش یابد و حتی سبب بهبود کارایی استفاده از نیتروژن و عناصر غذایی کم‌مصرف گردد (Cerozi and Fitzsimmons, 2016). در ذرت پاپ کورن مصرف همزمان نصف نیتروژن با فسفر تحت شرایط خاک‌های آهکی سبب افزایش کل ماده خشک این محصول گردیده است (Kumari, 2017). طی تحقیقی در غنا روی ذرت گزارش شده است که مصرف ترکیبی کودهای نیتروژن و فسفر متوسط عملکرد دانه را ۲۹۴ درصد و مقدار برگشت زیست توده ذرت را به خاک ۶۰ تا ۷۰ درصد نسبت به عدم کاربرد این کودها افزایش داده است (Naab *et al*., 2015).

همچنین گزارش شده است مصرف نواری ۳۴ درصد مجموع کودهای فسفر، پتاسیم و نیتروژن (به صورت اوره) مورد نیاز جو در شرایط خاک‌ورزی مرسوم منجر به افزایش جذب نیتروژن و پتاسیم این گیاه و بهبود توان پنجه‌زنی و عملکرد آن به‌ویژه در محیط سردتر شده است (Cochran and Schlentner, 1992). در پژوهشی روی گیاه سویا گزارش شده است که مصرف نواری نیتروژن همراه با فسفر عملکرد دانه را نسبت به مصرف پخش آن ۱۱/۴ درصد افزایش داده است و منجر به بهبود کارایی زراعی فسفر تا حدود ۳۵ درصد به‌ویژه در شرایط تنش رطوبت شده است (Sadeghi and Aboutalebian, 2019). طبق نتایج به‌دست آمده در گیاه کتان روغنی، مصرف ترکیبی نیتروژن با فسفر سبب تجمع بیشتر ماده خشک در اندام هوایی بین ۱۲ تا ۵۹ درصد شده است، همچنین شاخص برداشت فسفر و کارایی زراعی آن به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است (Wu *et al*., 2016). بنابراین، پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر نوع و شیوه مصرف کودهای نیتروژنی بر کارایی زراعی فسفر، رشد و عملکرد ذرت انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به منظور درک اثر متقابل نوع کودهای نیتروژنی و روش مصرف آنها بر عملکرد، کارایی زراعی فسفر و شاخص‌های فیزیولوژیکی ذرت، در بهار و تابستان ۱۳۹۸ در مزرعه آموزشی-پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا (طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی قرار دارد و دارای ارتفاع ۱۷۳۱ متر از سطح دریا) انجام شد. بر پایه آمار هواشناسی ۵۵ ساله منطقه اجرای آزمایش جزو مناطق نیمه خشک و سرد، با میانگین بارش سالیانه ۳۳۳ میلی‌متر و میانگین دمای ۲۴ درجه سلسیوس در گرم‌ترین ماه سال است. میانگین دمای ماه‌های خرداد تا شهریور ۱۳۹۸ به‌ترتیب ۱۹/۹، ۲۵، ۲۵/۷ و ۲۱/۳ درجه سلسیوس بوده است و بارشی در این مدت نازل نشده است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش نیز در جدول ۱ ارایه شده است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل سه عاملی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول، نوع کود نیتروژنی (بر اساس مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) شامل سه سطح اوره (بر اساس ۴۶ درصد نیتروژن به میزان ۴۳۵ کیلوگرم اوره در هکتار)، سولفات آمونیوم (بر اساس ۲۱ درصد نیتروژن به میزان ۹۵۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم در هکتار) و نیترات آمونیوم (بر اساس ۳۴ درصد نیتروژن، به میزان ۵۸۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم در هکتار) بود. فاکتور دوم، شیوه مصرف کود نیتروژنی شامل دو سطح مصرف نواری و مصرف پخش بود. در هر دو شیوه مصرف، نیمی از کود نیتروژنی (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در زمان کاشت و نیم دیگر قبل از ظهور گل‌آذین نر استفاده شد. در مصرف نواری، میزان ۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، هنگام کاشت به‌صورت نواری (Dev, 1964) در ۵ سانتی‌متری زیر بذر مصرف شد که به‌ترتیب معادل ۸۷، ۱۹۰ و ۱۱۸ کیلوگرم در هکتار از کودهای اوره، سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم بود. ۶۰ کیلوگرم در هکتار دیگر نیز به‌صورت پخش در خاک مصرف شد. در روش مصرف پخش نیز، تمام ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از هر سه نوع کود در هنگام کاشت با خاک مخلوط شدند. فاکتور سوم نیز کود فسفات بود که در دو سطح مصرف (بر اساس توصیه آزمون خاک) و

عدم مصرف تنظیم گردید. مقدار مصرف فسفات در تیمارهایی که به‌کار رفت بر اساس آزمون خاک (جدول ۱) برابر با ۹۲ کیلوگرم در هکتار فسفات (P_2O_5) بود که از منبع سوپرفسفات تریپل با ۴۶ درصد فسفات تامین گردید. لازم به توضیح است که در تیمارهای مصرف نواری نیتروژن در زمان کاشت که کود فسفات نیز هم‌زمان به‌کار می رفت هر دو کود مخلوط و به‌صورت نواری استفاده شدند. رقم ذرت مورد استفاده هیبرید BC678 بود که از ارقام متوسط رس با طول دوره رشد حدود ۱۱۰ روز به شمار می آید و منشاء تولید آن کشور کرواسی است که در تاریخ ۲۰ خرداد ماه با تراکم ۷۲۲۰۰ بوته در هکتار کشت شد.کرت ها از ۵ خط به طول ۶ متر، با فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر تشکیل شدند که بین آنها ۱/۵ متر و بین بلوک‌ها دو متر فاصله در نظر گرفته شد. آبیاری کرت‌ها در طرح مورد نظر به‌صورت قطره‌ای با استفاده از نوار تیپ با فاصله نازل‌های ۲۰ سانتی متر و با دبی خروجی دو لیتر در ساعت از نازل انجام شد که برای هر ردیف کشت یک نوار آبیاری در نظر گرفته شد. جهت بررسی تأثیر تیمارهای اعمال شده بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد ذرت بعد از مرحله ۴ برگی، هر ۱۴ روز یک بار از تیمارهای مورد بررسی، جهت به دست آوردن شاخص سطح برگ و ماده خشک کل، نمونه‌برداری به‌عمل آمد. در هر نمونه‌برداری تعداد ۵ بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی با در نظر گرفتن اثر حاشیه، کف بر شدند. سطح برگ‌ها بر اساس رابطه (طول برگ × بیشینه عرض برگ × ۰/۷۵) تعیین شد (Moll and Kamparth, 1977). برای اندازه‌گیری ماده خشک کل نیز بوته‌ها به قطعات کوچک‌تر خرد شد و به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سلیسیوس قرار داده شدند سپس با ترازویی با دقت یک صدم گرم توزین شدند. برای ترسیم روند تغییرات شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول به‌ترتیب از روابط ۱ تا ۴ استفاده شد (Monte *et al*., 2013).

$TDM= Exp(a+ bx+ cx^2)$	رابطه ۱
$LAI= Exp(a'+b'x+c'x^2)$	رابطه ۲
$NAR= (b+2cx)\times Exp[(a-a')+(b-b')x + (c-c')x^2]$	رابطه ۳
$CGR= NAR\times LAI$	رابطه ۴

a، b، c، a' ،b' و c' ضرایب معادلات رگرسیونی، TDM ماده خشک کل، LAI شاخص سطح برگ، NAR سرعت فتوسنتز خالص و CGR سرعت رشد محصول هستند. ضمناً بیشینه‌های شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول نیز که با استفاده از روابط ۲ و ۴ به‌دست آمد، مورد آنالیز واریانس و مقایسه میانگین قرار گرفت. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی، برداشت دو متر مربع از ردیف‌های داخلی هر کرت، به روش دستی و با احتساب نیم‌متر حاشیه از بالا و پایین کرت‌ها انجام گرفت و صفات تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، وزن ۱۰۰۰ دانه (با استفاده از میانگین ۱۰ بلال در هر واحد آزمایشی)، عملکرد زیستی، عملکرد دانه و شاخص برداشت اندازه‌گیری و محاسبه شدند. شاخص برداشت از نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد زیستی به صورت درصد محاسبه گردید (Amanullah *et al*., 2010). برای محاسبه کارایی مصرف آب آبیاری از نسبت عملکرد دانه تولید شده برحسب کیلوگرم در هکتار بر حجم آب مصرف شده برحسب مترمکعب در هکتار استفاده شد. زمان آبیاری کرت‌ها با استفاده از رابطه ۵ (Mazaheri and Majnoonhoseini, 2009) مقدار

آب لازم برای رسیدن به حد ظرفیت زراعی تعیین شد و با در نظر گرفتن متوسط دبی نازل‌ها، مقدار آب محاسبه شده با تعیین زمان آبیاری به کرت‌ها داده شد.

