



Grain Corn Yield under the Influence of Water Deficit Stress, Biological and Chemical Fertilizers

Nozar Shamohammadi¹ | Mahdi Zare² | Korosh Ordookhani³✉ | Farshid Aref⁴ | Shahram Sharafzadeh⁵.

1. Department of Agriculture, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Fars, Iran.
2. Department of Agriculture, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Fars, Iran.
3. Corresponding Author, Department of Agriculture, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Fars, Iran. Email: 1829067648@iau.ir
4. Department of Agriculture, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Fars, Iran.
5. Department of Agriculture, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Fars, Iran.

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: December 31, 2022

Received in revised form: July 27, 2023

Accepted: August 7, 2023

Published online: March 20, 2024

Keywords:

Azospirillum, azotobacter, drought stress, hybrid 706, mycorrhiza.

ABSTRACT

Water deficit stress is considered as one of the most important factors affecting soil microbial activities in dry and semi-dry ecosystems, which reduces microbial activity by limiting access to nutrients. To evaluate the effect of water stress (30%, 50%, 70%, and 100% of field capacity), urea chemical fertilizer (100, 200, and 300 kg/ha), and the impact of biological fertilizers (inoculation with mycorrhiza alone, co-inoculation with mycorrhiza and nitrogen-fixing bacteria, co-inoculation with mycorrhiza and azospirillum, and control) on the yield characteristics of *Zea mays* hybrid Sc706, a field experiment was conducted as a split-split plot in a randomized complete block design with three replications in two cropping seasons (2018-2019 and 2019-2020) on a farm in Firoozabad, Fars province, Iran. Dual and triple interactions of water stress, urea chemical fertilizer, and biological fertilizer showed significant differences in all yield characteristics. In most traits, the application of urea chemical fertilizer (200 and 300 kg/ha) along with biological fertilizers (mycorrhiza-azospirillum and mycorrhiza-nitrogen-fixing bacteria treatments) produced the best results. Overall, it can be concluded that the use of 200 and 300 kg/ha of urea fertilizer along with a combination of biological fertilizers, mycorrhiza-azospirillum and mycorrhiza-nitrogen-fixing bacteria, can be suitable options for improving the yield and morpho-physiological characteristics of corn under regional conditions.

Cite this article: Shamhammadi, N., Zare, M., Ordukhani, K., Aref, F., & Sharafzadeh, S. (2024). Grain corn yield under the influence of water deficit stress, biological and chemical fertilizers. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 55(1), 23-36. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.352991.654966.



© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.352991.654966>



عملکرد ذرت دانه‌ای تحت تاثیر تنش کم آبی، کودهای زیستی و شیمیایی

نوذر شامحمدی^۱ | مهدی زارع^۲ | کوروش اردوخانی^۳ | فرشید عارف^۴ | شهرام شرفزاده^۵

۱. گروه کشاورزی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، فارس، ایران.

۲. گروه کشاورزی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، فارس، ایران.

۳. نویسنده مسئول، گروه کشاورزی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، فارس، ایران. رایانامه: 1829067648@iau.ir

۴. گروه کشاورزی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، فارس، ایران.

۵. گروه کشاورزی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، فارس، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی	بروز تنش کم آبی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر فعالیت‌های میکروبی خاک در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود که از طریق محدودیت دسترسی به عناصر غذایی، فعالیت میکروبی را کاهش می‌دهد. در این راستا به منظور ارزیابی تنش کم آبی (۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه)، کود شیمیایی اوره (۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) و تأثیر کودهای زیستی (تلقیح بذر با مایکوریزا به تنهایی، تلقیح تلفیقی مایکوریزا و ازتوباکتر و تلقیح تلفیقی مایکوریزا و آزوسپیریلیوم و شاهد) بر صفات عملکردی ذرت (<i>Zea mays</i>)، رقم هیبرید Sc706، آزمایشی به صورت کرت‌های دوبرار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ در مزرعه‌ای در فیروزآباد، استان فارس، انجام شد. در ارتباط با عملکرد و اجزای عملکرد برهمکنش دوگانه و سه‌گانه تنش کم آبی، کود شیمیایی و کود زیستی در تمام صفات عملکردی اختلاف معنی‌داری نشان دادند. در اکثر صفات، کاربرد کود شیمیایی اوره (به میزان ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) همراه با کودهای زیستی (تیمارهای مایکوریزا-آزوسپیریلیوم و مایکوریزا-ازتوباکتر) بهترین نتایج را در پی داشت. در مجموع می‌توان گفت استفاده از کود ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره به همراه ترکیب کودهای زیستی مایکوریزا-آزوسپیریلیوم و یا مایکوریزا-ازتوباکتر می‌تواند گزینه‌های مناسبی جهت بهبود صفات عملکردی و مورفوفیزیولوژیک ذرت در شرایط منطقه باشد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۰۵	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۶	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱	
کلیدواژه‌ها: آزوسپیریلیوم، ازتوباکتر، تنش خشکی، مایکوریزا، هیبرید ۷۰۶.	

