



بررسی اثر کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژن و فسفر بر عملکرد و شاخص‌های کارایی عناصر غذایی در ذرت تحت تنش خشکی

صادق بهامین^۱، علیرضا کوچکی^{۲*}، مهدی نصیری محلاتی^۳، سید علیرضا بهشتی^۳

۱. دانشجوی دکترای آگروکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۰۴

چکیده

کاهش کارایی استفاده از عناصر مهمی چون فسفر و نیتروژن موجب صرف هزینه بیشتر برای تولید ذرت و کاهش کارایی اقتصادی کودها و زیان بیشتر محیط‌زیست به دلیل افزایش مصرف این کودها شده است. استفاده از کودهای زیستی تثبیت‌کننده نیتروژن از جمله روش‌های عملیات زراعی مطلوب است که می‌تواند باعث برطرف کردن این نقص شود. این آزمایش به منظور بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک و شیمیایی نیتروژن و فسفر بر عملکرد کمی و کیفی ذرت تحت تنش خشکی انجام شد. بدین منظور، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده با ۴ تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان مهران استان ایلام انجام شد. عامل اصلی شامل آبیاری در ۳ سطح شامل عدم تنش، ۷۵٪ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی بود. در کرت‌های فرعی نیز دو عامل بصورت فاکتوریل قرار گرفتند. عامل فرعی اول شامل کود نیتروژن به مقدار ۱۰۰٪ نیاز کودی (نیتروژن خالص) از طریق اوره، شاهد و کود بیولوژیک از توباکتر بود. عامل فرعی دیگر شامل کود فسفر به مقدار ۱۰۰٪ نیاز کودی (فسفر خالص) به شکل سوپر فسفات تریپل، شاهد و کود بیولوژیک سودوموناس اعمال بود. اثر متقابل سه گانه تنش و نیتروژن و فسفر بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. در تیمار آبیاری کامل همراه با تلقیح از توباکتر و سودوموناس بیشترین عملکرد به مقدار ۱۱۹۳۲ کیلوگرم در هکتار بود. در کلیه سطوح تنش و مصرف سوپرفسفات تریپل از توباکتر موجب افزایش عملکرد نسبت به شاهد شد. اثر متقابل نیتروژن و فسفر و تنش خشکی بر بهره‌وری نیتروژن معنی‌دار بود. به‌طور کلی نتایج این بررسی نشان داد که سودوموناس و از توباکتر چه در شرایط عدم تنش (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) و چه در حالت اعمال تنش آبی شدید (۵۰٪ ظرفیت زراعی) احتمالاً از طریق افزایش جذب مواد غذایی موجب افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه ذرت شدند.

واژه‌های کلیدی: از توباکتر، کارایی جذب و مصرف نیتروژن، بهره‌وری عناصر غذایی، سودوموناس فلورسنت، عملکرد

مقدمه

در کشور با خطر مواجه می‌سازد، کمبود آب است، زیرا کم‌آبی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان و تولید به حساب می‌آید، بنابراین بهترین راه مقابله با خشکی به‌کارگیری عملیات زراعی مناسب است. برنامه‌ریزی صحیح آبیاری سبب استفاده بهینه از منابع محدود آب است زیرا که واکنش گیاه به کمبود آب به عوامل متعدد از جمله شدت تنش

بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب محسوب می‌شود و تأمین امنیت غذایی مردم به میزان زیادی به آب بستگی دارد. از این رو پایداری منابع آب کشور بیش از هر چیز تحت تأثیر بهره‌برداری مطلوب از منابع آب کشاورزی قرار می‌گیرد (Razavi et al., 2013). یکی از عوامل بسیار مهم که توسعه سطح زیر کشت و تولید موفقیت‌آمیز گیاه ذرت را

2005; Cabrera-Bosquet et al., 2007; Cao et al., 2007; Banedjschafie et al., 2008; Di Paolo and Rinaldi, 2008; Brueck et al., 2009). نتایج حاصل از اکثر مطالعات انجام‌گرفته بر روی رشد غلات و گراس‌ها نشان داد که تلقیح با آزوسپیریلوم موجب افزایش شاخص‌های رشد رویشی و زایشی شده است. در حالت تلقیح بذر با آزوسپیریلوم؛ درصد جوانه‌زنی، ازدیاد پنجه‌ها و ازدیاد تعداد دانه گزارش شده است (Mostajeran et al., 2004). در خصوص تأثیر میکروارگانسیم‌های حل‌کننده فسفات بر روی جذب عناصر غذایی، گزارش شده که مصرف این گونه باکتری‌ها همراه با یک نوع فسفات معدنی غیرمحلول به نام تری کلسیم فسفات، موجب بهبود قابل‌توجه غلظت فسفر ساقه علف لیمو (*Cymbopogon citratus*) نسبت به شاهد گردید (Banedjschafie et al., 2008). در پژوهش دیگری که بر روی گیاه نیشکر صورت گرفت مشاهده شد که کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات، غلظت فسفر غلاف برگ و عملکرد ساقه نیشکر را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Cao et al., 2007). با توجه به سوابق پژوهشی در خصوص استفاده از باکتری‌های محرک رشد و کودهای بیولوژیک در منطقه مهران (Jasemi et al., 2013; Mirshekari et al., 2013; Zeidali et al., 2018) و همچنین میزان ماده آلی بالای خاک زمین مورد آزمایش (۰/۹۱ و ۰/۸۹ درصد ماده آلی در سال اول و دوم با توجه به آزمون خاک) به جهت مصرف دائمی کودهای آلی به‌خصوص کود دامی؛ و همچنین تأمین جدایه‌های باکتری استخراج‌شده از مناطق خشک، از تلقیح باکتری‌ها با بذر ذرت تا حدود زیادی اطمینان حاصل شد. با در نظر گرفتن مصرف بالای مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر، اثبات مضرات بهره‌گیری از این نوع کودها، کاهش بازدهی مصرف کودهای بخصوص نیتروژن دار و همچنین افزایش قیمت کودهای شیمیایی، این پژوهش با هدف بررسی اثرات منابع کودهای شیمیایی و زیستی نیتروژن و فسفر بر عملکرد و مقایسه کارایی مصرف کود (کارایی فیزیولوژیک، کارایی جذب و بهره‌وری مصرف نیتروژن و فسفر) در ذرت تحت تنش خشکی در شهرستان مهران از توابع استان ایلام در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ و ۱۳۹۵-۱۳۹۶ انجام شد.

و طول دوره رشد و همچنین مرحله رشد گیاه بستگی دارد (Momeni, 2011).

عناصر پرمصرفی مثل نیتروژن و سایر عناصر کم‌مصرف برای تولید، رشد و عملکرد گیاهان لازم است (Zabet et al., 2014). زراعت‌های متوالی و بی‌رویه باعث کاهش عناصر غذایی در خاک‌های زراعی دنیا شده که استفاده از کود را در مزرعه ضروری نموده است (Ahmadian et al., 2006). در بسیاری از نظام‌های کشاورزی، کمبود فسفر پس از نیتروژن به‌عنوان اساسی‌ترین عامل در تولید محصولات زراعی مطرح‌شده است. محققان گزارش دادند که در بیش از ۳۰ درصد مناطق دنیا کمبود فسفر موجب محدودیت کشت محصولات می‌شود. از طرفی مشکلات اقتصادی ناشی از افزایش رو به رشد هزینه کودهای شیمیایی از یک‌سو و مسائل زیستی محیطی مرتبط با مصرف غیراصولی این کودها از سوی دیگر تفکر استفاده از شیوه‌های زیستی تثبیت عناصر برای تقویت رشد گیاهان را قوت بخشیده است. بازده کودهای فسفات نیز در زراعت‌های معمولی، معمولاً پایین بوده و مقدار جذب‌شده آن‌ها به‌وسیله گیاه در سال اول، ۵ تا ۲۰ درصد کود افزوده‌شده است (Fletcher et al., 2008)، بنابراین گیاه همواره با کمبود این عناصر مواجه است. با در نظر گرفتن اینکه با استفاده از کودهای شیمیایی در ابتدای فصل زراعی، ممکن است فرم شیمیایی قابل‌استفاده عناصر برای گیاه به فرم‌های دیگر تبدیل شود و یا از طریق آبشویی از دسترس گیاه خارج شوند، لذا برای افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، روش‌های مصرف کود باید به شکلی تغییر کند که مواد غذایی موردنیاز گیاه در طول یک مدت طولانی و بدون تلفات در اختیار گیاه قرار گیرد (Kennedy et al., 2004). استفاده از کودهای زیستی تثبیت‌کننده نیتروژن از جمله روش‌های مطلوب است که می‌تواند باعث برطرف کردن این نقص شود (Noaim and Hamad, 2004; Wu et al., 2005).

افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها در گیاهان یکی از مهم‌ترین استراتژی‌های کشاورزی در گذار به سوی پایداری (Francis et al., 2003) و نیز علمی‌ترین و اقتصادی‌ترین روش افزایش تولید محصول در واحد سطح است. کارایی استفاده از آب و نیتروژن از نظر زیستی و زراعی باهم مرتبط هستند. این رابطه ممکن است منفی یا مثبت باشد که به منابع ژنتیکی و محیطی گونه‌ها و سطح سازمان‌دهی و مقیاس زمانی استفاده‌شده در تعریف کارایی‌ها بستگی دارد (Chen et al., 2005).