رابطه۵ $$V = (Fc - Po) \times As \times D \times 100$$

V: حجم آب برحسب متر مکعب در هکتار، Fc: درصد رطوبت وزنی خاک در مرحله ظرفیت زراعی (۲۸/۵۶ درصد)، P_0: درصد رطوبت وزنی خاک در زمان آبیاری، As: وزن مخصوص ظاهری خاک (۱/۴۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D: عمق توسعه یا گسترش ریشه (۳۰ سانتی‌متر). کل مقدار آب مصرف شده در تمام کرت‌ها حدود ۹۳۰۰ مترمکعب در هکتار بوده است. جهت محاسبه کارایی زراعی فسفر از رابطه ۶ استفاده گردید (Sadeghi and Aboutalebian, 2019).

رابطه۶ $$\frac{\text{عملکرد کود نخورده} - \text{عملکرد کود خورده}}{\text{کود مصرف شده}}$$

تجزیه واریانس داده‌ها پس از آزمون نرمال بودن باقیمانده داده‌ها، با استفاده از نرم افزار SAS (V. 9.2) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری پنج درصد استفاده شد. برای مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها از نرم‌افزار MSTAT-C استفاده شد، رسم شکل‌ها با نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

نتایج و بحث

بیشینه شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ در تمامی تیمارها در ابتدای فصل با گذشت زمان رو به افزایش گذاشت و پس از رسیدن به حداکثر خود در مرحله ابریشم‌دهی (خروج گل‌آذین نر) با افزایش سایه اندازی و زرد شدن و ریزش برگ‌های پایین کانوپی، روند کاهشی نشان داد (شکل ۱). به حداکثر رسیدن شاخص سطح برگ ذرت در مرحله ابریشم‌دهی و سپس روند نزولی شاخص سطح برگ ذرت، توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است (Mehdizadeh *et al*., 2012). بر اساس نتایج حاصل از شکل ۱، در هر سه نوع کود مصرف نواری نیتروژن به همراه کود فسفر بیشترین شاخص سطح برگ را ایجاد کرده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از بین عوامل مورد بررسی تنها اثر اصلی کاربرد فسفر و اثر متقابل سه گانه کاربرد انواع کود نیتروژنه، روش مصرف و کاربرد فسفر بر حداکثر شاخص سطح برگ معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد همه تیمارهایی که در آنها اوره و سولفات آمونیوم به‌صورت نواری مصرف شده بودند بین دو حالت مصرف و عدم مصرف فسفر تفاوت معنی‌داری داشت اما در مورد کود نیترات آمونیوم چنین نبود. گزارش شده است که دو کود سولفات آمونیوم و اوره توانایی اسیدی زایی بالاتری نسبت به نیترات آمونیوم دارند (Fageria *et al*., 2010). به‌طورکلی در شرایط حضور فسفر بین نوع کودهای نیتروژنی و روش مصرف آنها تفاوتی به لحاظ بیشینه شاخص سطح برگ مشاهده نشد اما در شرایط نبود فسفر، مصرف نواری نیترات آمونیوم در مقایسه با مصرف پخش آن، افزایش ۲۶/۸ درصدی در بیشینه شاخص سطح برگ ذرت ایجاد کرد (شکل ۲) که به نظر می‌رسد علت آن به خاصیت اسیدی‌زایی کمتر نیترات آمونیوم بر می‌گردد. در پژوهشی مشابه مصرف نواری کود نیتروژنی از طریق تمرکز بیشتر در ناحیه ریزوسفر عامل افزایش حلالیت فسفر خاک عنوان شده است (Cerozi and Fitzsimmons, 2016). گزارش شده است که کمبود فسفر در ذرت به‌ویژه در مرحله ۷ تا ۱۴

برگی منجر به کاهش ۶۰ درصدی شاخص سطح برگ شد (Plenet *et al*., 2000).

بیشینه سرعت رشد محصول

سرعت رشد محصول شاخصی است که میزان تجمع ماده خشک را در واحد زمان و سطح زمین نشان می‌دهد. در ابتدای فصل رشد به دلایلی همچون کافی نبودن سطح برگ و پوشش گیاهی، پایین بودن درصد جذب تابش، کوتاه بودن روزها و دمای پایین هوا، سرعت رشد محصول نیز پایین است و پس از مدتی به‌دلیل توسعه سطح برگ گیاه و افزایش جذب تشعشع خورشیدی به بیشینه میزان خود می‌رسد و در ادامه با گذشت زمان و پیر شدن برگ‌ها رو به کاهش می‌گذارد (Rahmani and Aboutalebian, 2021) روندی که در پژوهش حاضر نیز مشاهده شد (شکل ۳). بالاترین سرعت رشد در تیمارهای مختلف، طی محدوده زمانی ۶۰ تا ۷۰ روز پس از کاشت مشاهده شد به‌نحوی‌که در تیمارهایی که از سولفات آمونیوم و اوره استفاده شد بین مصرف و عدم مصرف فسفات از نظر زمان وقوع اوج سرعت رشد، تفاوت مشاهده شد، زیرا مصرف کودهای سولفات آمونیوم و اوره منجر به افزایش سریع‌تر شیب منحنی‌های سرعت رشد به‌دلیل بهبود جذب فسفر گردید (شکل ۳). در سویا نیز مصرف همزمان کودهای نیتروژن و فسفر به‌صورت نواری منجر به بهبود جذب فسفر شده است (Sadeghi and Aboutalebian, 2019)، از بین عوامل مورد بررسی تنها اثرات اصلی نوع کود نیتروژن و کاربرد فسفر و اثرات متقابل نوع کود نیتروژن در روش مصرف و نوع کود نیتروژن در کاربرد فسفر بر سرعت رشد محصول معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع کود نیتروژن در روش مصرف نشان داد که مصرف نواری دو کود اوره و سولفات آمونیوم نسبت به روش پخش آنها، بیشینه سرعت رشد محصول را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۴). در سودمندی سولفات آمونیوم می‌توان به حضور عنصر گوگرد اشاره کرد که هم در اسیدی‌تر کردن ریزوسفر و هم به‌عنوان یک عنصر غذایی مطرح است. گزارش شده است که مصرف سولفات آمونیوم در ذرت در مقایسه با اوره منجر به بهبود آسیمیلاسیون نیتروژن و افزایش عملکرد آن گردید (Cabenzas and Couto, 2007).

با توجه به شکل ۵ ملاحظه می‌شود که در دو نوع کود سولفات آمونیوم و اوره تفاوت معنی داری در مصرف و عدم مصرف کود فسفات مشاهده نشد اما عدم مصرف کود فسفات در شرایط کاربرد نیترات آمونیوم منجر به کاهش معنی‌دار بیشینه سرعت رشد ذرت گردید. به نظر می‌رسد دو کود سولفات آمونیوم و اوره در بهبود جذب فسفر نامحلول خاک بهتر از نیترات آمونیوم عمل کرده‌اند که با نتایج مربوط مصرف پخش نیترات آمونیوم در دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد فسفات بر روی بیشینه شاخص سطح برگ همین پژوهش (شکل ۲) هماهنگی دارد.