استناد: شامحمدی، ن.، زارع، م.، اردوخانی، ک.، عارف، ف.، و شرفزاده، ش. (۱۴۰۳). عملکرد ذرت دانه‌ای تحت تاثیر تنش کم آبی، کودهای

زیستی و شیمیایی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۵(۱)، ۲۳-۳۶. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.352991.654966



۱. مقدمه

افزایش روز افزون جمعیت کره زمین و نیاز به افزایش عملکرد گیاهان زراعی و تامین مواد غذایی و کمبود سطح زیر کشت سبب شده پژوهشگران در این زمینه پژوهش‌های جدیدی را دنبال کنند (Khan *et al.*, 2020). براساس پیش‌بینی‌های صورت‌گرفته جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به بیش از ۱۰ میلیارد نفر می‌رسد. بر همین اساس، برای تامین نیاز غذایی در ۳۰ سال آینده، باید حداقل ۷۰ درصد افزایش عملکرد داشته باشیم (Xiong *et al.*, 2022). حدود دوسوم از ماده خشک قابل مصرف دنیا را غلات تشکیل می‌دهند که ۵۴ درصد از آن به گندم (*Triticum aestivum*)، برنج (*Oryza sativa*) و ذرت (*Zea mays*) اختصاص دارد (Awan *et al.*, 2017).

در میان گیاهان زراعی، ذرت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین غلات دانه‌درشت به دلیل نقش مهمی که در تغذیه انسان و دام دارد، در عرصه تولید جهانی از جایگاه ارزشمندی برخوردار است و ویژگی‌هایی از قبیل گرمادوست‌بودن، برخورداری از مسیر فتوسنتزی چهار کربنه، کارایی مصرف آب مناسب در مقایسه با سایر غلات، این گیاه را مورد توجه پژوهشگران قرار داده است؛ اما از طرف دیگر، ذرت در بین گیاهان زراعی چهار کربنه بیشترین حساسیت را به تنش‌های محیطی دارد که سبب کاهش عملکرد در اثر انواع تنش‌های محیطی می‌شود (Ma *et al.*, 2017). تولید مواد غذایی به دلیل اثر انواع تنش‌های محیطی غیر زنده در حال کاهش می‌باشد (Ahmed *et al.*, 2019a, 2019b, 2019c). اثر تنش‌های خشکی، شوری و دما بیشترین خسارت را به گیاهان زراعی داشته است و به همین دلیل بیشتر مورد توجه و مطالعه قرار گرفته‌اند (Hui-Mean *et al.*, 2018) حدود ۷۰٪ غذای اصلی مردم دنیا که در زمین‌های دیم و کم‌آب تولید می‌شود به دلیل تغییرات در بارندگی در معرض تهدید قرار گرفته است (Abbasi *et al.*, 2021). تنش کم‌آبی در گیاهان سبب کاهش محتوای کلروفیل، مهار فتوسنتز، ازدست‌دادن نفوذپذیری غشای سلولی و ... می‌شود که در نهایت سبب کاهش عملکرد نهایی می‌شود (Ahmed *et al.*, 2019a, 2019b, 2019c; Batool *et al.*, 2013; Ma *et al.*, 2017). استفاده از کودهای شیمیایی به عنوان سریع‌ترین راه برای جبران عناصر غذایی و حاصلخیزی خاک مطرح است. نیتروژن از عناصر غذایی ضروری برای گیاهان است که تامین حد بهینه آن در خاک بر رشد و نمو گیاهان از جمله ذرت شیرین تاثیر بسزایی دارد (Vahedi, 2015). نیتروژن ترکیبی است با وزن مولکولی کم که در گیاه در ساختار نوکلئوتیدها، آمین‌ها و آمیدها شرکت دارد. همچنین در تولید کلروفیل، جزء اصلی آنزیم‌ها، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و در دیواره‌های سلولی نیز به کار می‌رود (Zaman Khan *et al.*, 2011). کمبود نیتروژن تقریباً همیشه به عنوان یک عامل محدودکننده و مؤثر بر رشد و عملکرد گیاه، بیش از هر ماده غذایی دیگر در چرخه تولیدی محصول است (De-Morais-Oliveira *et al.*, 2016).

در سال‌های اخیر علاوه بر تنش‌های محیطی، آلودگی‌های زیست‌محیطی (مانند آلودگی خاک، آب و هوا) روی منابع غذایی روزمره انسان‌ها تاثیر منفی گذاشته و سلامت جوامع انسانی را مورد تهدید قرار داده است. تلاش‌های گسترده‌ای به منظور یافتن راهکارهای مناسب برای بهبود کیفیت خاک و محصولات کشاورزی، با استفاده از حذف آلاینده‌ها با روش‌های زیست‌پالایی و حفظ پایداری اکوسیستم‌های طبیعی، آغاز شده است (Vesey, 2003). کودهای زیستی گروهی متنوع از باکتری‌ها و قارچ‌های مفید ساکن ریزوسفر هستند که باعث افزایش رشد گیاه توسط راه‌کارهای مختلف، به طور مستقیم و غیر مستقیم می‌شوند (Ahmad & Kibret, 2014; Chang *et al.*, 2014) و نقش قابل توجهی را هم در شرایط تنش و هم در شرایط معمولی در جهت بهبود رشد و فرآیندهای مربوط به نمو گیاه ایفا می‌کند (Nadeem *et al.*, 2010).