مواد و روش‌ها

مکان اجرای آزمایش

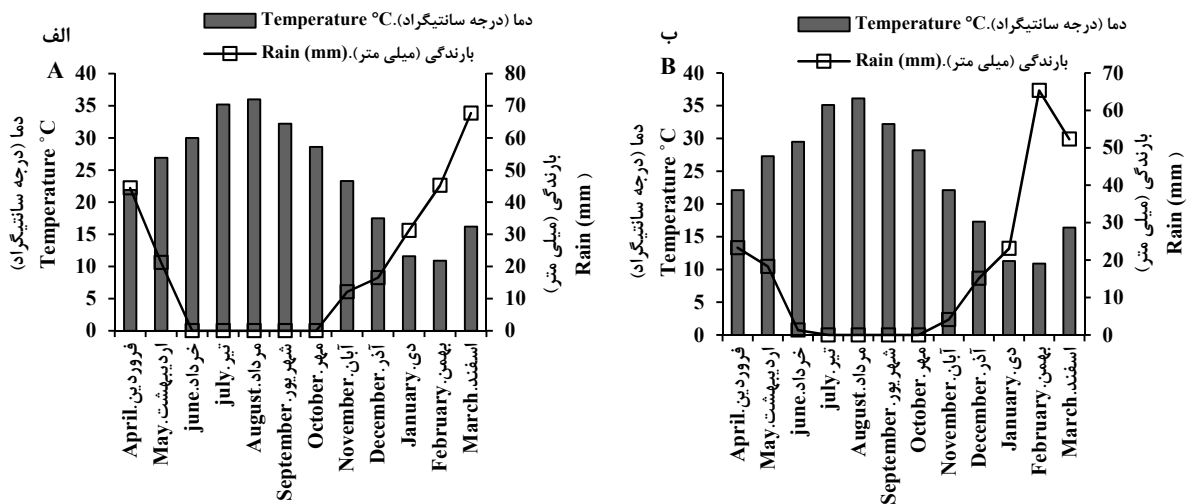
دارای اقلیم گرم و خشک و با میزان شوری آب‌وخاک متوسط به بالا است. جهت تعیین خصوصیات خاک و همچنین محاسبه دقیق شاخص‌های مربوط به کارایی عناصر در هر ۲ سال آزمایش قبل از اجرای آزمایش نمونه‌گیری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری انجام و نتایج آن در جدول ۱ گزارش شده است. بارندگی و درجه حرارت شهرستان مهران در دو سال آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است.

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی مهران واقع در شهرستان مهران در طی سال‌های زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ اجرا شد. موقعیت جغرافیایی آن «N33 06/793 E46 09/535» است. مهران به لحاظ اقلیمی

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵)

Table 1. Physical and chemical properties of soil experiment site (2015, 2016)

سال Year	عمق Depth cm	بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC dS/m	کربن آلی Organic carbon %	نیتروژن قابل جذب Available N	فسفر قابل جذب Available P ppm	پتاسیم قابل جذب Available K
۱۳۹۴ 2015	0-30	لومی-رسی Loam-clay	7.2	1.1	0.91	0.06	10	150
۱۳۹۵ 2016	0-30	لومی-رسی Loam-clay	7.3	1	0.89	0.05	11	148



شکل ۱. بارندگی (میلی‌متر) و میانگین دمای شهرستان مهران (درجه سانتی‌گراد) در دو سال ۱۳۹۴ (الف) و ۱۳۹۵ (ب)

Fig. 1. Rainfall (mm) and mean temperature of Mehran city (°C) in two years 2015 (A) and 2016 (B)

ظرفیت زراعی یا شاهد (بدون تنش) و تنش خشکی بر اساس ۷۵٪ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی (آبیاری مجدد بر اساس ۷۵ و ۵۰٪ تخلیه رطوبتی از نقطه ظرفیت زراعی)؛ فاکتور دوم شامل کود زیستی و شیمیایی نیتروژن در ۳ سطح شامل ۱۰۰٪، نیاز کودی به شکل نیتروژن خالص شیمیایی (۴۰۰ کیلوگرم اوره معادل ۱۸۴ کیلوگرم نیتروژن خالص)، باکتری *Azotobacter chroococcum* (۸/۲ لیتر در هکتار)

طرح آماری

آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار در طی دو سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ اجرا شد که مزرعه در زمستان سال قبل از کاشت و سال اول کاشت ذرت به شکل آیش بود. آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در کرت‌های اصلی و سطوح فسفر و نیتروژن به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. آبیاری در ۳ سطح ۱۰۰٪

حد FC، میزان آب موردنیاز محاسبه و حجم آب موردنیاز هر کرت توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. عمق آب در هر آبیاری (I) برحسب سانتی‌متر بر اساس معادله ۱ محاسبه می‌شد (Masjedi et al., 2008):

$$I = \frac{(\theta_f - \theta) \left(\frac{\rho_b}{\rho_w} \right) D}{100} \quad [1]$$

θ = رطوبت جرمی خاک به هنگام آبیاری (گرم)، θ_f = رطوبت جرمی خاک در حالت ظرفیت زراعی (گرم)، ρ_b = چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتیمترمکعب)، ρ_w = چگالی حقیقی خاک (گرم بر سانتیمترمکعب)، D = عمق مؤثر ریشه (سانتیمتر) و به‌وسیله رابطه ۲ حجم آب آبیاری موردنیاز هر کرت برآورد شد:

$$V = I \times A \times 1000 \quad [2]$$

V = حجم آب آبیاری استفاده‌شده در هر کرت (لیتر)، A = مساحت هر کرت (مترمربع)، I = ارتفاع آب آبیاری (متر).

قبل از کاشت از عمق مؤثر ریشه نمونه خاک تهیه و جهت تعیین درصد رطوبت جرمی به آزمایشگاه ارسال گردید که بر اساس آن آب موردنیاز برای حالت تأمین تمام نیاز آبی ذرت محاسبه و سپس از طریق تناسب به تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی اعمال شد. همچنین جهت تعیین زمان آبیاری از دستگاه رطوبت‌سنج خاک لوترون مدل LUTRON PMS-714 در طی فصل رشد استفاده شد. جهت تعیین دقیق آب ورودی به هر کرت آبیاری با روش کنترل‌شده (دارای کنتور اندازه‌گیری میزان آب خروجی) صورت گرفت. بدین ترتیب مقدار کل آب مصرفی در تیمار آبیاری کامل یا بدون تنش (۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) معادل ۹۰۰۰ مترمکعب در هکتار، در تیمار تنش ۷۵٪ ظرفیت زراعی معادل ۶۷۵۰ مترمکعب در هکتار و در تیمار تنش ۵۰٪ ظرفیت زراعی معادل ۴۵۰۰ مترمکعب در هکتار محاسبه گردید (Movahedi, 2012).

در طول فصل رشد در هر دو سال زراعی آفت و بیماری در مزرعه مشاهده نشد، بنابراین از آفت‌کش استفاده نشد اما علف‌های هرز مزرعه به‌صورت مکانیکی کنترل شدند.

صفات مورد ارزیابی

عملکرد بیولوژیک

در مرحله رسیدگی کامل، با استفاده از یک کوآدرات یک مترمربعی از بوته‌های وسط هر کرت انتخاب و از سطح خاک کفبر گردید و نمونه‌ها در آون و در دمای ۷۰ درجه

(Kizilkaya, 2009) و شاهد (عدم مصرف کود نیتروژن)؛ و فاکتور سوم شامل کود زیستی و شیمیایی فسفر در ۳ سطح ۱۰۰٪ نیاز کودی به شکل سوپر فسفات تریپل (۳۰۰ کیلو سوپر فسفات تریپل معادل ۵۸ کیلوگرم فسفر خالص)، باکتری *Pseudomonas fluorescens* (۱۰۰ گرم در هکتار (Yazdani et al., 2010)) و عدم مصرف فسفر بودند.

مایه تلقیح مورد استفاده از توباکتر از بخش تحقیقات بیولوژی موسسه آب‌و خاک کرج تهیه شد. روی بذور از محلول ۲۰ درصد شکر و صمغ عربی استفاده شد. ۱۰ میلی‌لیتر از توباکتر مایع با جمعیت تقریبی باکتری‌ها (CFU) 10^9 در هر میلی‌لیتر حدود ۶۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در یک خاک لومی-رسی (با میانگین تثبیت $3/16$ میکروگرم نیتروژن در یک گرم خاک و با فرض وجود ۴ هزار تن خاک در یک هکتار تا عمق ۳۰ سانتی‌متر) تثبیت می‌کند (Kizilkaya, 2009). در بررسی حاضر از *Azotobacter chroococcum* مایع با جمعیت تقریبی باکتری‌ها 10^7 (CFU) در هر میلی‌لیتر کود زیستی استفاده شد، بنابراین میزان مصرف مایه تلقیح از توباکتر $8/2$ لیتر به ازای ۳۰ کیلوگرم بذر ذرت (میزان موردنیاز برای یک هکتار) بود که این مقدار از توباکتر قابلیت تثبیت نیتروژن به مقدار حدود ۱۸۴ کیلوگرم در هکتار را دارد (Kizilkaya, 2009). مایه تلقیح مورد استفاده *Pseudomonas fluorescens* از شرکت زیست فناور سبز تهیه شد. جمعیت تقریبی باکتری‌ها (CFU) 10^8 در هر میلی‌لیتر کود زیستی بود. تلقیح میکروبی به‌صورت استفاده مستقیم زاد مایه میکروبی با بذر انجام شد. هر ۱۰۰ گرم سودوموناس توان محلول‌سازی حداکثر ۷۰ درصد و به‌طور متوسط ۶۰ درصد فسفر در هکتار را دارد (Sarikhani et al., 2013) بنابراین ۱۰۰ گرم *Pseudomonas fluorescens* پودری به مایه تلقیح دارای مواد غذایی و صمغ عربی (تهیه‌شده از موسسه آب‌و خاک کرج) اضافه شد. با توجه به میزان بالای فسفر نامحلول موجود در خاک محل آزمایش (۸۰ ppm) این مقدار از باکتری سودوموناس قادر به محلول‌سازی ۵۸ کیلوگرم فسفر در هکتار است تا نیاز گیاه به فسفر معدنی تأمین شود. باکتری سودوموناس و از توباکتر به‌روش تلقیح با بذر مصرف شدند. کود اوره با مقادیر مساوی در سه مرحله قبل از کاشت، ساقه رفتن و گلدهی مصرف شد.