تعداد ردیف دانه در بلال

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از بین عوامل مورد بررسی اثرات اصلی نوع کود نیتروژن، فسفر و اثر متقابل سه گانه نیتروژن، فسفر و روش مصرف بر تعداد ردیف‌های دانه در بلال معنی دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه نشان داد در شرایط مصرف کود فسفات، نوع و شیوه مصرف کودهای نیتروژنی به جز در روش پخش نیترات آمونیوم، اثر معنی‌داری بر تعداد ردیف دانه در بلال نداشت اما در شرایط عدم مصرف فسفات، تنها کاربرد نواری کود

سولفات آمونیوم به افزایش تعداد ردیف دانه در بلال منجر شد (شکل ۶). از آنجا که در نبود فسفات، مصرف نواری سولفات آمونیوم نسبت به مصرف نواری اوره، تعداد ردیف دانه در بلال را ۱۹/۵ درصد افزایش داده است و با توجه به این که اظهار شده است عنصر فسفر در تشکیل دانه نقش مهمی ایفا می‌کند (Fageria *et al*., 2013)، می‌توان چنین نتیجه گرفت که مصرف نواری سولفات آمونیوم با بهبود انحلال فسفر موجود در نواحی ریزوسفر جذب این عنصر مهم را افزایش داده است. در تحقیقی گزارش شده است استفاده از کودهای سولفات آمونیوم و اوره به‌صورت خطی سبب کاهش pH خاک شد اما شدت این کاهش در مورد سولفات آمونیوم بیشتر بود (Fageria *et al*., 2010). مزیت دیگر کاربرد سولفات آمونیوم ممکن است به دارای بودن ۲۴ درصد گوگرد برگردد که به‌عنوان یکی از عناصر پر مصرف گیاه مطرح است (Cabenzas and Couto, 2007). بر طبق نتایج پژوهشی که روی سه هیبرید ذرت انجام شد، استفاده از ۵۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد در کنار مصرف کود نیتروژن سبب افزایش قابل توجه تعداد دانه در متر مربع و عملکرد گردید (Sanchez *et al*., 2019).

تعداد دانه در ردیف

نتایج تجزیه واریانس مربوط به تعداد دانه در ردیف نشان داد که اثرات اصلی نوع کود نیتروژن و فسفر و اثر متقابل سه گانه نوع کود نیتروژن، روش مصرف و فسفر در سطح احتمال ۱ درصد بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین تعداد دانه در ردیف با میانگین ۵۰/۹۳ مربوط به کاربرد سولفات آمونیم در روش نواری و در شرایط کاربرد فسفر به‌دست آمد که البته تفاوت معنی‌داری با تیمارهای پخش هر سه کود نیتروژنی در شرایط مصرف فسفر، نداشت. کمترین میزان دانه در ردیف نیز با میانگین ۴۱/۹۶ از اوره و نیترات آمونیم، در روش پخش در شرایط عدم مصرف فسفر به‌دست آمد (شکل ۷). در هر سه نوع کود نیتروژنی، کاربرد نواری سبب شد که تعداد دانه در ردیف فارغ تحت شرایط مصرف یا عدم مصرف فسفات تغییر معنی‌دار نکند اما کاربرد پخش کودهای نیتروژنی منجر به تفاوت معنی‌دار تعداد دانه در ردیف تحت تأثیر مصرف و عدم مصرف کود فسفات شد به‌طوری‌که عدم مصرف فسفات سبب کاهش تعداد دانه در ردیف شد (شکل ۷). این نتیجه در تایید نتایج به‌دست آمده روی تعداد ردیف دانه در بلال است. به بیان دیگر مصرف نواری کودهای نیتروژنی به‌ویژه سولفات آمونیوم این قابلیت را دارد که جذب فسفر خاک را که در ناحیه ریزوسفر قرار دارد افزایش دهد، موضوعی که در پژوهش مشابهی تایید شده است (Sadeghi and Aboutalebian, 2019). بر طبق نتایج یک تحقیق، حضور فسفر کافی در موفقیت گرده افشانی گیاه، عامل کلیدی محسوب می‌شود (Amanullah *et al*., 2010).

وزن هزار دانه

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که از بین عوامل مورد بررسی تنها اثرات اصلی روش مصرف کود نیتروژنی و کاربرد فسفر و اثر متقابل نوع کود نیتروژن در روش مصرف آن و اثر متقابل سه گانه نوع کود نیتروژن، روش مصرف و کاربرد فسفر بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه نشان داد که در حضور فسفر، تفاوتی بین نوع کود نیتروژنی و روش مصرف آن بر وزن هزار دانه وجود نداشت ولی در نبود فسفر مصرف پخش نیترات آمونیوم

کمترین وزن هزار دانه و مصرف پخش سولفات آمونیوم بیشترین وزن هزار دانه را سبب شد (شکل ۸). علت بالاتر بودن وزن هزار دانه تحت شرایط نبود فسفر در روش پخش سولفات آمونیوم به نظر می‌رسد اثر جبرانی اجزای عملکرد بر یکدیگر باشد، زیرا با توجه به شکل‌های ۶ و ۷ تعداد ردیف دانه در بلال و تعداد دانه در ردیف این تیمار کمتر از تیمار پخش سولفات آمونیوم در شرایط مصرف فسفات است. گزارش شده است که با کاهش تعداد دانه در بلال، وزن دانه‌ها به علت کاهش رقابت بین آنها افزایش می‌یابد (Haag *et al*., 2017). در هر حال آنچه مهم است تأمین کافی فسفر گیاه در هنگام پر شدن دانه است تا تضمین کننده جریان ترکیبات فتوسنتزی به سمت بذر در حال نمو باشد (Kumari, 2017). تأثیر قابل توجه مصرف نواری کود نیتروژنی به خوبی در مورد کود نیترات آمونیوم مشهود است زیرا در شرایط کمبود فسفر خاک، سبب افزایش حدود ۲۹ درصدی وزن هزار دانه نسبت به روش پخش آن شده است (شکل ۸). گزارش شده است که در شرایط مصرف نواری کود نیتروژنی، به علت تمرکز کود در ناحیه ریزوسفر و کاهش معنی‌دار pH خاک، جذب فسفر افزایش داشته است (Fageria *et al*., 2010).

عملکرد دانه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس از بین عوامل مورد بررسی اثر اصلی فسفر، اثرات متقابل دوگانه روش مصرف در نوع کود نیتروژن، نوع کود نیتروژن در فسفر و اثر متقابل سه گانه نوع کود نیتروزن، روش کاربرد نیتروژن و مصرف فسفر بر عملکرد دانه ذرت معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین عملکرد دانه ذرت با میانگین ۱۱/۴۳ تن در هکتار مربوط به تیمار سولفات آمونیوم، با روش مصرف نواری و کاربرد فسفر بود که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای پخش سولفات آمونیوم، مصرف نواری نیترات آمونیوم و مصرف نواری و پخش اوره تحت شرایط حضور فسفر نداشت اما در مقایسه با مصرف پخش نیترات آمونیوم (تحت شرایط مصرف فسفر) عملکرد را حدود ۲۹ درصد افزایش داد (شکل ۹). موضوع مهم‌تر آن است که تحت شرایط عدم مصرف کود فسفر، کاربرد نواری هر سه نوع کود نیتروژنی نسبت به مصرف پخش آنها، منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت شد. اما بهرحال مصرف نواری سولفات آمونیوم در مقایسه با مصرف نواری نیترات آمونیوم و اوره (تحت شرایط نبود کود فسفر) حدود ۲۰ درصد برتری عملکرد نشان داد (شکل ۹)، که ممکن است به حضور عنصر غذایی گوگرد نیز در این کود مرتبط باشد (Sanchez *et al*., 2019). کارایی کمتر نیترات آمونیوم ممکن است به علت شدیدتر بودن فرایند دنیتریفیکاسیون در این کود باشد. نتایج پژوهشی نشان می‌دهد که مصرف پخش کودهای دارای نیترات منجر به افزایش دنیتریفیکاسیون می‌شود (Fageria *et al*., 2010). بعضی از محققین، بین عوامل موثر در عملکرد، طول بلال، تعداد دانه در ردیف و تعداد دانه در بلال را از عوامل اصلی افزایش عملکرد دانه ذرت گزارش داده‌اند (Amanullah *et al*., 2010). در این پژوهش نتایج به‌دست آمده در مورد تأثیر تیمارها بر عملکرد با نتایج تأثیر آنها بر تعداد ردیف دانه در بلال و وزن هزار دانه هماهنگی نزدیکی نشان می‌دهد (شکل‌های ۶ و ۸).