Rostami & Malaki (2020) با بررسی تاثیر تلقیح مایکوریزا و کاربرد مویان بر خصوصیات علوفه‌ای ذرت هیبرید ۷۰۶ در شرایط کم‌آبی، بیان کردند که با افزایش درصد تنش کم‌آبی و کاربرد مایکوریزا درصد پروتئین، درصد کربوهیدرات‌های محلول در آب، درصد فیبرهای شسته‌شده با شوینده‌های اسیدی در مقایسه با شاهد به ترتیب ۳۹/۲۴، ۳۰/۶۴ و ۳۹ درصد افزایش یافت. کاربرد مویان بر درصد فیبرهای شسته‌شده با شوینده‌های خنثی معنی‌دار نبود. هم‌زمان با افزایش سطوح تنش کم‌آبی وزن خشک علوفه کاهش یافت و بیشترین وزن خشک علوفه (۴۰۰ گرم در بوته) در شرایط آبیاری کامل و کاربرد مویان و مایکوریزا مشاهده شد. نتایج همچنین نشان داد که با افزایش شدت تخلیه آب قابل استفاده، کاربرد مویان و تلقیح با قارچ مایکوریزا افزایشی ۹۷ درصدی در کارایی مصرف آب نسبت به شاهد مشاهده شد. Khosravi (2019) با بررسی واکنش ذرت به تلقیح با ازتوباکتر در شرایط تنش

خشکی، به این نتیجه رسید که تنش آبی موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته و وزن خشک بالاب نسبت به شاهد بدون تنش شد. تلقیح با جدایه Azc10 باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد شد. این جدایه نسبت به تیمار بدون تلقیح در شرایط تنش خشکی موجب افزایش حدود ۲۰ درصد عملکرد اندام هوایی شد. در بررسی‌های بی‌شمار، تأثیر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد بر رشد و توسعه گیاه به دلایل توسعه سامانه ریشه‌ای (Verma et al., 2014)، افزایش جذب عناصر غذایی (Karlidag et al., 2007)، پایداری به خشکی و شوری (Mayak et al., 2004)، کاهش غلظت اتیلن (Grichko & Glick, 2001)، کنترل زیستی فیتوپاتوژن‌ها و حشرات (Russo et al., 2008)، تولید فیتوهورمون‌ها (Tank & Saraf, 2010)، تولید سیدروفور (Jahanian et al., 2012) و انحلال فسفات (Ahemad & Khan, 2012) نشان داده است. کاربرد توام ازت بارور ۱ و فسفر بارور ۲، ارتفاع بوته، تعداد دانه در ردیف، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه ذرت را به ترتیب ۱۰/۷، ۳۱/۲، ۱۰/۶ و ۳۳/۷ درصد نسبت به کاربرد ازت بارور ۱ و ۱۸/۷، ۷، ۱۷/۳، ۱۶/۵، ۱۱ درصد نسبت به فسفر بارور ۲ تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله ظهور گل تاجی بهبود می‌بخشد (Behrooz et al., 2019). با توجه به اهمیت تغذیه و همچنین با در نظر گرفتن وضعیت کم‌آبی‌های اخیر، هدف از این پژوهش بررسی برخی صفات عملکردی ذرت تحت اثر توام کودهای شیمیایی و زیستی به کم‌آبی بود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش به منظور ارزیابی تأثیر کود زیستی و کود شیمیایی اوره در شرایط کم‌آبی بر گیاه ذرت (رقم هیبرید Sc706) پژوهشی در مزرعه دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد، استان فارس با مختصات طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۹ دقیقه با ارتفاع ۱۳۱۵ متر از سطح دریا مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت. پژوهش حاضر به صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ به اجرا درآمد. در این آزمایش کرت اصلی چهار سطح دور آبیاری شامل ۳۰٪، ۵۰٪، ۷۰٪ و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی، کرت‌های فرعی شامل چهار سطح نیتروژن شامل صفر، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، کیلوگرم اوره در هکتار و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار بر اساس تجزیه خاک و کرت‌های فرعی شامل: شاهد (عدم تلقیح کود زیستی)، تلقیح بذر با مایکوریزا به تنهایی، تلقیح تلفیقی مایکوریزا و ازتوباکتر و تلقیح تلفیقی مایکوریزا و آزوسپیریلیوم (تهیه‌شده از موسسه تحقیقات آب و خاک) بودند.

برای اختلاط و تلقیح بذور با کود زیستی ازتوباکتر (*Azotobacter chroococcum*) و همچنین آزوسپیریلیوم (*Azospirillum brasilense*)، بذرها در سایه روی نایلون و یا سطح تمیز ریخته شد و به ازای هر هکتار زراعت یک بسته (۱۰۰ گرمی) از کود زیستی ازتوباکتر و یا آزوسپیریلیوم (دارای ۱۰^۷ عدد باکتری زنده و فعال برای هر دو نوع کود زیستی) در یک لیتر آب فاقد کلر حل شد و پس از صاف کردن محلول کودی توسط پارچه‌ای نازک، به وسیله آبیاش و یا سم‌پاش بر روی بذرها پاشیده شد و به خوبی مخلوط شد تا تمامی آن‌ها به صورت یکنواخت به کود آغشته شدند و پس از هوا خشک شدن بذور در سایه، بذور آماده کشت شدند. قارچ مایکوریزا سوبیه (*Glomus intraradice*) به صورت کود آلی بیولوژیک (پودری) از موسسه تحقیقات آب و خاک تهیه شد و براساس توصیه موسسه به میزان ۴۰ گرم به ازای هر متر مربع خاک در زیر و کنار بذور قرار داده شد (جدول ۱).