با در نظر گرفتن ضریب گیاهی (Kc) (Masjedi et al., 2008)، میزان تبخیر و تعرق بالقوه مشخص و بر اساس تخلیه رطوبتی و طبق تیمارهای مذکور تا رسیدن رطوبت خاک به

نیتروژن موجود در تیمار مربوطه (Nf) (کیلوگرم در هکتار) انجام شد. میزان نیتروژن موجود در تیمار کودی، بر اساس مقدار نیتروژن موجود در کود اوره (۴۶٪)، محاسبه شد.

$$NUE_{SY} = \frac{SY}{Nf} \quad [5]$$

کارایی مصرف فسفر دانه نیز به همین طریق اندازه‌گیری می‌شود فقط در مخرج کسر به‌جای نیتروژن، فسفر قرار می‌گیرد با این تفاوت که مقدار خالص فسفر ورودی در کود سوپرفسفات تریپل حدود ۴۱ درصد است. در خصوص ماده خشک نیز روند محاسبه به همین شکل بوده با این تفاوت که در صورت کسر ماده خشک قرار گرفت.

کارایی جذب عناصر غذایی

محاسبه کارایی جذب نیتروژن برای دانه (NUPE) از تقسیم نیتروژن ذخیره‌شده دانه (NY) (کیلوگرم در هکتار) بر میزان نیتروژن موجود در خاک به‌علاوه مقدار خالص عنصر از طریق کود ورودی (N) (کیلوگرم در هکتار) انجام شد. میزان نیتروژن موجود در تیمار کودی، بر اساس مقدار نیتروژن موجود در کود اوره که ۴۶٪ بود، محاسبه شد.

$$NUP_E = \frac{NY}{N} \quad [6]$$

کارایی جذب فسفر دانه نیز به همین طریق اندازه‌گیری می‌شود فقط در مخرج کسر به‌جای نیتروژن، فسفر قرار می‌گیرد و مقدار خالص فسفر ورودی در کود سوپرفسفات تریپل حدود ۴۱ درصد است. در خصوص ماده خشک نیز روند محاسبه به همین شکل بوده با این تفاوت که در صورت کسر فسفر ذخیره‌شده ماده خشک قرار گرفت.

کارایی فیزیولوژیک (تبدیل) عناصر غذایی

محاسبه کارایی فیزیولوژیک نیتروژن دانه (NUE) از تقسیم عملکرد دانه (SY) (کیلوگرم در هکتار) بر میزان نیتروژن جذب‌شده دانه (NU) (کیلوگرم در هکتار) انجام شد.

$$NUE_t = \frac{SY}{NU} \quad [7]$$

کارایی جذب فسفر دانه نیز به همین طریق اندازه‌گیری می‌شود فقط در مخرج کسر به‌جای نیتروژن، فسفر قرار می‌گیرد. در خصوص ماده خشک نیز روند محاسبه به همین شکل بوده با این تفاوت که در صورت کسر فسفر ذخیره‌شده ماده خشک قرار گرفت.

سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شد. بعد از توزین عملکرد زیستی (ماده خشک اندام‌های هوایی همراه بذرها) داخل بلال) به کیلوگرم در هکتار تعمیم داده شد.

عملکرد دانه

در برداشت نهایی (۳ دی‌ماه) پس از حصول اطمینان از رسیدگی فیزیولوژیک (تغییر رنگ پوسته بلال به سبز متمایل به زرد) و قطع آب آبیاری بلال‌های موجود از هر تیمار به طول ۳ متر از ۳ خط میانی برداشت شد. سپس دانه‌ها از چوب‌بلال جدا گردید و وزن دانه و میزان رطوبت دانه‌ها به‌وسیله دستگاه رطوبت‌سنج مدل unimeter تعیین و بر اساس رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد و در نهایت به عملکرد دانه در هکتار تعمیم داده شد.

بهره‌وری عناصر غذایی (نیتروژن و فسفر)

برای محاسبه شاخص‌های بهره‌وری و کارایی عناصر، میزان جذب عناصر نیتروژن و فسفر در دانه با روش کجلدال و دستگاه جذب اتمی با استفاده از ۱ گرم نمونه‌ی آسیاب شده برآورد شد.

بهره‌وری هر یک از عناصر غذایی برحسب عملکرد زیستی از طریق نسبت کل ماده خشک تولیدی (BY) (کیلوگرم در هکتار) بر مقدار کود ورودی به‌علاوه مقدار موجود در خاک (کیلوگرم در هکتار) محاسبه‌شده که بهره‌وری مصرف نیتروژن (NUP) و فسفر (PUP) روش محاسبه یکسان است (Ehdaei et al., 2001):

$$NUP_{BY} = \frac{BY}{Nf + Ns} \quad [3]$$

در این معادله Nf و Ns به ترتیب میزان عنصر غذایی (نیتروژن یا فسفر) در کود و خاک است. بهره‌وری هر یک از عناصر غذایی برحسب عملکرد دانه از طریق نسبت کل عملکرد دانه (SY) (کیلوگرم در هکتار) بر مقدار کود مصرفی ورودی به‌علاوه مقدار موجود در خاک (کیلوگرم در هکتار) محاسبه‌شده که برای فسفر و نیتروژن روش محاسبه یکسان است.

$$NUP_{SY} = \frac{SY}{Nf + Ns} \quad [4]$$

کارایی مصرف عناصر غذایی

محاسبه کارایی مصرف نیتروژن برای عملکرد دانه (NUE) از تقسیم عملکرد دانه (SY) (کیلوگرم در هکتار) بر میزان

تجزیه و تحلیل داده‌ها

پردازش و طبقه‌بندی اطلاعات استخراج‌شده با استفاده از نرم‌افزار Excel و تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ (SAS Institute, 2013) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد انجام شد. همچنین در این بررسی به جهت آنکه فاکتورهای آزمایش در سال دوم نسبت به سال اول در کرت-های دیگری ولی در همان قطعه زمین تصادفی شده بودند از روش تجزیه مرکب برای آنالیز استفاده شد. برای اطمینان از یکنواختی واریانس‌ها به منظور ادغام داده‌ها، آزمون بارتلت انجام شد که نتایج حاکی از عدم معنی‌داری داده‌ها و شرایط لازم برای ادغام بودند.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

این بررسی بیانگر آن بود که اثر اصلی سال، تنش خشکی، کود نیتروژن، کود فسفر و اثر تنش و فسفر، تنش و نیتروژن، نیتروژن و فسفر، اثر متقابل سه‌گانه سال، تنش و نیتروژن و اثر متقابل سه‌گانه تنش و نیتروژن و فسفر بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲).

با مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که در تیمار آبیاری کامل همراه با تلقیح ازتوباکتر و سودوموناس بیشترین عملکرد دانه به مقدار ۱۱۹۳۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد ولی اختلاف معنی‌داری در همین سطح مصرف آب همراه مصرف سوپرفسفات تریپل و ازتوباکتر (۱۱۸۷۳ کیلوگرم در هکتار) و تیمار آبیاری همراه با مصرف سودوموناس و اوره (۱۱۳۱۸ کیلوگرم در هکتار) نداشت. همچنین در کلیه سطوح تنش، مصرف سوپرفسفات تریپل ازتوباکتر موجب افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد شد، به طوری که در تیمار خشکی ۵۰٪ ظرفیت زراعی، مصرف سودوموناس و ازتوباکتر عملکرد دانه به مقدار ۷۳۵۶ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که بالاترین عملکرد در سطح تنش ۵۰٪ ظرفیت زراعی بود. این وضعیت بیانگر اثرات مثبت سودوموناس و ازتوباکتر در تعدیل اثرات تنش است (جدول ۲).

در یک بررسی بیان شد که تلقیح بذور با کود زیستی (ازتوباکتر و آزوسپیریلوم) اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد دانه آفتابگردان داشت، به طوری که در بذور تلقیح شده عملکرد دانه معادل ۲۵۰۸ کیلوگرم در هکتار یعنی ۱۰ درصد بیشتر

از تیمار عدم تلقیح بود (Bahamin, 2011) که احتمالاً این افزایش می‌تواند به وسیله ایجاد چرخه مواد غذایی و قابل دسترس ساختن و افزایش جذب آن توسط باکتری‌ها به دست آمده باشد (Ahmad et al., 2010). احمد و همکاران (Ahmad et al., 2010) بیان کردند که افزایش عملکرد دانه تحت تأثیر کودهای زیستی تثبیت‌کننده ازت و فسفر ممکن است به دلیل افزایش فعالیت متابولیکی کودهای زیستی و همچنین تولید هورمون‌های محرک رشد توسط باکتری‌ها باشد که در نهایت موجب افزایش عملکرد شده است. همچنین گزارش شده است که باکتری‌های محرک رشد ممکن است ارتفاع و عملکرد را به دلیل تولید فیتوهورمون‌ها، افزایش دسترسی به مواد غذایی خاک، تسهیل جذب مواد غذایی توسط گیاه با کاهش جذب مواد غذایی مواد سنگین سمی و مقاومت در برابر بیماری‌ها افزایش دهند. از طرف دیگر فعالیت آنزیمی باکتری‌های محرک رشد نقش مهمی در خصوصیات میکروبی، شیمیایی و فیزیکی خاک ایفا می‌کند که نهایتاً موجب افزایش رشد گیاه می‌شود (Shaukat et al., 2006). شریفی و حق نیا (Sharifi and Haghnia, 2007) نیز نشان دادند حداکثر عملکرد دانه گندم در تیمار مصرف نیتروکسین با ۱۵/۵ درصد افزایش نسبت به شاهد به دست آمد. بررسی محققان مشخص کرد که تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های افزاینده و محرک رشد موجب افزایش هر چه بیشتر فعالیت آنزیم کاتالاز و میزان رنگ‌دانه‌های کلروفیل و کاروتن قبل و بعد از گلدهی در فرایند فتوسنتز و همچنین تولید انرژی و در نهایت بهبود رشد گیاه آفتابگردان در تیمار کود زیستی نسبت به سایر تیمارها به خصوص تیمار شاهد شده است (Marius et al., 2005).