عملکرد زیستی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی نوع کود نیتروژن، فسفر، اثر متقابل دوگانه روش

مصرف در نوع کود نیتروژن و کاربرد فسفر در نوع کود نیتروژن بر عملکرد زیستی معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع کود نیتروژن در روش مصرف نشان داد که بالاترین عملکرد زیستی با میانگین ۳۳/۰۲ تن در هکتار مربوط به کاربرد سولفات آمونیوم و روش نواری بود که البته با کود اوره و روش مصرف نواری نیترات آمونیوم اختلاف آماری نداشت. کمترین میزان نیز با میانگین ۲۳/۶۰ تن در هکتار مربوط به کاربرد نیترات آمونیوم به روش پخش بود (شکل ۱۰). موضوع قابل توجه در این شکل تفاوت معنی‌دار عملکرد زیستی در شیوه‌های مصرف کود نیترات آمونیوم است به‌طوری‌که مصرف نواری نیترات آمونیوم عملکرد زیستی را ۲۵/۸ درصد بیشتر از روش پخش آن افزایش داد (شکل ۱۰). احتمالاً چون نیمی از نیتروژن نیترات آمونیوم از نوع نیتراتی می‌باشد، آبشویی و تصعید ناشی از دنیتریفیکاسیون به خصوص در خاک‌های قلیایی سبب هرز رفتن بخش مهمی از نیتروژن این کود در روش پخش شده است (Chatterjee, 2020) زیرا در این شیوه مصرف پخش، سطح تماس کود با خاک بسیار بیشتر است اما در روش نواری مشکلات مذکور به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع کود نیتروژن در فسفر نیز نشان داد که بالاترین عملکرد زیستی مربوط به استفاده از اوره یا سولفات آمونیوم تحت شرایط کاربرد فسفر بود و کمترین میزان نیز مربوط به کاربرد اوره و نیترات آمونیوم در حالت عدم مصرف فسفر بود (شکل ۱۱). کودهای نیتروژنی که فقط بنیان آمونیوم دارند پتانسیل بیشتری در اسیدی کردن ناحیه مصرف خود نشان می‌دهند (Fageria *et al*., 2010) و البته این ویژگی در کود سولفات آمونیوم به دلیل داشتن بنیان سولفات نیز دو چندان می‌شود بنابراین می‌توانند در بهبود جذب عناصر کم تحرکی مانند فسفر نقش قابل توجهی ایفا نمایند. گزارش شده است که در شرایط کمبود فسفر محلول خاک، افزایش فعالیت هورمون‌هایی مانند اتیلن سبب توسعه بیشتر سیستم ریشه و کاهش تسهیم مواد فتوسنتزی به بخش هوایی می‌شود (Song *et al*., 2010) که می‌تواند نقش مهمی در کاهش عملکرد زیستی گیاهان مواجه با کمبود فسفر خاک داشته باشد.

شاخص برداشت

شاخص برداشت نشان‌دهنده میزان مواد فتوسنتزی انتقال یافته و ذخیره شده در دانه نسبت به کل مواد تولید شده در دوره‌های رویشی و زایشی است و به‌عنوان یک صفت مهم در ارزیابی تولید محصولات زراعی پیوسته مورد تاکید محققان قرار گرفته است (Amanullah *et al*., 2010). بررسی‌ها نشان داد که از بین عوامل مورد بررسی تنها اثر اصلی کاربرد فسفر و اثر متقابل نوع کود نیتروژنی و روش مصرف آن بر شاخص برداشت معنی‌دار شد (جدول ۲). بر اساس نتایج کاربرد فسفر شاخص برداشت به ۳۸/۴۴ درصد رسانید که در مقایسه با عدم مصرف فسفر، این شاخص را نزدیک به ۳۰ درصد افزایش داد. تغییرات شاخص برداشت وابستگی زیادی به تغییرات عملکرد دانه دارد و هر عاملی که باعث شود عملکرد دانه بیشتر از عملکرد زیستی تحت تأثیر قرار گیرد باعث تغییر شاخص برداشت می‌شود (Song *et al*., 2010). حضور فسفر کافی در خاک از طریق افزایش شاخص سطح برگ (شکل۲)، سرعت رشد محصول (شکل ۳)، تعداد ردیف دانه در بلال (شکل ۴) و وزن هزار دانه (شکل ۸) سبب افزایش عملکرد دانه و بهبود

شاخص برداشت گردیده است. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع کود نیتروژنی در روش مصرف آن نشان داد که تنها در کود نیترات آمونیوم بین دو روش مصرف پخش و نواری تفاوت معنی‌دار وجود داشت به‌طوری‌که مصرف نواری این کود در مقایسه با مصرف پخش آن شاخص برداشت را ۱۷/۴ درصد بهبود بخشید (شکل ۱۲). با توجه به تأثیر کم نیترات آمونیوم بر pH خاک (Fageria *et al*., 2010)، به‌نظر می‌رسد کاربرد نواری آن با تمرکز بیشتر در ناحیه ریزوسفر و افزایش حلالیت فسفر این بخش، منجر به افزایش جذب فسفر (Cerozi and Fitzsimmons, 2016) و در نتیجه افزایش شاخص برداشت شده است.

کارایی زراعی فسفر

نتایج تجزیه واریانس مربوط به کارایی زراعی فسفر نشان داد که اثرات اصلی نوع کود نیتروژن و روش مصرف آن در سطح احتمال ۱ درصد بر کارایی زراعی فسفر معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین سه نوع کود نیتروژنی نشان داد که دو کود سولفات آمونیوم و اوره به‌ترتیب با ۳۹/۰۱ و ۴۱/۷ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم فسفات در یک گروه آماری قرار گرفتند و کارایی زراعی نیترات آمونیوم با میزان ۲۹/۸۵ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم فسفات به‌طور معنی‌داری کمتر از دو نوع کود دیگر قرار گرفت. همچنین، مصرف نواری کودهای نیتروژنی با کارایی زراعی فسفر ۴۰/۷ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم فسفات، برتری ۲۵/۸ درصدی نسبت به کاربرد پخش آنها نشان داد. از آنجا که جذب مطلوب فسفر فاز محلول، در pH بین ۵/۵ تا ۷/۲ انجام می‌شود (Cerozi and Fitzsimmons, 2016) و خاک زراعی تحقیق حاضر pH بالایی داشته است (جدول ۱)، کاربرد دو نوع کود نیتروژنی اوره و سولفات آمونیوم با اثر گذاری بیشتر بر کاهش pH خاک (Fageria *et al*., 2010) توانسته‌اند کارایی جذب فسفر و حتی عناصر غذایی کم مصرف (Sanchez *et al*., 2019) را نسبت به کود نیترات آمونیوم افزایش بیشتری داده و منجر به افزایش کارایی زراعی فسفر شوند و بر اساس نتایج، کاربرد نواری کودهای نیتروژنی با تمرکز بیشتر کاهش pH در ناحیه رایزوسفر (Sadeghi and Aboutalebian, 2019) این سودمندی را افزایش می‌دهد.

کارایی مصرف آب

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر اصلی مصرف فسفر، اثر متقابل دوگانه نوع کود نیتروژنی در فسفر، نوع کود نیتروژنی در روش مصرف و اثر متقابل سه گانه نوع کود نیتروژنی، روش مصرف و کاربرد فسفر بر کارایی مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه نشان داد که بالاترین کارایی مصرف آب با میانگین ۱/۲۷ کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب از تیمار سولفات آمونیوم در روش نواری و تحت شرایط کاربرد فسفر به‌دست آمد که البته با همه تیمارهایی که در آن‌ها کود فسفر مصرف شده بود به جز مصرف پخش نیترات آمونیوم، تفاوت معنی‌دار نداشت (شکل ۱۳). به‌طورکلی، کاربرد فسفر با افزایش رشد ریشه و گسترش سطح تماس آن با خاک سبب بهبود جذب آب و عناصر غذایی و افزایش کارایی مصرف آب گیاه می‌شود (Song *et al*., 2010). طبق نتایج، در شرایط نبود مصرف فسفر، مصرف نواری هر سه نوع کود نیتروژنی در مقایسه با مصرف پخش آنها، منجر به افزایش قابل توجه کارایی مصرف آب گیاه گردید و بیشترین افزایش در کود نیترات آمونیوم با ۳۱/۳ درصد مشاهده شد. این افزایش در مورد کودهای اوره و سولفات آمونیوم به‌ترتیب ۲۸ و ۱۷/۸ درصد

بود (شکل ۱۳). بنابراین، می‌توان اظهار داشت کاربرد نواری بخشی از کودهای نیتروژنی مورد مصرف در هنگام کاشت، می‌تواند در بهبود کارایی مصرف آب از طریق افزایش جذب عناصر غذایی به ویژه فسفر (Fageria *et al*., 2013) مؤثر باشد و این بهبود در مصرف نواری کود نیترات آمونیوم بیشتر بوده است. کمتر بودن تفاوت کارایی مصرف آب در شیوه کاربرد پخش و نواری در کود سولفات آمونیوم شاید به این دلیل باشد که کود سولفات آمونیوم هم بصورت پخش و هم بصورت نواری تأثیر بیشتری بر کاهش pH خاک دارد (Fageria *et al*., 2010) ولی در مورد نیترات آمونیوم تأثیر بر کاهش pH عمدتاً در شرایط مصرف نواری حادث می‌شود.