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی.

Soil pattern		Soil organic carbon (O.C%)		pH	EC (ds/m)	depth (cm)	
Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)					
27	57	16	0.78	8	2.89	0-30	
copper (ppm)	Manganese (ppm)	Zinc (ppm)	Nitrogen (%)	Iron (ppm)	potassium (ppm)	phosphorus (ppm)	depth (cm)
1.115	3.96	0.067	0.1	8.6	225	7.51	0-30

بعد از عملیات تهیه زمین (آبیاری اولیه، دیسک و ماله‌کشی)، از هر تکرار یک نمونه مرکب خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه و آزمایش‌های لازم مانند بافت خاک، درصد کربن آلی، pH، EC، فسفر و پتاسیم قابل جذب و عناصر کم‌مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) و نیز مجموع نیتروژن نیتراتی و آمونیاکی (نیتروژن قابل جذب خاک) در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری مطابق با دستورالعمل‌های موسسه تحقیقات خاک و آب تعیین شدند. مصرف کودهای فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک به ترتیب به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به صورت نواری و هنگام کاشت مصرف شد. تیمارهای نیتروژن مطابق تیمارهای آزمایش به صورت نواری مصرف شدند.

مقادیر مختلف سطوح نیتروژن براساس تجزیه خاک از منبع اوره در دو نوبت، همزمان با کاشت (۵۰ درصد نیتروژن) و در زمان پنج تا شش برگی (۵۰ درصد دیگر نیتروژن) با فاصله پنج سانتی‌متری پای بوته به صورت مصرف خاکی مورد استفاده قرار گرفت و بلافاصله آبیاری شد. آبیاری کرت‌ها با استفاده از نوارهای آبیاری ایجاد شده در مزرعه صورت گرفت. در اواخر اردیبهشت‌ماه، کاشت بذور با فاصله خطوط ۷۵ سانتی‌متری در کرت‌هایی به ابعاد ۳*۳ متری انجام شد. در این مطالعه کشت به صورت کپه‌ای (سه بذر در هر کپه) با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم روی خطوط کشت صورت گرفت.

به منظور سنجش وضعیت رطوبتی خاک از تانسیموتر استفاده شد. برای تعیین تغییرات رطوبتی خاک در اعماق ۴۰ سانتی‌متری از تانسیموتر استفاده شد. به منظور اعمال تنش کم‌آبی در تیمارهای مختلف بلوک‌های گچی که قبلاً مورد آزمون واسنجی قرار گرفته بودند نصب شدند و با توجه به منحنی کالیبراسیون بلوک‌های گچی که قبلاً در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد فیروزآباد فارس به دست آمده بود، در زمان قرائت اعداد ۹۰، ۸۲ و ۵۰ که توسط دستگاه سنجش رطوبت خاک نشان داده شد، اقدام به آبیاری تیمارهای مربوطه شد. بوته‌های ذرت تا مرحله شش‌برگی بدون اعمال مدیریت کم‌آبیاری، آبیاری شدند. پس از مرحله شش‌برگی، اعمال تنش کم‌آبی گیاهان آغاز شد و تا پایان دوره برداشت تیمار تنش آبی ادامه داشت. صفات مورد نظر در مرحله رسیدگی دانه مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری صفات مورد نظر پس از حذف اثرات حاشیه‌ای ۱۰ گیاه به صورت تصادفی از هر تیمار انتخاب و صفات عملکردی همچون تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال، وزن صد دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای محاسبه تعداد دانه در بلال از حاصل ضرب تعداد ردیف در بلال و در تعداد دانه در ردیف، استفاده شد. برای محاسبه عملکرد بیولوژیک، از ۱۰ بوته نمونه‌گیری شده، در آون به مدت ۷۲ ساعت و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ وزن خشک کل بوته‌ها (شامل ساقه، برگ و بلال) توزین و برحسب گرم در متر مربع محاسبه و ثبت شد. برای محاسبه شاخص برداشت از رابطه زیر استفاده شد:

$$HI = 100 \times (\text{وزن کل بوته} / \text{عملکرد دانه})$$

قبل از تجزیه داده‌ها برای حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها از آزمون نرمال (Shappirowilk) استفاده شد و پس از آن تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. در این تحقیق پس از انجام آزمون بارتلت و اطمینان از متجانس بودن واریانس اشتباه آزمایشی، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

۳-۱. تعداد ردیف در بلال

بر اساس نتایج مندرج در جدول ۲، اثرات ساده تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش در سطح احتمال یک درصد بر تعداد ردیف در بلال معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه شامل کم‌آبی*کود شیمیایی، کم‌آبی*کود زیستی، کود شیمیایی*کود زیستی و کم‌آبی*کود شیمیایی*کود زیستی) بر تعداد ردیف در بلال ذرت هیبرید ۷۰۶ تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد. مطابق جدول ۳، بهترین تیمار مربوط به ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی همراه با تلقیح تلفیقی مایکوریزا و آزوسپریلوم (۱۸/۵۵ عدد) اختصاص یافت و کمترین آن (۱۴/۱۵ عدد) مربوط به تیمار ۵۰ درصد ظرفیت