عملکرد بیولوژیک

اثر اصلی سال، اثر اصلی تنش خشکی، اثر سال و تنش، اثر سال و نیتروژن، اثر سال و فسفر، اثر سال، تنش و نیتروژن؛ و اثر متقابل نیتروژن و فسفر بر عملکرد زیستی معنی‌دار بود ولی سایر اثرات متقابل تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۲). داده‌های حاصل از مقایسه میانگین روشن کرد که اثر متقابل سال، کود نیتروژن و سطوح آبیاری بر عملکرد زیستی معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد زیستی در سال اول و در تیمار مصرف کود اوره و بدون تنش (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه) به مقدار ۲۱۱۵۰/۶ کیلوگرم در هکتار بود که اختلاف معنی‌داری با اکثر تیمارها داشت. کمترین مقدار نیز

گرامینه و غیر گرامینه نشان داد. احتمالاً با مصرف باکتری‌های محرک رشد، جذب و ذخیره مواد غذایی در بخش‌های مختلف گیاه از جمله برگ و ساقه افزایش می‌یابد و با ذخیره این مواد در گیاه، عملکرد ماده خشک کل گیاه نیز افزایش می‌یابد. باکتری‌های سودوموناس و ازتوباکتر در این کود، علاوه بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل کردن جذب عناصر اصلی پرمصرف و ریزمغذی موردنیاز گیاه، با سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه نظیر انواع هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد مانند اکسین، ترشح اسیدهای آمینه مختلف، انواع آنتی‌بیوتیک موجب رشد قسمت‌های هوایی می‌شوند.

در سال اول و تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و حالت شاهد به مقدار ۱۳۴۸۶/۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که ۲۱ درصد کمتر از تیمار مصرف کود اوره در همین سطح تنش شود بود (شکل ۲).

تنش خشکی از طریق تأثیر منفی بر رشد قسمت‌های مختلف از جمله ساقه و برگ در نهایت منجر به کاهش ماده خشک و عملکرد زیستی می‌شود (Moemeni, 2011). در مطالعه‌ای که بر روی گیاه نیشکر (*Saccharum officinarum*) صورت گرفت مشاهده شد که کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات، غلظت فسفر غلاف برگ و عملکرد ساقه نیشکر را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Saeidi, 2007). سعیدی (Saeidi, 2007) تأثیر مثبت باکتری‌های جنس سودوموناس را در افزایش رشد و عملکرد گیاهان خانواده

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات تحت بررسی ذرت در دو سال زراعی

Table 2. Analysis of variance (mean squares) of traits under maize under two crop years

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	عملکرد			بهره‌وری	
			عملکرد دانه Seed yield	بیولوژیک Biologic yield	نیتروژن Nitrogen productivity	فسفر Phosphorus productivity	
Year	سال	1	2679587 **	24837722 ns	781.03 **	5510.1**	
Rep (Year)	تکرار (سال)	6	145785	107604338.4	22.22	301.81	
Water stress (W)	تنش رطوبتی	2	2305025125 **	325318870 *	2847.73 **	82281.6**	
Year×W	سال×تنش	2	30185 ns	9956360.7 **	14.6 ns	183.6ns	
Residual a	خطای a (اشتباه اصلی)	12	466419	1053521.5	7.26	125.62	
N fertilizer (N)	کود نیتروژن	2	137051326 **	242178392ns	3436.4ns	45501.2ns	
Year×N	سال×کود نیتروژن	2	31258 ns	218982892**	1421.7**	275851.2**	
W×N	تنش×کود نیتروژن	4	10591255 **	3822180ns	45.6ns	81.54ns	
Year×W×N	سال×تنش×کود نیتروژن	4	86960 *	10901023.4*	18.02**	1939.6**	
P fertilizer (P)	کود فسفر	2	105152112 **	12585622.2ns	23.62ns	4762.4ns	
Year×P	سال×کود فسفر	2	744283 **	2987539.2ns	75.11 **	4356.3**	
W×P	تنش×کود فسفر	4	577786 **	2374639.1ns	0.79ns	50.16ns	
Year×W×P	سال×تنش×کود فسفر	4	30426 ns	2453359 ns	0.14ns	35.86*	
N×P	کود نیتروژن×کود فسفر	4	10224950 **	72774272 **	204.11**	5687.1**	
Year×N×P	سال×کود نیتروژن×کود فسفر	4	59197 ns	280736 ns	0.95*	23.05ns	
W×N×P	تنش×کود نیتروژن×کود فسفر	8	2968907 **	601463 ns	38.65**	1571.2**	
Year×W×N×P	سال×تنش×کود نیتروژن×کود فسفر	8	19994 ns	1929029 ns	0.17ns	6.52ns	
Residual b	خطای b (اشتباه فرعی)	144	580295	1638609	8.72	199.91	
CV (%)	ضریب تغییرات	-	9.8	12.7	8.9	10.1	

Table 2. Continued

		جدول ۲. ادامه				
		کارایی فیزیولوژیک فسفر	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن	کارایی جذب فسفر	کارایی جذب نیتروژن	
S.O.V	منابع تغییر	Phosphorus Uptake efficiency	Nitrogen Uptake efficiency	Phosphorus Uptake efficiency	Nitrogen physiologic efficiency	Phosphorus physiologic efficiency
	درجه آزادی d.f					
Year	سال	1	0.121 **	0.246 ns	19.57 ns	139751.8 ns
Rep (Year)	تکرار (سال)	6	0.005	0.001	1.25	2376.4
Water stress (W)	تنش رطوبتی	2	0.656 **	0.815 **	330.1 **	64582.5 *
Year×W	سال×تنش	2	0.003 ns	0.007 ns	0.186 ns	2327.5 ns
Residual a	خطای a (اشتباه اصلی)	12	0.012	0.021	214.2	20255.9
N fertilizer (N)	کود نیتروژن	2	0.727 ns	0.406 ns	1026.4 ns	8035.6 ns
Year×N	سال×کود نیتروژن	2	0.315 **	1.777 **	298.1 *	222336.8 *
W×N	تنش×کود نیتروژن	4	0.007 ns	0.003 ns	8.58 ns	271.7 ns
Year×W×N	سال×تنش×کود نیتروژن	4	0.006 **	0.034 **	29.96 **	21638.9 **
P fertilizer (P)	کود فسفر	2	0.016 ns	0.039 ns	142.2 ns	7122.9 ns
Year×P	سال×کود فسفر	2	0.019 **	0.036 **	77.75 **	14394.4 *
W×P	تنش×کود فسفر	4	0.001 *	0.001 ns	10.52 **	49.8 ns
Year×W×P	سال×تنش×کود فسفر	4	0.0001 ns	0.001 **	0.06 ns	1504.5 **
N×P	کود نیتروژن×کود فسفر	4	0.039 **	0.092 **	174.8 **	12598.5 **
Year×N×P	سال×کود نیتروژن×کود فسفر	4	0.0001 ns	0.001 **	0.192 ns	222.0 ns
W×N×P	تنش×کود نیتروژن×کود فسفر	8	0.021 **	0.014 **	272.5 **	4019.6 **
Year×W×N×P	سال×تنش×کود نیتروژن×کود فسفر	8	0.0001 ns	0.0001 ns	0.137 ns	100.7 ns
Residual b	خطای b (اشتباه فرعی)	144	0.003	0.007	56.79	4187.6
CV (%)	ضریب تغییرات	-	9.7	12.1	8.1	14.1

* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد؛ **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد؛ ns: غیر معنی‌دار

*: Significant at 5%; **: Significant at 1%; ns: Non-significant

سودوموناس موجب افزایش بهره‌وری نیتروژن به ازای عملکرد

نسبت به شاهد شد (جدول ۲).

به نظر می‌رسد در تیمار کود زیستی با گذشت زمان باکتری‌ها احتمالاً باعث آزاد شدن تدریجی عناصر غذایی شده است که این عناصر آزاد شده می‌تواند جذب دانه یا اندام‌های محصول زراعی گردد؛ بنابراین افزایش بهره‌وری نیتروژن بدین طریق قابل توجیه است. محققان در مطالعه خود نشان دادند، با افزایش نیتروژن از ۱۰۵ به ۲۱۰ کیلوگرم در هکتار، مقدار بهره‌وری از ۵۱/۸ کیلوگرم عملکرد دانه به ازای هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی به ۹/۲۵ کاهش یافت (Wang et al., 2011). یوربیلارئا و همکاران (Uribelarrea et al., 2007) گزارش کرد در مقادیر بالای نیتروژن تلفات نیتروژن افزایش و کارایی استفاده از آن کاهش می‌یابد. پایین بودن کارایی