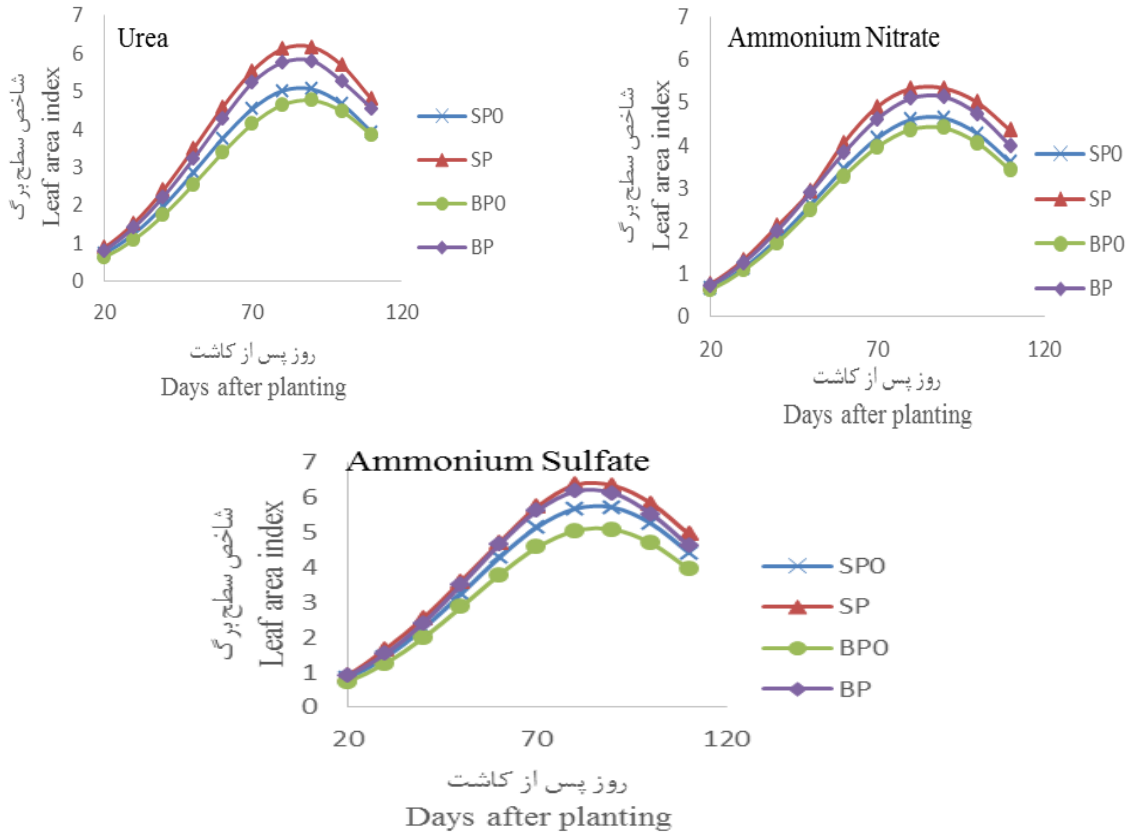
نتیجه‌گیری کلی

مصرف نواری هر سه نوع کود نیتروژنی همراه با کود فسفر سبب افزایش شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول شد البته در شرایط نبود کود فسفر شیب افزایش این دو شاخص کمتر شد. در نبود فسفر مصرف نواری سولفات آمونیوم تعداد ردیف دانه در بلال را زیاد کرد اما کاربرد اوره و نیترات آمونیوم در نبود فسفرکمترین تعداد دانه در ردیف بلال را سبب شدند. در این پژوهش کمترین وزن هزار دانه از مصرف پخش نیترات آمونیوم در شرایط نبود فسفر به‌دست آمد. البته شیوه مصرف نیترات آمونیوم دو صفت مهم عملکرد زیستی و شاخص برداشت را تحت تأثیر قرار داد به‌طوری‌که مصرف نواری نیترات آمونیوم نسبت به مصرف پخش آن منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد زیستی و شاخص برداشت گردید و بیشترین عملکرد دانه از مصرف نواری سولفات آمونیوم همراه با کود فسفر به‌دست آمد. بالاترین کارایی زراعی فسفر از مصرف کود سولفات آمونیوم و کمترین آن از مصرف کود نیترات آمونیوم ایجاد شد. در پژوهش حاضر کارایی مصرف آب با کاربرد نواری هر سه نوع کود نیتروژنی تحت شرایط نبود فسفر، افزایش معنی‌داری نشان داد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک)

Table 1- Physical and chemical characteristics of experimental soil (soil depth 0-30 cm)

بافت خاک Soil Texture	هدایت الکتریکی EC ($dS\ m^{-1}$)	اسیدیته pH	ماده آلی Organic carbon (%)	P ($mg\ kg^{-1}$)	K ($mg\ kg^{-1}$)	Total N (%)
Silty Clay Loam	0.298	8.1	0.9	3.7	126	0.12

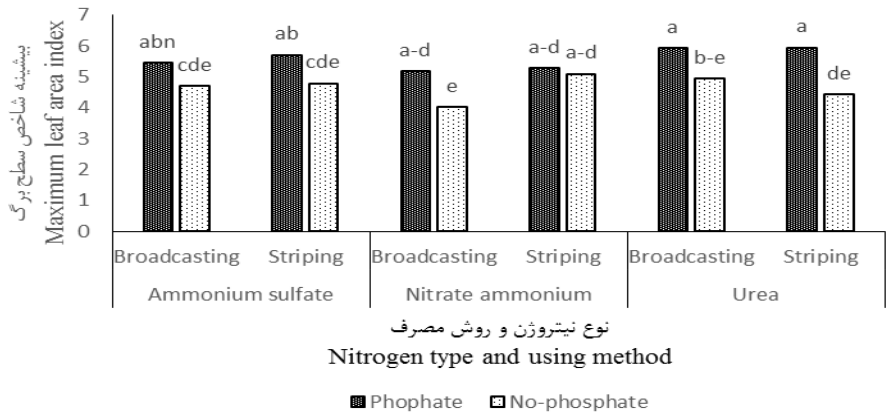


شکل ۱-روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد تحت تأثیر نوع کود نیتروژن، روش مصرف و کاربرد فسفر

Figure 1- The trend of changes in leaf area index during growth season under the influence of nitrogen fertilizer, method of nitrogen application and application of phosphorus

(P0= نبود فسفات، P= کاربرد فسفات، B= مصرف پخش، S= مصرف نواری)

(S= Striping, B= Broadcasting, P= using Phosphate, P0= No-phosphate)



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع کود نیتروژن، روش مصرف و فسفر بر بیشینه شاخص سطح برگ

Figure 2- Comparison of the mean interaction of nitrogen fertilizer type, application method and phosphorus on the maximum leaf area index

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کود فسفر، نوع و روش مصرف کود نیتروژنی بر صفات مورد بررسی ذرت در همدان طی سال ۱۳۹۸

Table 2- Analysis of variance (mean squares) for the effects of phosphorus fertilizer, type and method of nitrogen fertilizer application on corn traits in Hamedan during 2019