زراعی، بدون کود شیمیایی و بدون کود زیستی بود. تعداد ردیف دانه در بلال یکی از اجزای مهم عملکرد دانه در ذرت است که به شدت تحت تاثیر رقابت بین بوته‌ها قرار می‌گیرد. پژوهشگران کاهش تعداد ردیف دانه در بلال در شرایط کم‌بودن مصرف نیتروژن را به کمبود مواد پرورده اختصاص یافته به مقصد نسبت داده‌اند (Zaman-Khan *et al.*, 2011). Li *et al.* (2019) بیان کردند که احتمالاً قارچ میکوریزا از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی، به‌ویژه فسفر سبب افزایش میزان فتوسنتز و تولید آسمیلات به اندازه مشخصی که تابع ژنتیک می‌باشد، شده است؛ در نتیجه، شیره پرورده کافی جهت رشد بلال فراهم شده و نهایتاً تعداد ردیف دانه در بلال تا تعداد مشخصی که خصوصیات ژنتیکی بلال مشخص می‌کند، افزایش نشان می‌دهد.

۲-۳. تعداد دانه در ردیف

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات عملکردی ذرت هیبرید ۷۰۶ در این بررسی نشان داد که اثرات ساده تیمارها بر تعداد دانه در ردیف، تاثیر مثبت و معنی‌داری داشته است. اثر متقابل دوگانه سال*کم‌آبی، کم‌آبی* کود شیمیایی، کم‌آبی* کود زیستی، کود شیمیایی* کود زیستی و سه‌گانه کم‌آبی* کود شیمیایی* کود زیستی نیز در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۲). بهترین تیمار برای این صفت مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، همراه با ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی همراه با تلقیح تلفیقی میکوریزا و ازتوباکتر (۳۳/۹۴ عدد) بود و کمترین آن نیز مربوط به رطوبت ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی همراه با تلقیح تلفیقی میکوریزا و ازتوباکتر (۲۷/۴۵ عدد) به‌دست آمد. تنش‌های محیطی از طریق ایجاد محدودیت در تأمین مواد فتوسنتزی لازم، تعداد دانه‌ها و ردیف‌ها را در بلال تحت تأثیر قرار می‌دهند. از دلایل کاهش تعداد دانه به هنگام تنش کم‌آبی، می‌توان به کاهش تعداد گل و کم‌شدن تعداد گل‌هایی که به دانه تبدیل می‌شوند، اشاره کرد. در شرایط تنش آبی، کمبود آب طی مرحله زایشی از طریق کاهش قدرت مقصد در جذب مواد فتوسنتزی موجب کاهش تعداد گلچه‌های بارور می‌شود. در همین راستا گزارش شده است در ذرت از چند روز پیش از گرده‌افشانی تا تلقیح کامل تخمدان‌ها، جذب آب و عناصر غذایی در بیشینه خود می‌باشد و پتانسیل تعداد دانه در ردیف در این دوره تعیین می‌شود. رژیم رطوبتی مناسب در دوره قبل از ظهور کاکل، نه تنها برای رشد ساختارهای رویشی که تعیین‌کننده ظرفیت تولید ماده خشک گیاه هستند، بلکه برای نمو اندام‌های زایشی نیز دارای اهمیت است. نتایج حاصله نشان داد که مصرف میکوریزا در مقایسه با عدم مصرف میکوریزا در تمامی تیمارهای کم‌آبی اثر مثبتی روی تعداد دانه در ردیف نشان داد. فسفر یکی از مهم‌ترین عوامل در گرده‌افشانی گیاه ذرت است که کمبود آن، سبب به تعویق افتادن گرده‌افشانی می‌شود و نهایتاً گرده‌افشانی به‌صورت ناقص انجام می‌شود. حال آنکه کمبود فسفر یکی از عوامل اصلی در پر شدن دانه می‌باشد و کمبود آن سبب تشکیل دانه‌های پوک و یا عدم تشکیل دانه می‌شود (Afarinesh *et al.*, 2016). استفاده از میکوریزا یکی از عوامل اصلی انحلال فسفات‌های نامحلول و نهایتاً تبدیل آن به فرم قابل استفاده برای گیاه می‌باشد که در نتیجه این امر افزایش دانه در ردیف بلال را موجب می‌شود (Atta *et al.*, 2015).

۳-۳. تعداد دانه در بلال

نتایج این پژوهش نشان داد اثرات ساده، متقابل دوگانه و سه‌گانه تنش کم‌آبی، کود شیمیایی و کود زیستی بر تعداد دانه در بلال در بوته کاملاً معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بالاترین تعداد دانه در بلال مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی همراه با تلقیح تلفیقی میکوریزا و آزوسپریلوم (۵۷۱/۶۶ عدد) بود. همچنین کمترین مقدار این صفت مربوط به تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بدون کود شیمیایی و بدون کود زیستی (۴۵۰/۷ عدد) بود (جدول ۳). یافته‌های این پژوهش نشان داد اثر کم‌آبی وارد شده به گیاه، در تیمارهایی که از عوامل زیستی استفاده شده تا حدودی تعدیل شده است. حال نظر به اینکه تیمارهای استفاده از کود شیمیایی سبب افزایش رشد و متعاقباً افزایش تعداد دانه در بلال شدند و زمانی که کود شیمیایی همراه با عوامل زیستی استفاده شد، حتی با وجود تنش کم‌آبی، سبب افزایش تعداد دانه در بلال شد (جدول ۳) که نشان‌دهنده اثرات مثبت استفاده همزمان کود شیمیایی و کود زیستی است.