بهره‌وری نیتروژن

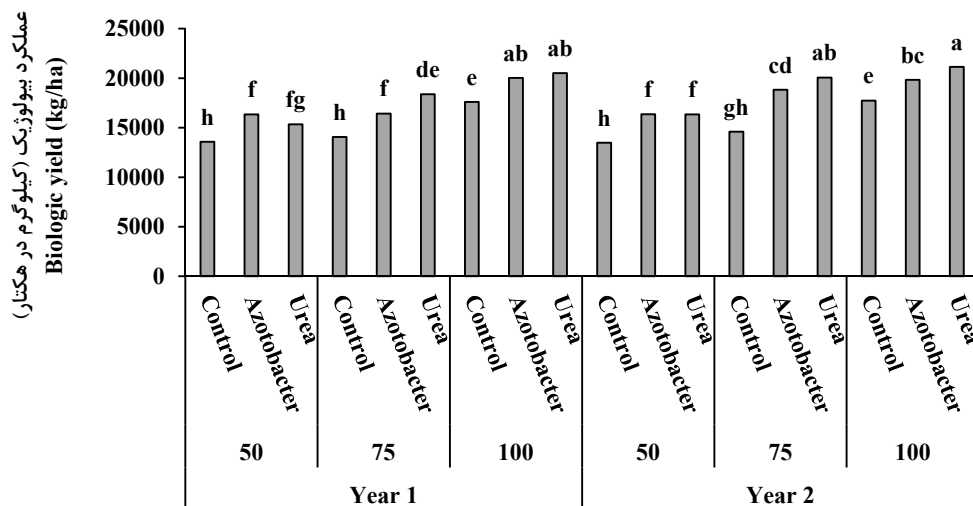
نتایج نشان داد که اثر اصلی تنش خشکی، اثر اصلی سال، اثر متقابل سال و نیتروژن، اثر سال، تنش و نیتروژن، اثر سال و فسفر، اثر سال، نیتروژن و فسفر، اثر نیتروژن و فسفر و اثر تنش، نیتروژن و فسفر بر بهره‌وری نیتروژن معنی‌دار بود ولی سایر تیمارها تأثیری بر این صفت نداشتند (جدول ۲). بیشترین بهره‌وری نیتروژن به ازای عملکرد در تیمار عدم تنش، تلقیح ازتوباکتر و سودوموناس به مقدار ۵۴/۰۴ کیلوگرم بر کیلوگرم به دست آمد. کمترین بهره‌وری نیتروژن به ازای عملکرد نیز در تیمار تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و مصرف اوره به مقدار ۱۵/۳۲ کیلوگرم بر کیلوگرم به دست آمد. در تمامی سطوح آبیاری نیز تلقیح ازتوباکتر در کنار مصرف

مصرف نیتروژن به احتمال زیاد به دلیل هدر رفت آن توسط مصرفی سبب کاهش کارایی مصرف نیتروژن می‌شود (Kogbe and Adediran, 2003).
 فرآیندهای نیترات‌زدایی، آبشویی و تصعید آمونیوم است. بررسی‌های مختلف نشان داده است که افزایش میزان نیتروژن

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری، نیتروژن و فسفر بر بهره‌وری نیتروژن، عملکرد و کارایی فیزیولوژیک مصرف نیتروژن
 Table 3. Mean comparison of interaction effect of irrigation, nitrogen and phosphorus levels on nitrogen productivity, yield and nitrogen physiological efficiency

سطوح آبیاری Irrigation levels (field capacity)	کود نیتروژن N fertilizer	P fertilizer	کود فسفر	عملکرد دانه Seed yield	بهره‌وری نیتروژن nitrogen productivity	کارایی فیزیولوژیک	
						نیتروژن nitrogen physiological efficiency	
-----kg kg ⁻¹ -----							
100	عدم مصرف Control	Control	عدم مصرف	7180 ^{hi}	31.95 ^{gh}	83.39 ^{abc}	
		psedomuna	سودوموناس	8522 ^{ef}	38.63 ^{de}	82.77 ^{abc}	
		Triple superphosphate	سوپرفسفات تریپل	9427 ^d	41.68 ^{cd}	80.45 ^{bcd}	
	ازتوباکتر Azetobacter	Control	عدم مصرف	8859 ^{def}	39.87 ^{cd}	77.49 ^{bcde}	
		psedomuna	سودوموناس	11932 ^a	54.04 ^a	71.91 ^{def}	
		Triple superphosphate	سوپرفسفات تریپل	11117 ^c	53.97 ^a	67.47 ^f	
	اوره Urea	Control	عدم مصرف	11400 ^b	31.66 ^{ghi}	66.96 ^f	
		psedomuna	سودوموناس	11234 ^{bc}	34.41 ^{fg}	70.6 ^{ef}	
		Triple superphosphate	سوپرفسفات تریپل	11490 ^b	34.56 ^{fg}	75.7 ^{bedef}	
	75	عدم مصرف Control	Control	عدم مصرف	6180 ^{jkl}	27.31 ^{klmn}	83.83 ^{ab}
			psedomuna	سودوموناس	6612 ^{hijk}	30.36 ^{hijk}	73.52 ^{def}
			Triple superphosphate	سوپرفسفات تریپل	6923 ^{hij}	30.84 ^{hij}	82.79 ^{abc}
ازتوباکتر Azetobacter		Control	عدم مصرف	6399 ^{ijkl}	28.57 ^{ijklm}	68.22 ^f	
		psedomuna	سودوموناس	8945 ^{de}	40.46 ^{cd}	78.46 ^{bcde}	
		Triple superphosphate	سوپرفسفات تریپل	10802 ^c	47.63 ^b	73.28 ^{def}	
اوره Urea		Control	عدم مصرف	7128 ^{hi}	19.49 ^p	83.98 ^{ab}	
		psedomuna	سودوموناس	9693 ^d	26.85 ^{lmn}	75.48 ^{bedef}	
		Triple superphosphate	سوپرفسفات تریپل	10888 ^c	29.5 ^{hijkl}	72.15 ^{def}	
50		عدم مصرف Control	Control	عدم مصرف	5607 ^l	24.27 ^{no}	90.12 ^a
			psedomuna	سودوموناس	6129 ^{jkl}	28.18 ^{jklm}	73.08 ^{def}
			Triple superphosphate	سوپرفسفات تریپل	5795 ^{kl}	25.95 ^{mn}	82.95 ^{abc}
	ازتوباکتر Azetobacter	Control	عدم مصرف	5877 ^{kl}	26.31 ^{lmn}	78.46 ^{bcde}	
		psedomuna	سودوموناس	7356 ^d	42.24 ^c	74.91 ^{bedef}	
		Triple superphosphate	سوپرفسفات تریپل	7298 ^{ef}	36.79 ^{ef}	78.19 ^{bcde}	
	اوره Urea	Control	عدم مصرف	5558 ^l	15.32 ^q	82.77 ^{abc}	
		psedomuna	سودوموناس	7058 ^{fg}	22.5 ^{op}	79.85 ^{bed}	
		Triple superphosphate	سوپرفسفات تریپل	7405 ^{gh}	20.23 ^p	74.65 ^{edef}	

میانگین‌های هر ستون دارای حداقل یک حرف مشترک از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ باهم ندارند
 Means with similar letters in each column, show non- significant difference according to Duncan multiple range tests at 5% level

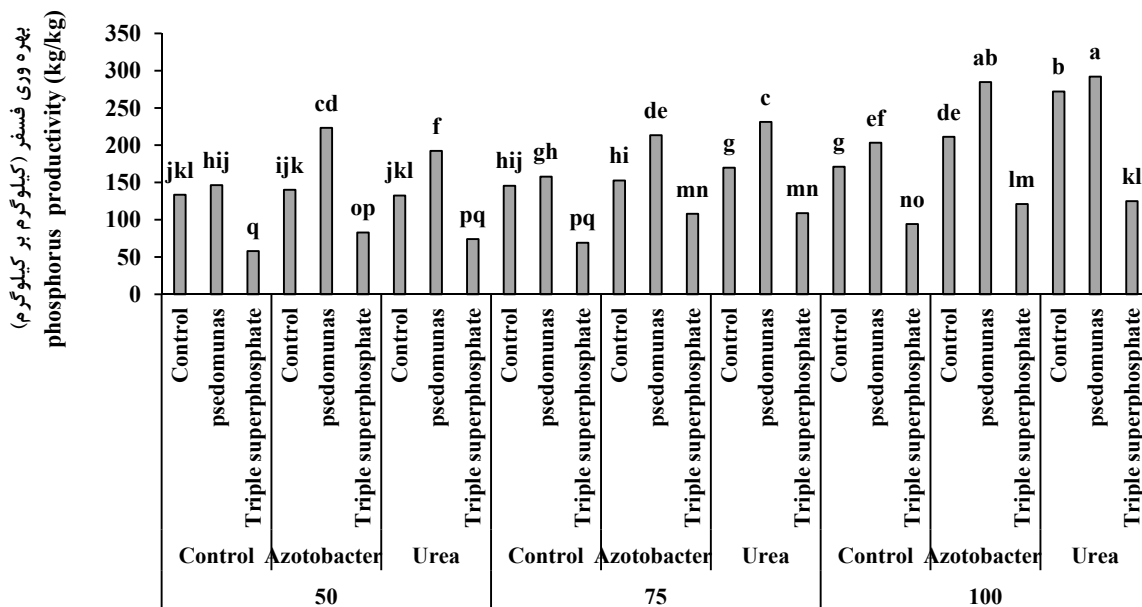


شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل سال، کود نیتروژن و سطوح آبیاری بر عملکرد بیولوژیک ذرت
 Fig. 2. Mean comparison of interaction effect of year, nitrogen fertilizer and irrigation levels on biological yield of maize

نیتروژن و فسفر؛ بالاترین بهره‌وری فسفر در تیمار عدم تنش همراه با مصرف توأم اوره و سودوموناس به مقدار ۲۹۲/۱ کیلوگرم بر کیلوگرم به دست آمد. در تیمار عدم مصرف هر نوع کود و تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بهره‌وری فسفر به ازای عملکرد به مقدار ۵۸/۰ کیلوگرم بر کیلوگرم بود. در اکثر سطوح مصرف کود فسفر، ازتوباکتر موجب افزایش بهره‌وری فسفر نسبت به تنش شد (شکل ۳).