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	بیشینه شاخص سطح برگ Maximum leaf area index	بیشینه سرعت رشد محصول Maximum crop growth rate	تعداد ردیف در بلال Number of rows / corn	تعداد دانه در ردیف Number of seeds / row	وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	کارایی مصرف آب Water use efficiency
بلوک Block	2	0.05^{ns}	6.04^{ns}	0.75^{ns}	5.02^{ns}	140.58^{ns}	0.32^{ns}	12.74^{ns}	7.13^{ns}	0.03^{ns}
نیتروژن Nitrogen (N)	2	0.53^{ns}	153.31^{**}	6.40^{*}	25.83^{**}	412.75^{ns}	1.15^{ns}	58.96^{**}	29.67^{ns}	0.01^{ns}
روش مصرف Use method (U)	1	0.28^{ns}	7.21^{ns}	2.40^{ns}	6.93^{ns}	2193.36^{**}	0.41^{ns}	18.25^{ns}	8.86^{ns}	0.01^{ns}
فسفات Phosphate(P)	1	7.64^{**}	9.36^{**}	35^{**}	101.33^{**}	26732^{**}	140^{**}	169.21^{**}	706.14^{**}	1.16^{**}
N × U	2	0.53^{ns}	43.84^{*}	0.66^{ns}	7.03^{ns}	2212^{**}	7.69^{*}	51.41^{**}	103.41^{*}	0.07^{**}
N × P	2	0.27^{ns}	74.03^{**}	1.19^{ns}	0.01^{ns}	328.58^{ns}	5.43^{*}	10.87^{*}	16.42^{ns}	0.05^{*}
U× P	1	0.01^{ns}	2.60^{ns}	2.20^{ns}	7.47^{ns}	42.25^{ns}	0.42^{ns}	1.19^{ns}	0.01^{ns}	0.01^{ns}
N × U × P	2	5.44^{*}	12.92^{ns}	5.50^{*}	22.32^{**}	5279^{**}	4.68^{*}	3.13^{ns}	41.44^{ns}	0.04^{*}
خطای آزمایشی Error	22	0.29	10.69	1.50	3.85	215.91	1.37	5.20	19.80	0.01
ضریب تغییرات C.V. (%)		10.56	7.35	7.64	4.18	5.33	11.98	7.95	13.08	11.98

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک پنج و یک درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

*, ** and ns significant at 5 and 1% probability levels and non-significant, respectively.

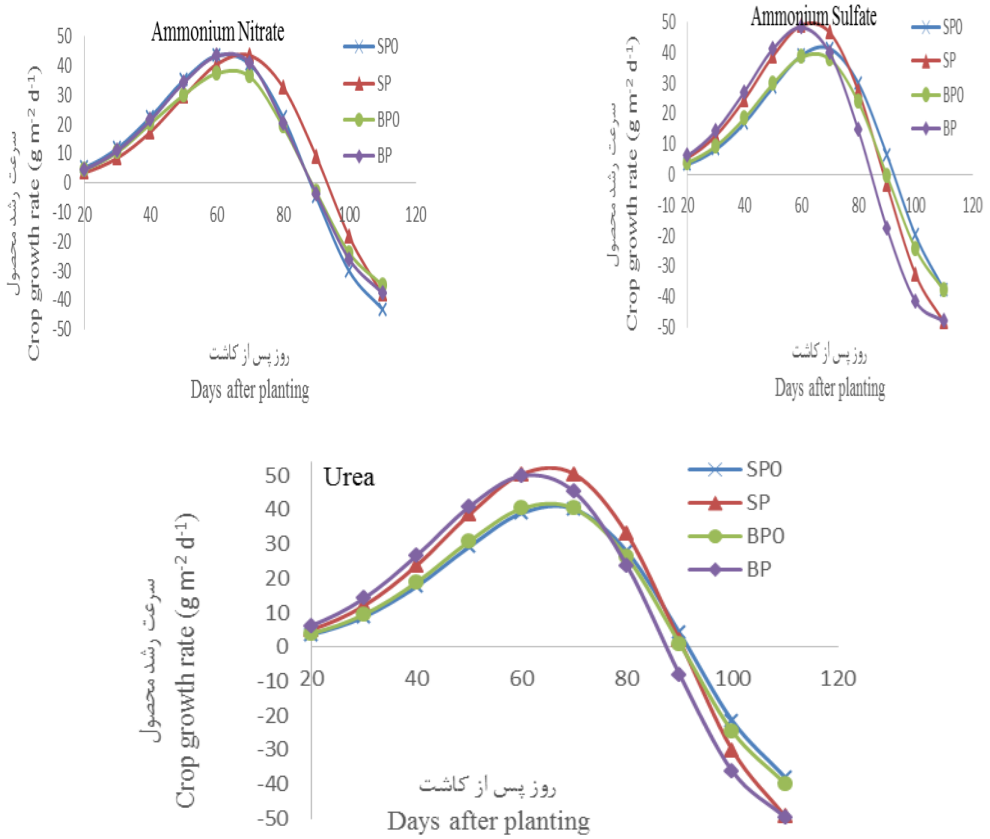
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای بکار رفته بر کارایی زراعی فسفر ذرت

Table 3- Analysis of variance (mean squares) of the effect of treatments used on the phosphorus agronomic efficiency of corn

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	کارایی زراعی فسفر Phosphorus agronomic efficiency
بلوک Block	2	0.03^{ns}
نیتروژن Nitrogen (N)	2	205.02^{**}
روش مصرف Use method (U)	1	304.17^{**}
N × U	2	7.78^{ns}
خطای آزمایشی Error	10	9.06
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	8.24

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک پنج و یک درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

*, ** and ns significant at 5 and 1% probability levels and non-significant, respectively.

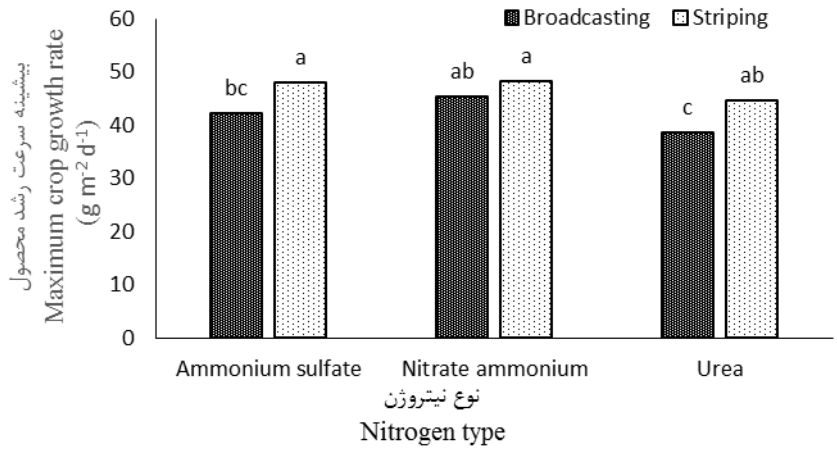


شکل ۳–روند تغییرات سرعت رشد محصول در طول فصل رشد تحت تأثیر نوع کود نیتروژن، روش مصرف و کاربرد فسفر

Figure 3- The trend of changes in crop growth rate during growth season under the influence of nitrogen fertilizer, method of nitrogen application and application of phosphorus

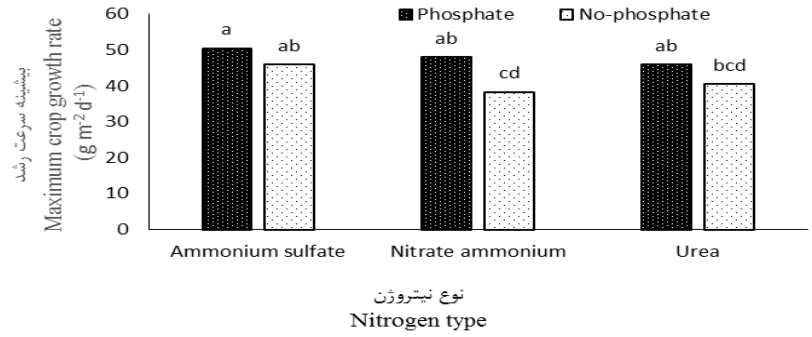
(P0= نبود فسفات، P= کاربرد فسفات، B= مصرف پخش، S= مصرف نواری)

(S= Striping, B= Broadcasting, P= using Phosphate, P0= No-phosphate)



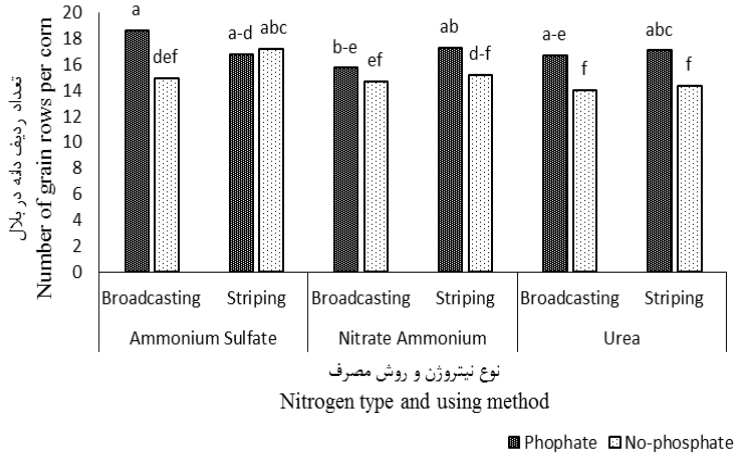
شکل ۴– مقایسه میانگین اثر متقابل انواع کود نیتروزنی در روش کاربرد بر بیشینه سرعت رشد محصول