انشعابات میسلیومی قارچ‌های مایکوریزا قادرند به درون خاک و منافذی که برای ریشه و تارهای کشنده گیاه در دسترس نیستند، راه یابند و به این ترتیب از حجم بیشتری از خاک استفاده کنند. این ریزجانداران با فراهم کردن سطح اضافی برای جذب، باعث افزایش جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و نیتروژن می‌شوند و به این ترتیب تولید مواد پرورده در گیاه را افزایش می‌دهند. نیتروژن با شرکت در ترکیبات پروتئینی و آمینی علاوه بر اهمیت حفاظتی برای برخی آنزیم‌ها و پایداری pH سلولی، در جابجایی عناصر دیگر از راه آوند چوبی نیز اهمیت بسزایی دارد؛ بنابراین همزیستی گیاه با این ریزجانداران افزایش اجزای عملکرد ذرت از جمله تعداد دانه در بلال را در پی داشت (Afarinesh *et al.*, 2016).

۳-۴. وزن صدانه

از نتایج تجزیه واریانس صفت وزن صدانه چنین برمی‌آید که اثرات ساده تیمارهای این بررسی بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. به‌علاوه، در بین اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه، اثرات سال*کم‌آبی و سال*کود شیمیایی در سطح احتمال پنج درصد و اثرات کم‌آبی*کود شیمیایی، کم‌آبی*کود زیستی و کود شیمیایی*کود زیستی و همچنین کم‌آبی*کود شیمیایی*کود زیستی در صفت وزن صدانه، در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که بالاترین مقادیر وزن صدانه مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی همراه با تلقیح تلفیقی مایکوریزا و آزوسپیریلیوم (۴۶/۲۶ گرم) و کمترین مقدار این صفت مربوط به تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بدون کود شیمیایی و بدون کود زیستی (۱۶/۶۱ گرم) بود (جدول ۳).

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با افزایش تنش کم‌آبی وزن صدانه گیاهان به شدت کاهش یافت که این امر احتمالاً می‌تواند به دلیل کوتاه‌تر شدن طول دوره پر شدن دانه و دمای زیادتر طی روزهای پایانی دوره رشد باشد. عموماً وقتی گیاه با خشکی مواجه شود، روزنه‌هایش بسته می‌شود و این موضوع موجب کاهش جذب دی‌اکسید کربن می‌شود و از طرفی گیاه برای جذب آب، انرژی زیادی مصرف می‌کند. از سوی دیگر، گیاه در هنگام تنش، سطح برگ خود را کاهش داده و این رفتار سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی می‌شود. با کاهش مواد فتوسنتزی، انتقال مواد به سمت بذرها نیز کاهش پیدا می‌کند و متعاقب آن از وزن بذور کاسته شده و دانه‌های کوچکتری حاصل می‌شود. در تحقیق حاضر، استفاده از کود شیمیایی و کودهای زیستی سبب بهبود وزن صدانه گیاه ذرت شد (جدول ۳). در پژوهش‌های بی‌شماری اثرات افزایشی کود شیمیایی و کود زیستی مشاهده شده است. بررسی‌های Arrudaa *et al.* (2013) نشان داد که مصرف نیمی از نیاز گیاه به کودهای پرمصرف (NPK) به عنوان منبع شیمیایی همراه با تلقیح گیاه با کود زیستی باکتریایی بیشترین وزن صدانه را در گیاه ماش (*Vigna mungo*) داشته است. از سوی دیگر، در عرصه‌های مختلف زمانی همواره تنش آبی از عوامل محدودکننده تولید کلیه محصولات کشاورزی در کل دنیا بوده است؛ اما با تمام این تفاسیر مشخص شده که استفاده از مایکوریزا آربوسکولار و باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPB) مانند ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم، اثرات تنش خشکی را کاهش می‌دهند (Behrooz *et al.*, 2019). نشان داده شده است که استفاده همزمان *G. mosseae* به عنوان یک مایکوریزا به همراه باکتری‌های محرک رشدی مانند آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر نسبت به استفاده جداگانه این منابع زیستی و یا عدم استفاده این‌ها، در شرایط تنش خشکی توانسته است اثرات منفی تنش خشکی را در نهال گردو (*Juglans regia*) به نسبت بیشتری کاهش دهد (Behrooz *et al.*, 2019).

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب صفات عملکردی ذرت SC706 تحت تأثیر تیمارهای مختلف کم‌آبی، کود شیمیایی و زیستی در دو سال متوالی.