بهره‌وری فسفر

اثر اصلی سال، اثر اصلی تنش خشکی، اثر متقابل سال و نیتروژن، اثر سال، تنش و نیتروژن، اثر سال و فسفر، اثر متقابل نیتروژن و فسفر و اثر تنش و نیتروژن و فسفر بر بهره‌وری فسفر به ازای عملکرد معنی‌دار بود ولی سایر تیمارها تأثیری بر این صفت نداشتند (جدول ۲). در مورد تقابل تنش،



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش، کود نیتروژن و کود فسفر بر بهره‌وری فسفر
 Fig. 3. Mean comparison of interaction effect of Stress, nitrogen fertilizer and phosphorus fertilizer on phosphorus productivity

زیاد نیتروژن برای رشد گیاه سودمند خواهد بود، درحالی‌که تحت شرایط تنش رطوبتی، کاربرد کود نیتروژن رشد رویشی گیاه را افزایش می‌دهد، با افزایش رشد رویشی میزان تبخیر و تعرق افزایش می‌یابد و رطوبت موجود در خاک از این طریق تخلیه می‌شود و این امر منجر به کاهش میزان ماده خشک تولیدی به ازای هر واحد نیتروژن مصرفی و کاهش کارایی مصرف نیتروژن می‌شود؛ بنابراین در صورت عدم دسترسی به آب کافی و مواجهه گیاه با کمبود شدید آب در خاک، کاهش مصرف نیتروژن از یک سو باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود و از سوی دیگر از مصرف بی‌مورد نهاده‌ها که معمولاً با افزایش عملکرد همراه نیست، جلوگیری به عمل خواهد آورد. به نظر می‌رسد در تیمارهای مصرف ازتوباکتر، این باکتری موجب فراهمی بیشتر نیتروژن در محیط ریشه و افزایش میزان جذب آن توسط گیاه شده است که همین امر موجب افزایش کارایی جذب یا بازیافت نیتروژن توسط گیاه ذرت شده است. همچنین معدنی شدن آهسته‌تر نیتروژن در تیمار تلقیح ازتوباکتر در مراحل مختلف رشد گیاه در مقایسه با مصرف اوره موجب افزایش کارایی بازیافت نیتروژن شده است.

کارایی جذب فسفر

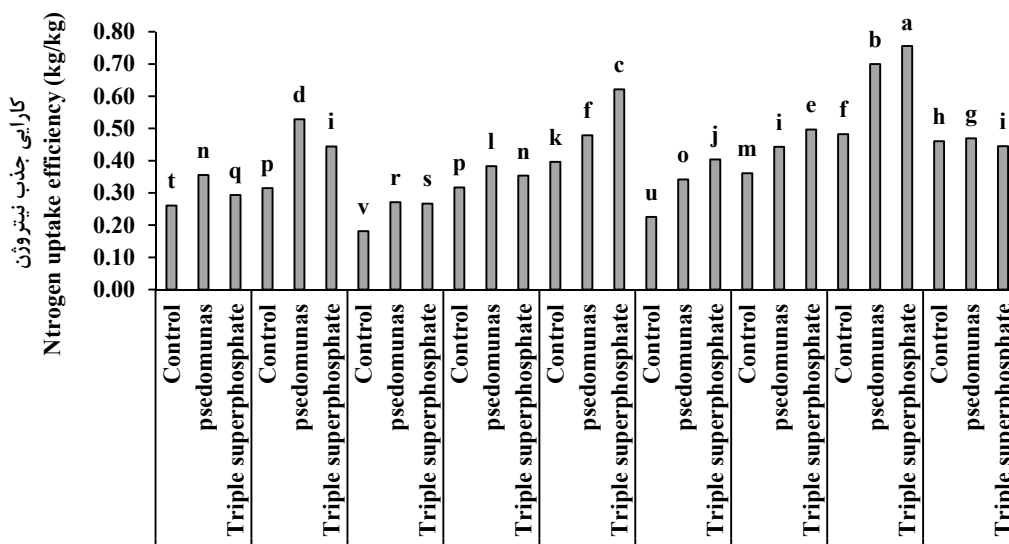
نتایج نشان داد که اثر اصلی تنش، اثر سال و نیتروژن، اثر سال و فسفر، اثر سال و تنش و نیتروژن، اثر سال و تنش و فسفر، اثر نیتروژن و فسفر، اثر سال، نیتروژن و فسفر و اثر تنش، نیتروژن و فسفر، اثر سال، نیتروژن و فسفر و اثر تنش، نیتروژن و فسفر بر کارایی جذب فسفر معنی‌دار بود ولی سایر تیمارها تأثیری بر این صفت نداشتند (جدول ۲). نتایج نشان داد که اثر متقابل کود فسفر، کود نیتروژن و سطوح آبیاری بر کارایی جذب فسفر به ازای عملکرد معنی‌دار بود. بیشترین کارایی جذب فسفر به ازای عملکرد در تیمار تلقیح توأم ازتوباکتر و سودوموناس در شرایط بدون تنش (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه) به مقدار ۰/۸۰ کیلوگرم بر کیلوگرم بود که اختلاف معنی‌داری با تمام تیمارها داشت. کمترین مقدار نیز در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و مصرف سوپرفسفات تریپل به مقدار ۰/۱۵۹ کیلوگرم بر کیلوگرم به دست آمد که ۵۰ درصد کمتر از تیمار مذکور بود. در حالت تلقیح ازتوباکتر نیز کارایی جذب فسفر به ازای عملکرد بیش از شاهد بود (شکل ۵).

به احتمال زیاد میزان تلفات فسفر در سطوح بالای کود فسفر به علت عدم جذب فسفر در ذرت و بالاخره عدم استفاده مؤثر از آن افزایش می‌یابد که این خود موجب کاهش بهره‌وری فسفر می‌شود. فراهمی هرچه بیشتر عناصر غذایی در خاک از جمله مهم‌ترین سودمندی استفاده از کودهای زیستی است. بهبود شرایط خاک از نظر فراهمی و جذب عناصر و در نهایت توسعه هرچه بیشتر ریشه در پروفایل خاک از جمله عوامل مؤثر در افزایش کارایی و بهره‌وری عناصر غذایی به شمار می‌رود (Thomason et al., 2002). بررسی اثر متقابل کودهای بیولوژیک و تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفر و نیتروژن نشان داد که تلقیح باکتری سبب افزایش کارایی زراعی کود نیتروژن شده که این نتیجه می‌تواند بیانگر رابطه هم‌افزایی ترکیب باکتری‌های مذکور با یکدیگر در جهت افزایش رشد ریشه و جذب مواد غذایی توسط بوته‌های ذرت باشد. نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که بهره‌وری یا کارایی زراعی متأثر از مصرف عنصر غذایی مربوطه است و در حالت استفاده از نیتروژن یا فسفر به تنهایی کارایی زراعی کاهش می‌یابد (Vukovic et al., 2008).

کارایی جذب نیتروژن

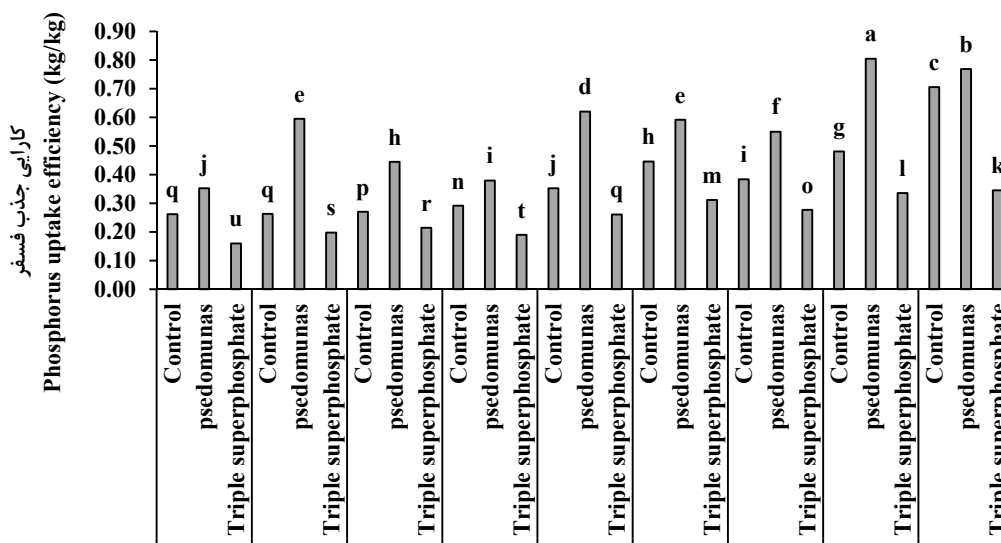
اثر اصلی تنش خشکی، اثر اصلی سال، اثر سال و نیتروژن، اثر سال، نیتروژن و تنش، اثر سال و فسفر، اثر تنش و فسفر، اثر نیتروژن و فسفر، اثر تنش، نیتروژن و فسفر بر کارایی جذب نیتروژن به ازای عملکرد معنی‌دار بود ولی سایر تیمارها تأثیری بر این صفت نداشتند (جدول ۳). اثر کود فسفر، کود نیتروژن و سطوح آبیاری بر کارایی جذب نیتروژن به ازای عملکرد معنی‌دار بود. بیشترین کارایی جذب نیتروژن به ازای عملکرد در حالت عدم تنش (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه) همراه با مصرف توأم ازتوباکتر و سوپرفسفات به مقدار ۰/۷۵۵ کیلوگرم بر کیلوگرم بود که اختلاف معنی‌داری با تمام تیمارها داشت. کمترین مقدار نیز در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و مصرف اوره به مقدار ۰/۱۸۱ کیلوگرم بر کیلوگرم به دست آمد که ۳۵ درصد کمتر از تیمار مصرف کود اوره و بدون تنش بود. در حالت تلقیح ازتوباکتر نیز کارایی جذب نیتروژن در سطوح مختلف تنش بیش از تیمار شاهد بود (شکل ۴).