Figure 4 - Comparison of the mean interaction of nitrogen fertilizer type and application method on the maximum crop growth rate



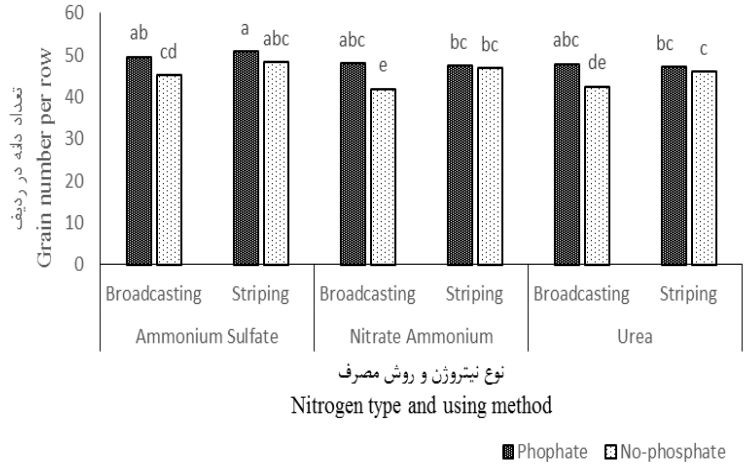
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع کود نیتروزنی در کاربرد فسفات بر بیشینه سرعت رشد محصول

Figure 5- Comparison of the mean interaction of nitrogen fertilizer type and phosphate application on the maximum crop growth rate



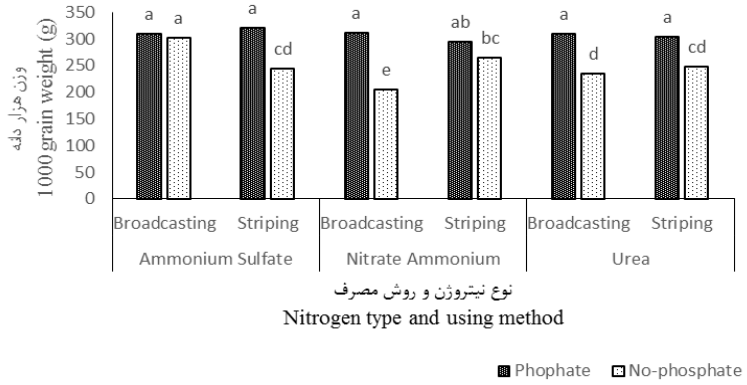
شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع کود نیتروژن، روش مصرف و فسفات بر تعداد ردیف دانه در بلال

Figure 6- Comparison of the mean interaction of nitrogen fertilizer type, application method and phosphate on the row grain number per corn



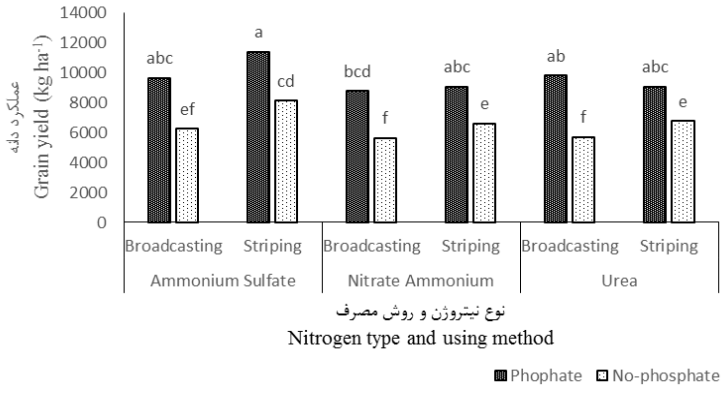
شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع کود نیتروژن، روش مصرف و فسفات بر تعداد دانه در ردیف بلال

Figure 7- Comparison of the mean interaction of nitrogen fertilizer type, application method and phosphate on the grain number per row



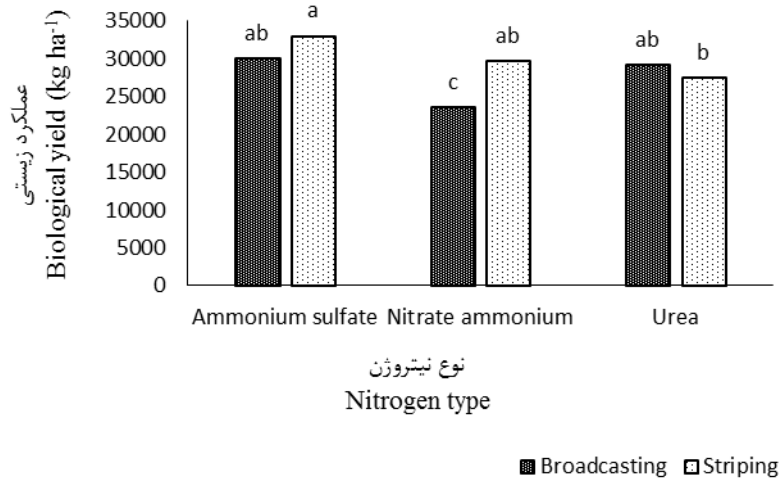
شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع کود نیتروژن، روش مصرف و فسفات بر وزن هزار دانه بلال

Figure 8- Comparison of the mean interaction of nitrogen fertilizer type, application method and phosphate on the 1000 grain weight of corn



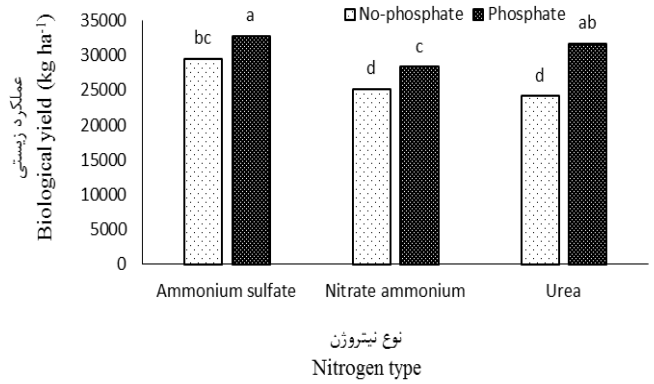
شکل ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع کود نیتروژن، روش مصرف و فسفات بر عملکرد دانه ذرت

Figure 9- Comparison of the mean interaction of nitrogen fertilizer type, application method and phosphate on the grain yield of corn



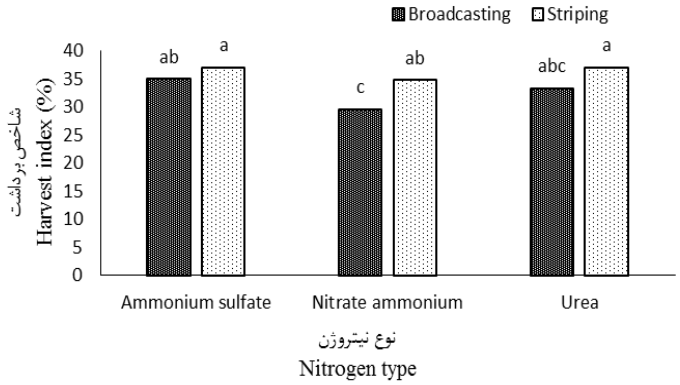
شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع کود و روش مصرف نیتروژن بر عملکرد زیستی ذرت

Figure 10- Comparison of the mean interaction of nitrogen fertilizer type and application method on the biological yield of corn