Mean Squares								
S.O.V	DF	Rows per ear	Grains per row	Grains per ear	Hundred seed weight	Grain yield	Biological yield	Harvest index
Year (Y)	1	129.6**	84.76**	16109.15**	111.41**	14.63**	698.9**	736.43**
Block/Year	4	0.27	12.2	10581.09	115.6	10.56	84.62	14.33
water deficit (I)	3	15.51**	182.17**	19175.52**	2393.28**	263.12**	1203.11**	176.85**
Y*I	3	0.029ns	38.39**	99.34ns	6.822*	0.60ns	5.5ns	3.15ns
Ea	12	0.147	11.77	29.78	1.83	0.21	2.86	5.91
Chemical fertilizers (C)	3	72.54**	45.82**	23916.14**	801.42**	81.302**	413.1**	46.36**
Y*C	3	0.006ns	0.28ns	41.78ns	5.8*	0.56ns	8.6**	16.5ns
I*C	9	0.9**	3.22**	1461.60**	9.6**	0.83**	4.07**	6.56ns
Y*C*I	9	0.019ns	0.334ns	28.82ns	0.996ns	0.204ns	0.85ns	4.61ns
Eb	48	0.024	0.31	48.32	1.71	0.309	1.38	7.14
Bio-fertilizer (B)	3	50.83**	16.68**	20553.72**	3320.78**	351.66**	1589.99**	206.96**
Y*B	3	0.012ns	0.44ns	5.64ns	6.65ns	0.18ns	9.76*	5.16**
I*B	9	0.32**	4.77**	1149.79**	32.43**	3.5**	15.07*	6.48ns
Y*I*B	9	0.01ns	0.61ns	20.20ns	0.16ns	0.144ns	0.222ns	3.18ns
B*C	9	5.47**	3.54**	1892.14**	17.67**	1.54**	7.28**	3.74ns
Y*B*C	9	0.009ns	0.063ns	10.81ns	0.33ns	0.08ns	0.074ns	0.936ns
I*B*C	27	0.088**	1.82**	375.8*	9.58**	0.86**	4.81**	3.54ns
Y*B*C*I	27	0.011ns	0.062 ns	18.33ns	0.29 ns	0.09 ns	0.27 ns	3.09 ns
Ec	192	0.0191	0.18	17.22	0.36	0.104	0.23	2.58
CV	-	1.05	3.02	3.083	5.14	5.97	6.44	5.052

ns، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و معنی‌دار نیست.

جدول ۳. تاثیر اثر متقابل کودهای شیمیایی و زیستی بر اجزای عملکرد و عملکرد ذرت در شرایط تنش کم‌آبی.