الی و همکاران (Ali et al., 2010) عنوان نمودند زمانی که آب عامل محدودکننده‌ی رشد گیاه نیست، مصرف مقادیر



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش، کود نیتروژن و کود فسفر بر کارایی جذب نیتروژن

Fig. 4. Mean comparison of interaction effect of Stress, nitrogen fertilizer and phosphorus fertilizer on nitrogen uptake efficiency



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش، کود نیتروژن و کود فسفر بر کارایی جذب فسفر

Fig. 5. Mean comparison of interaction effect of Stress, nitrogen fertilizer and phosphorus fertilizer on phosphorus uptake efficiency

سودوموناس و ازتوباکتر به‌عنوان تحریک‌کننده رشد گیاهی، غیر از تثبیت نیتروژن مولکولی، با تولید هورمون‌ها و انواع مواد تحریک‌کننده رشد مانند اکسین، اسید پنتوتیک، اسید بیوتیک شده که با افزایش تولید تارهای کشنده ریشه و کارایی جذب عناصر غذایی از خاک که در نهایت سبب بهبود کارایی کود می‌شوند که کندی و همکاران (Kennedy et al., 2004) در بررسی‌های خود به آن اشاره کرده‌اند. با کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات علاوه بر بهره‌مندی از سایر اثرات مفید این باکتری‌ها از جمله توانایی تبدیل عناصر غذایی اصلی از فرم غیرقابل‌دسترس به فرم قابل‌دسترس طی فرآیندهای بیولوژیکی، توسعه سیستم ریشه‌های و جوانه‌زنی بهتر بذور که نتیجه آن افزایش رشد گیاه در مقایسه با کود

سودوموناس و ازتوباکتر به‌عنوان تحریک‌کننده رشد گیاهی، غیر از تثبیت نیتروژن مولکولی، با تولید هورمون‌ها و انواع مواد تحریک‌کننده رشد مانند اکسین، اسید پنتوتیک، اسید بیوتیک شده که با افزایش تولید تارهای کشنده ریشه و کارایی جذب عناصر غذایی از خاک که در نهایت سبب بهبود کارایی کود می‌شوند که کندی و همکاران (Kennedy et

کارایی فیزیولوژیک فسفر

نتایج نشان داد که اثر اصلی تنش، اثر سال و نیتروژن، اثر سال و فسفر، اثر سال و تنش و نیتروژن، اثر سال، تنش و فسفر، اثر نیتروژن و فسفر و اثر تنش، نیتروژن و فسفر بر کارایی فیزیولوژیک نیتروژن معنی‌دار بود ولی سایر تیمارها تأثیری بر این صفت نداشتند (جدول ۲). نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش، نیتروژن و فسفر بر کارایی فیزیولوژیک فسفر به ازای عملکرد معنی‌دار بود. بیشترین کارایی فیزیولوژیک فسفر به ازای عملکرد در تیمار تلقیح ازتوباکتر و عدم تنش به مقدار ۵۷۶/۴ کیلوگرم بر کیلوگرم بود. کمترین مقدار نیز در تیمار تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و مصرف سوپر فسفات به مقدار ۳۴۳/۱ کیلوگرم بر کیلوگرم به دست آمد. در حالت مصرف سودوموناس نیز کارایی فیزیولوژیک فسفر به ازای عملکرد بیش از تیمار سوپر فسفات تربیل در تمام سطوح تنش خشکی بود (شکل ۶).

در شرایط حضور ازتوباکتر و سودوموناس در محیط ریشه گیاه به علت تحریک رشد گیاه، ماده خشک بیشتری تولید شده است و به تبع در این شرایط فسفر موجود در خاک کارایی بیشتری خواهد داشت که این امر می‌تواند منجر به افزایش کارایی فیزیولوژیک فسفر شود که این شرایط در تیمارهای دارای تنش بیشتر نمود پیدا می‌کند. از طرفی افزایش میکوریز ریشه، زمینه بهبود برقراری تعادل، جذب و انتقال عناصر غذایی از طریق ریشه به اندام هوایی را فراهم نموده و باعث افزایش کارایی جذب یا بازیافت فسفر نیز در این شرایط می‌شود.

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طور کلی نتایج نشان داد که سودوموناس و ازتوباکتر چه در حالت اعمال تنش با مقدار پایین و یا به مقدار زیاد موجب افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه ذرت شدند. کود زیستی سودوموناس و ازتوباکتر و کود اوره می‌توانند قسمت اعظم عناصر غذایی مورد نیاز گیاه ذرت را تأمین کنند. همچنین اگر کود زیستی ازتوباکتر و سودوموناس در حالت تنش ۵۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه مصرف شوند موجب افزایشی ۲۱ درصدی عملکرد دانه نسبت به همین سطح تنش و مصرف کود اوره می‌شود. همچنین اگر کود زیستی ازتوباکتر و سودوموناس در حالت تنش ۵۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه مصرف شوند؛ موجب افزایشی ۳۶ درصدی عملکرد دانه نسبت به همین سطح تنش و عدم مصرف هر نوع کود می‌شود. ازتوباکتر

شیمیایی است (Zahir et al., 2004). می‌توان با افزایش مصرف این میکروارگانیسم‌های تحریک‌کننده رشد، کارایی کود فسفره را افزایش و مصرف آن را تا ۵۰ درصد کاهش داد. این امر نشان می‌دهد که مصرف باکتری نتوانسته کاهش ۵۰ درصدی کود نیتروژنه را جبران نماید و با توجه به اینکه ۵۰ درصد کود فسفره برابر با میزان مصرف کامل کود فسفره بوده است، به نظر می‌رسد که بتوان جهت کاشت گندم چنین ترکیب کودی را توصیه کرد.

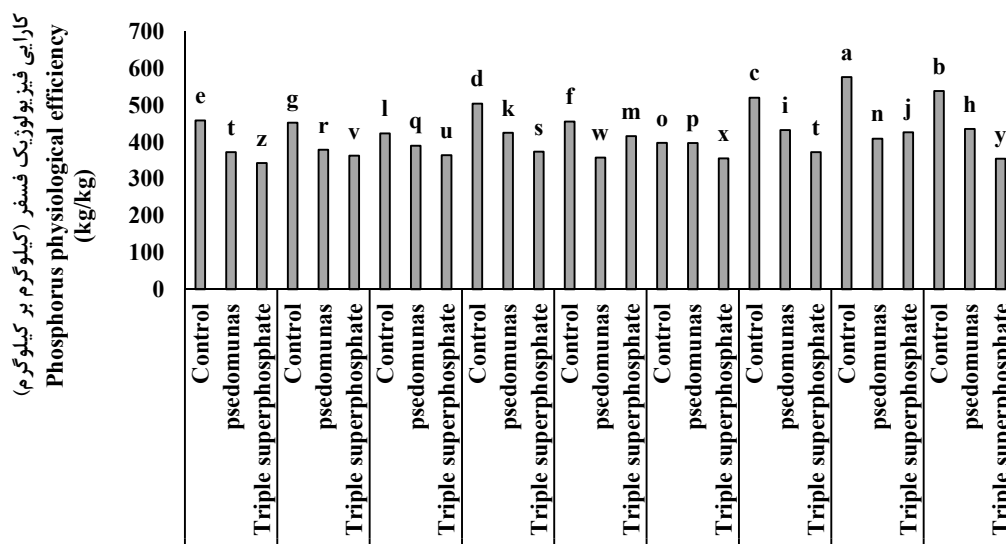
کارایی فیزیولوژیک نیتروژن

نتایج نشان داد که اثر اصلی تنش، اثر سال و نیتروژن، اثر سال و فسفر، اثر سال و تنش و نیتروژن، اثر تنش و فسفر، اثر نیتروژن و فسفر و اثر تنش، نیتروژن و فسفر بر کارایی فیزیولوژیک نیتروژن معنی‌دار بود ولی سایر تیمارها تأثیری بر این صفت نداشتند (جدول ۲). در خصوص اثر متقابل تنش، نیتروژن و فسفر؛ بیشترین کارایی فیزیولوژیک نیتروژن به ازای عملکرد در تیمار عدم تنش خشکی و عدم مصرف کود به مقدار ۹۰/۱۲ کیلوگرم بر کیلوگرم به دست آمد. در تیمار تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین کارایی فیزیولوژیک نیتروژن به ازای عملکرد در حالت عدم مصرف کود به مقدار ۸۳/۳۹ کیلوگرم بر کیلوگرم بود ولی اختلاف معنی‌داری در همین سطح تنش و مصرف توأم ازتوباکتر و سودوموناس نداشت (جدول ۲).

کارایی مصرف منابع نقش مهمی را در رشد و زنده ماندن گیاهان در شرایط تغییرات محیطی بازی می‌کنند (Bazaz, 1996) اگرچه، گاهی اوقات افزایش در کارایی مصرف یک منبع منجر به کاهش در کارایی مصرف منابع دیگر می‌شود (رابطه منفی بین کارایی مصرف نور و نیتروژن) (Hirose and Bazaz, 1998). فیلد و همکاران (Field et al., 1983) بیان کردند که یک توافق در مورد کارایی مصرف آب و نیتروژن وجود دارد که هر افزایش در هدایت روزنه‌ای منجر به افزایش دی‌اکسید کربن درون سلولی می‌شود که منجر به افزایش کارایی مصرف نیتروژن و کاهش کارایی مصرف آب می‌شود. کارایی مصرف نیتروژن با افزایش کاربرد کود نیتروژنی کاهش می‌یابد. کاربرد زیاد کود نیتروژنی از طریق تحریک افزایش جذب نترات و اشباع فرآیندهای متابولیسم نیتروژن که منجر به کاهش نسبت کربن به نیتروژن می‌شود، روی کارایی مصرف نیتروژن تأثیر منفی می‌گذارد.

باکتری‌های محرک رشد ازتوباکتر و سودوموناس، توصیه می‌شود آزمایشی برای استخراج جدایه های بومی باکتری‌های متحمل به خشکی انجام شود و در صورت حصول نتیجه مثبت بتوان با اطمینان بیشتری مصرف باکتری‌های محرک رشد را به کشاورزان توصیه کرد.