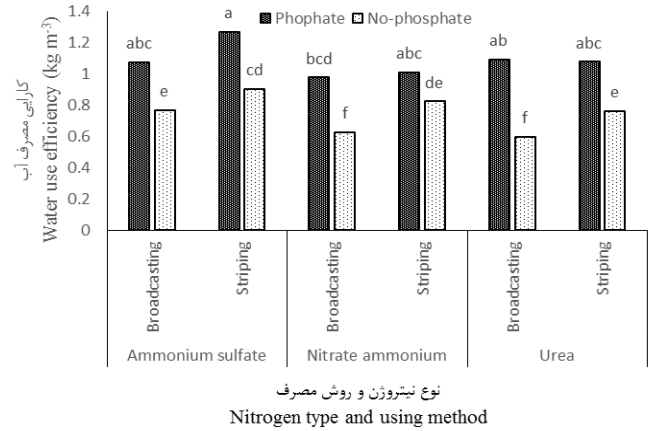
شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع کود نیتروژن و مصرف فسفات بر عملکرد زیستی ذرت

Figure 11- Comparison of the mean interaction of nitrogen fertilizer type and phosphate application on the biological yield of corn



شکل۱۲ – مقایسه میانگین اثر متقابل نوع کود و شیوه مصرف نیتروژن بر شاخص برداشت ذرت

Figure 12- Comparison of the mean interaction of nitrogen fertilizer type and application method on the harvest index of corn



شکل ۱۳- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع کود نیتروژن، روش مصرف و فسفات بر کارایی مصرف آب ذرت

Figure 13- Comparison of the mean interaction of nitrogen fertilizer type, application method and phosphate on the water use efficiency of corn

References منابع مورد استفاده

- Amanullah, J., M. Zakirullah, M. Tariq, K. Nawab, A.Z. Khan, S. Farhatullah, Z. Shah, S.K. Khalil, M. Sajid, Z. Hussain, and H. Hydayat-Ur-Rahman. 2010. Levels and time of phosphorus application influence growth, dry matter partitioning and harvest index in maize. *Pakistan Journal of Botany*. 42(6): 4051-4061.
- Anonymus. 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT statistical database. http://www.fao.org/faostat.
- Cabenzas, W.A.R.L., and P.A. Couto. 2007. Nitrogen immobilization of urea and ammonium sulphate applied to maize before planting or top-dressing in a no-till system. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 31(4): 739-52.
- Cerozi, B. da Silva, and K. Fitzsimmons. 2016. The effect of pH on phosphorus availability and speciation in an aquaponics nutrient solution. *Bioresource Technology*. 219: 778-781.
- Chatterjee, A. 2020. Extent and variation of nitrogen losses from non-legume field crops of conterminous United States. *Nitrogen*. 1(1): 34-51.
- Cochran, V.L., and S.F. Schlentner. 1992. Fertilizer placement for conventional and no-tillage barley in the subarctic. *Soil Science Society of America Journal*. 56: 1973-1978.
- Dev, G. 1964. Influence of nitrogen on the availability of fertilizer phosphorus. *Nature*. 203: 899.
- Fageria, N.K., A.B. dos Santos, and M. Morraes. 2010. Influence of urea and ammonium sulfate on soil acidity indices in lowland rice production. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 41(13): 1565-1575Fageria, N.K., A. Moreira, and A.B. dos Santos. 2013. Phosphorus uptake and use efficiency in field crops. *Journal of Plant Nutrition*. 36(13): 2013-2022.
- .Haag, L.A., J.D. Holman, J. Ranson, T. Roberts, S. Maxwell, M.E. Zarnstorff, and L. Murray. 2017. Compensation of corn yield components to late-season stand reductions in the central and northern Great Plains. *Agronomy Journal*. 109: 524–531.
- Kumari, S. 2017. Effect of nitrogen and phosphorus level on dry matter yield at different growth stages of popcorn in south Saurashtra region of Gujarat, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6(8): 547-553.
- Mazaheri, D., and N. Majnoonhoseini. 2009. *Fundamental of agronomy*. University of Tehran Publication, Tehran, Iran. 320 pages. (In Farsi).
- Mehdizadeh, A., M.A. Aboutalebian, J. Hamzei, and G. Ahmadvand. 2012. Effect of on-farm seed priming and weed control on emergence properties, some of growth indices, biological yield and grain yield of hybrid corn SC301 in Hamedan. *Cereal Research.* 2(1): 57-70. (In Persian).
- Mirza Shahi, K. 2011. Effect of phosphorus fertilizer application on yield and P uptake in the northern Khozestan. *Journal of Crop Physiology*. 4(13): 99-114. (In Persian)
- Moll, R.H., and E.J. Kamparth. 1977. Effect of population density upon agronomic traits associated with genetic increases in yield of *Zea mays* L. *Agronomy Journal*. 69(1): 81-84.

- Monte, J.A., D.F. Carvalho, L.O. Medici, L.D. B. da Silva, and C. Pimentel. 2013. Growth analysis and yield of tomato crop under different irrigation depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 17(9): 926-931.
- Naab, J.B., G.Y. Mahama, J. Koo, J.W. Jones, and K.J. Boote. 2015. Nitrogen and phosphorus fertilization with crop residue retention enhances crop productivity, soil organic carbon, and total soil nitrogen concentrations in sandy-loam soils in Ghana. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 102: 33-43.
- Plenet, D., S. Etchebest, A. Mollier, and S. Pellerin. 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. *Plant and Soil*. 223: 119–132.
- Rahmani, M., and M.A. Aboutalebian. 2021. Response of tuber yield and some physiological growth indices of potato to phosphate and mycorrhizae under moisture stress. *Journal of Crop Production and Processing*. 11(3): 35-49. (In Persian).
- Sadeghi, F., and M.A. Aboutalebian. 2019. Response of seed and oil yields and phosphorus agronomic efficiency of soybean to simultaneous placement of nitrogen with phosphorus under drought stress. *Journal of Crop Production and Processing*. 9: 191-204.
- Sanchez, M.G.B., G.A.R. Yzquierdo, and M.G.A. Escobar. 2019. Effect of nitrogen-sulfur fertilization on yield and quality of three corn genotypes differing in endosperm texture. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 20(3): 565-577.
- Song, C.J., K.M. Ma, L.Y. Qu, Y. Liu, X.L. Xu, B.J. Fu., and J.F. Zhong. 2010. Interactive effects of water, nitrogen and phosphorus on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Bauhinia faberi* seedlings. *Journal of Arid Environments*. 74: 1003-1012.
- Wu, B., Y.H. Gao, Y. Li, B. Yan, Z.J. Cui, Z.K. Zhang, and J.Y. Niu. 2016. Oil flax phosphorous transformation, distribution and utilization under nitrogen phosphorous combination on dry land. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*. 38(5): 619-625.

Research Article DOI:

The Effect of Phosphorus Fertilizer and the Type and Method of Application of Nitrogen Fertilizers on Grain Yield, Phosphorus Agronomic and Water Use Efficiencies of Corn

Mohammad Karamian[1] and Mohammad Ali Aboutalebian[2*]

eceived: October 2022 , Revised: 25 December 2022, Accepted: 2 January 2022

Abstract

The type and application method of nitrogen fertilizers can be effective in improving soil phosphorus uptake, plant growth and yield. Therefore, a three-factor factorial study was conducted based on a randomized complete block design with three replications in the spring and summer of 2019 in the research and educational farm of Bu-Ali Sina University. The first factor was the type of nitrogen fertilizer with three levels of urea, ammonium sulfate, and ammonium nitrate. The second factor was the method of nitrogen fertilizer application with two levels of banding and broadcasting application and the third factor was phosphate fertilizer in two levels of application and non-application. The results showed that in the absence of phosphorus, banding application of ammonium nitrate increased the maximum leaf area index, 1000-grain weight and water use efficiency by 26.8, 29, and 31.3%, respectively. The maximum crop growth rate was increased by 15% with the application of ammonium sulfate and urea compared to ammonium nitrate. In the absence of phosphorus fertilizer, the banding application of ammonium sulfate increased the number of grain rows per ear, biological yield and grain yield. In this study, the harvest index was only affected by the method of ammonium nitrate application. Two fertilizers of urea and ammonium sulfate increased the phosphorus agronomic efficiency by 35% compared to ammonium nitrate, and, banding application of all three nitrogen fertilizers increased the phosphorus agronomic efficiency by 25%. In general, it is recommended in corn cultivation, to band some nitrogen fertilizers especially ammonium sulfate with phosphorus fertilizer.

Key words: Crop growth rate, Leaf area index, Grain row per ear, Grain yield, Nitrogen.

1 Former M.Sc. Student of Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.
2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.
**Corresponding Authors: m.aboutalebian@basu.ac.ir*