موجب افزایش کارایی نیتروژن و فسفر نسبت به اوره شد که این یک نتیجه مطلوب است و این موضوع می‌تواند در کاهش هزینه‌ها و حفظ پایداری بوم نظام‌های کشاورزی و سلامتی خاک تأثیر بسزایی داشته باشد. همچنین توصیه می‌شود در پژوهش‌های آتی به‌منظور اطمینان بیشتر از تلقیح بذر با



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل تنش، کود نیتروژن و کود فسفر بر کارایی فیزیولوژیک فسفر

Fig. 6. Mean comparison of interaction effect of Stress, nitrogen fertilizer and phosphorus fertilizer on phosphorus physiological efficiency

منابع

- Ahmad, A.G., Orabi, S., Gaballah, A., 2010. Effect of Bio-N-P fertilizer on the growth, yield and some biochemical component of two sunflower cultivars. *International Journal of Academic Research*. 4, 271-277.
- Ahmadian, A., Ghanbari, A., Golavi, M., 2006. The effect of animal fertilizer use on quantitative and qualitative performance and chemical indices of cumin essential oil. *Journal of Research and Construction*. 4, 207-2016. [In Persian with English summary].
- Bahamin, S., 2011. Influence of biological, animal and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). MSc in Agroecology, University of Birjand. [In Persian with English summary].
- Banedjschafie, S., Bastani, S., Widmoser, P., Mengel, K., 2008. Improvement of water use and N fertilizer efficiency by subsoil irrigation of winter wheat. *European Journal of Agronomy*, 28, 1-7.
- Bazaz, F.A., 1996. *Plants in changing environments. Linking physiological, population, and community ecology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Brueck, H., Senbayram, M., 2009. Low nitrogen supply decreases water-use efficiency of oriental tobacco. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science (Zogology Pflanzenernahr Bodenkd)*. 172, 216-223.
- Cabrera-Bosquet, L., Molero, G., Bort, J., Nogués, S., Araus, J.L., 2007. The combined effect of constant water deficit and nitrogen supply on WUE, NUE and 13C in durum wheat potted plants. *Annals of Applied Biology*. 151, 277-289.
- Cao, H.-X., Zhang, Z.-B., Xu, P., Chu, L.-Y., Shao, H.-B., Lu, Z.-H., Liu, J.H., 2007. Mutual physiological genetic mechanism of plant high water use efficiency and nutrition use efficiency. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 57, 1-7.

- Chen, S.P., Bai, Y.F., Zhang, L.X., Han, X.G., 2005. Comparing physiological responses of two dominant grass species to nitrogen addition in Xilin River Basin of China. *Environmental and Experimental Botany*. 53, 65–75.
- Di Paolo, E., Rinaldi, M., 2008. Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*. 105, 202–210.
- Ehdaei, B., Alloush, G. A. Waines, J.G., 2001. Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat. *Field Crops Research*. 106, 34–43
- Field, C., Merino, J., Mooney, H.A., 1983. Compromises between water-use efficiency and nitrogen-use efficiency in five species of California evergreens. *Oecologia*. 60, 384–389.
- Fletcher, A.L., Moot, D.J., Stone, P.J., 2008. Solar radiation and Canopy expansion of sweet corn in response to phosphorus. *European Journal of Agronomy*. 29, 80–87.
- Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T., Creamer, N., Harwood, R., 2003. Agroecology: the ecology of food systems. *Journal of Sustainable Agriculture*. 22, 99–118.
- Hirose, T., Bazzaz, F.A., 1998. Trade-off between light- and nitrogen-use efficiency in canopy photosynthesis. *Annals of Botany*. 82, 195–202.
- Jasemi, H., Isvand, H., Daneshvar, M., 2013. Effect of Nitroxin Application, Nitrogen and Chemical Nitrogen Application on Quantitative and Quantitative Traits Durum wheat quality. *New Finding in Agriculture*. 8, 125–134. [In Persian with English Summary].
- Kennedy, I.R., Choudhury, A.T., Kecskes, M.A., 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited. *Journal of Soil Biology and Biochemistry*. 36, 1229–1244.
- Kizilkaya, R., 2009. Nitrogen fixation capacity of spp. strains isolated from soils in different ecosystems and relationship between them and the microbiological properties of soils. *Journal Environment Biology*. 30, 73–82.
- Kogbe, J.O.S., Adediran, J.A., 2003. Influenced of nitrogen, phosphorus and potassium application on the yield of maize in savanna zone of Nigeria. *African Journal of Biology*. 2, 345–349.
- Marius, S., Octavita, A., Eugen, U., Vlad, A., 2005. Study of a microbial inoculation on several biochemical indices in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Genetica Biologica Moleculara*. 2, 11–14.
- Masjedi, A., Shokohfar, A., Alavi Fazel, M., 2008. Determination of the most suitable irrigation intervals of summer corn and studying the effect of drought stress on the product using class a pan evaporation information. *Agricultural and Natural Resources Science and Technology*. 12, 543–550. [In Persian with English Summary].
- Mirshekari, F., Nazeri, P., MirAkhori, M., Jamshidi, N., Gaffari, M. Markazi, A.H., 2013. Effect of Phosphate Bio Fertilizer on Yield and Yield Components of Corn (KSC 704) Under Water Deficit. *Journal of Crop Ecophysiology*. 3, 286–277. [In Persian with English Summary].
- Momeni, S., 2011. Effect of Seed Priming with Salicylic Acid and Polyethylene Glycol, and Plant Salmonella with Salicylic Acid on Drought Resistance of Maize (*Zea mays* L.). Master thesis for seeds science and technology, Faculty of Agriculture, Birjand University. [In Persian with English Summary].
- Mostajeran, A., Amo-Aghaei, R., Emtiazi, G., 2005. The effect of *Azospirillum brasilense* and pH of irrigation water on yield, protein content and sedimentation rate of protein in different wheat cultivars. *Iranian journal of Biology*. 18, 260–248. [In Persian with English Summary].
- Movaohedi, M., 2012. Evaluation of the effect of potassium and zinc fertilizers on drought tolerance; yield and yield components of sweet corn in Dehloran city. Master's Degree in Agriculture. Islamic Azad University, Dezful Branch. [In Persian with English Summary].
- Noaim A., Hamad, A.S.H., 2004. Effect of bio-fertilization along with different levels of application on the growth and grain yield of hassawi rice (*Oryza sativa* L.). *Science Journal of King Faisal University*. 2, 215–225.
- Razavi, R., Emami, A., Homayounifar, M., Ashouri, Sh., 2013. The effect of irrigation management on rapeseed growth stages in adaptation to climate change and water consumption. Second Conference on Climate Change and its Impact on Agriculture and the Environment. Urmia -Summer 2013, <https://civilica.com/doc/245808>. [In Persian with English Summary].

- Saeidi, H., 2007. Effect of some high and low consumption elements on yield components and other agronomic traits of sunflower in a calcareous soil in Isfahan. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 1, 365-355. [In Persian with English Summary].
- Sarikhani, MR., Aliasgharzad, N., Malboobi, M.A., 2013. Improvement of wheat phosphorus nutrition using phosphate solubilizing bacteria. *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 3, 39-57. [In Persian with English Summary].
- SAS Institute., 2013. The SAS system for windows. Version 9. SAS Institute, Cary, NC., USA.
- Sharifi, Z., Hghnia, Gh.H., 2007. Effect of nitroxin biological fertilizer on yield and yield components of wheat Sabalan cultivar. *Proceedings of the Second Iranian National Conference on Ecological Agriculture*. October 25th, 2007 - Gorgan. Pages 1806-1795. [In Persian with English Summary].
- Shaukat, K., Afrasayab, Sh., Hasnain, Sh., 2006. Growth responses of *Helianthus annuus* to plant growth promoting rhizobacteria used as a biofertilizers. *International Journal of Agriculture Research*. 5, 1048-1056.
- Thomason, W.E., Raun, W.R., Johnson G.V., 2002. Production system techniques to increase nitrogen use efficiency in winter wheat. *Journal of Plant Nutrition*. 25, 2261-2283.
- Uribebarrea, M., Moose S.P., Below, F.E., 2007. Divergent selection for grain protein affects nitrogen use in maize hybrids. *Field Crop Research*. 100, 82-90.
- Vukovic, I., Mesic, M., Zgorelec, Z., Jurisic, A., Sajko, K., 2008. Nitrogen use efficiency in winter wheat. *Cereal Research Communications*. 36, 1199-1202.
- Wang, X., Dai, K., Zhang, D., Zhang, X., Wang, Y., Zhao, Q., Cai, D., Hoogmoed, W.B., Oenema, O., 2011. Dryland maize yields and water use efficiency in response to tillage/crop stubble and nutrient management practices in China. *Field Crop Research*. 120, 47-57.
- Wu, B., Cao, S. C. Li, Cheung, Z. H., Wong, K.C., 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth. *Geoderma*. 125, 155-162.
- Yazdani, M., Pirdashti, H., Esmaili, M.A., Bahmanyar, M.A., 2010. Effect of inoculation phosphate solubilization microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on nutrient use efficiency in corn (*Zea mays* L.) cultivation. *Electronic Journal of Crop Production*. 3, 65-80. [In Persian with English Summary].
- Zabet, M., Bahamin, S., Qureshi, P., Sadeghi, H., Mousavi, S.Gh., 2014. Effect of low irrigation and nitrogen fertilizer on the low yield of forage millet in Birjand. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 7, 187-194. [In Persian with English Summary].
- Zahir, A.Z., Arshad, M., Frankenberger, W.F., 2004. Plant growth promoting rhizobacteria. *Journal of Advance Agronomy*. 81, 97-168.
- Ali, Z.I., Dawelbeit, S.E., Salih, A.A., 2006. Effect of water stress and nitrogen application on grain yield of wheat. <http://www.arcsudan.sd/proceedings/>.
- Zeidali, E., Naseri, R., Mirzaei, A., Fathi, A., Darabi, F., 2018. Effect of different fertilizers on agro-physiological characteristics and weed density of maize. *Journal of Plant Physiology*. 32, 198-214. [In Persian with English Summary].