Treatments								
Irrigation	Nitrogen	Biological fertilizer	Rows per ear	Grains per row	Grains per ear	Hundred grain weight	Grain yield (ton ha ⁻¹)	Biological yield (ton ha ⁻¹)
I1	C1	B1	14.67f	33.47ab	469.84f	23.91e	7.13def	18.85def
		B2	14.75efg	33.48ab	478.33e	29.52cd	9.07bcd	22.44bcd
		B3	15.54c-f	32.36bcd	471.82def	30.84c	9.19bc	24.11bc
		B4	15.67c-f	32.32bcd	487.56d	32.95bcd	9.98b	25.52b
	C2	B1	14.86ef	33.82a	479.97e	26.92cde	8.14cde	21.42cde
		B2	15.12d	33.50a	486.29d	31.26b-e	9.72b	23.89b
		B3	16.08b-e	33.04a-e	505.59bcd	35.97b	11.01a-f	27.46a-f
		B4	16.61bcd	31.76c	507.23bcd	35.36bc	10.79a-f	27.12a-f
	C3	B1	14.96e	33.82a	484.63de	35.97b	10.99a-f	27.56a-f
		B2	15.49c-f	33.29abc	492.78c	37.77a-f	11.67a-e	28.37a-e
		B3	17.27a-d	33.94a	558.05ab	42.60ab	12.79ab	32.04ab
		B4	17.72ab	33.15a-d	557.21ab	35.97bc	11.18a-f	27.64a-f
	C4	B1	15.11de	33.75ab	487.63d	41.69abc	12.62abc	31.16abc
		B2	16.43bcd	32.20b-e	496.44c	42.60ab	12.93ab	31.55ab
		B3	18.12a	33.25abc	570.66a	44.81a	13.99a	33.53a
		B4	18.55a	32.87b	571.66a	46.26a	14.14a	34.87a
I2	C1	B1	14.35h	33.38abc	468.9f	20.90f	5.96f	16.73f
		B2	14.56fg	33.48ab	473.87efg	23.49e	7.00def	18.47def
		B3	14.96e	32.83b	479.99e	26.32c-f	7.94d	20.54d
		B4	14.94e	33.08a-e	479.82e	26.92cde	8.03c-f	20.94c-f
	C2	B1	14.63f	33.27abc	477.67e	24.81de	7.27def	19.48def
		B2	14.77efg	33.50a	480.40def	25.24d	7.53de	19.65de
		B3	15.77cde	32.22b-e	494.44c	31.14b-f	9.36bc	23.92bc
		B4	15.87cd	32.49bc	499.24c	31.75b-e	9.42bc	24.33bc
	C3	B1	14.77efg	33.29abc	476.18ef	32.65b-e	9.72b	24.98b
		B2	14.97e	33.24abc	481.98def	34.76bc	10.71a-f	26.46a-f
		B3	16.95b	30.66d	506.55a-d	35.97b	11.17a-f	27.27a-f
		B4	16.90b	31.17cde	512.69abc	38.98a-e	11.66a-e	29.34a-e
	C4	B1	14.87ef	33.27abc	481.17def	35.97b	11.22a-f	27.30a-f
		B2	15.57c-f	32.37bcd	490.60cd	37.47a-f	11.50a-f	28.34a-f
		B3	17.71ab	30.63de	528.3ab	39.28a-d	12.26a-d	29.54a-d
		B4	17.68ab	31.11c-f	529.31ab	41.68abc	12.73ab	31.05ab
I3	C1	B1	14.15h	32.95b	461.41fgh	19.23g	5.41f	15.71f
		B2	14.35h	32.90b	468.84f	21.59f	6.36ef	16.72f
		B3	14.76efg	32.62bc	473.17efg	23.61e	6.87e	18.64e
		B4	14.69f	32.48bc	473.36efg	25.72d	7.53de	20.12de
	C2	B1	14.28h	33.00a-e	466.70f	20.50fg	6.00f	16.66f
		B2	14.57fg	33.06a-e	476.33ef	24.24def	7.08def	19.08def
		B3	15.06de	32.65bc	483.79de	29.94cd	8.88c	23.08c
		B4	15.06de	32.67bc	486.80d	29.94cd	8.98bcd	23.08bcd
	C3	B1	14.45h	33.12a-d	471.18e-h	28.44cde	8.65cd	21.99cd
		B2	14.84ef	32.97b	480.80ef	31.44b-e	9.60b	23.64b
		B3	15.94c	31.41cd	491.77cd	32.71b-e	10.11b	25.02b
		B4	15.96c	31.33cd	495.94c	35.97b	10.87a-f	27.30a-f
	C4	B1	14.55h	33.09a-e	472.49efg	32.95bcd	9.82bc	24.36bc
		B2	15.13d	32.78b	486.62d	35.97b	11.17a-f	26.80a-f
		B3	16.72bc	31.20cde	509.67abc	37.95a-e	11.77a-f	28.70a-f
		B4	16.69bc	31.50c	515.65abc	38.98a-e	11.86a-e	29.42a-e
I4	C1	B1	14.37h	30.88d	450.7gh	16.61ghi	4.87fg	13.70fg
		B2	14.58fg	31.06d	459.54gh	17.66gh	4.89fg	14.47fg
		B3	14.96e	30.86d	469.02f	20.32fgh	5.78f	16.33f
		B4	15.01def	30.88d	468.34f	22.78ef	6.58ef	18.06ef
	C2	B1	14.66f	30.59de	455.23gh	17.38gh	4.96fg	14.26fg
		B2	14.77efg	31.30cde	471.15e-h	20.53fg	5.85f	16.48f
		B3	15.84cd	29.99def	478.64e	22.82ef	6.61e	18.08e
		B4	15.83cd	29.93d-g	479.33e	26.25c-f	7.70de	20.49de
	C3	B1	14.77efg	30.69de	459.88g	21.80f	6.10efg	17.37efg
		B2	14.97e	31.26cde	479.15e	23.31ef	6.77e	18.43e
		B3	16.97b	28.27e	488.13d	26.92cde	7.97d	20.96d
		B4	16.93b	28.10ef	486.97d	27.56cde	8.13cde	21.41cde
	C4	B1	14.86ef	30.88d	467.34f	26.56c-f	7.85de	20.71de
		B2	15.60c-f	30.39de	483.63de	29.94cd	8.98bcd	23.08bcd
		B3	17.72ab	27.45e-h	495.10c	30.84c	9.28bc	23.71bc
		B4	17.66abc	27.70efg	497.24c	31.67b-e	9.56bcd	24.28bcd

I1: ۱۰۰٪، I2: ۷۰٪، I3: ۵۰٪، I4: ۳۰٪ ظرفیت زراعی، C1: بدون کود شیمیایی، C2: ۱۰۰ کیلوگرم، C3: ۲۰۰ کیلوگرم و C4: ۳۰۰ کیلوگرم، B1: بدون تلقیح با باکتری و قارچ (شاهد)، B2: تلقیح بذر با مایکوریزا، C3: تلقیح مایکوریزا و ازتوباکتر، و B4: تلقیح مایکوریزا و آزوسپیریلیوم.

۳-۵. عملکرد دانه

یافته‌های این پژوهش نشان داد اثرات ساده تیمارها روی صفت عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. همچنین اثرات متقابل دوگانه و کم‌آبی* کود شیمیایی، کم‌آبی* کود زیستی، کود شیمیایی* کود زیستی و اثر سه‌گانه کم‌آبی* کود شیمیایی* کود زیستی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان دادند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین مقادیر عملکرد دانه، مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی همراه با تلقیح تلفیقی مایکوریزا و آزوسپیریلیوم (۱۴/۱۴ تن در هکتار) و کمترین مقدار این صفت مربوط به تیمار ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، بدون کود شیمیایی و بدون کود زیستی (۴/۸۷ تن در هکتار) بود (جدول ۳).

علت بالاتر بودن عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل نسبت به سایر سطوح آبیاری وجود آب کافی در خاک است که سبب می‌شود گیاه به‌خوبی بتواند آب و عناصر غذایی مورد نیاز خود را جذب کند و از رنگیزه‌های فتوسنتزی بالاتر و در نتیجه، فتوسنتز و ماده‌سازی بیشتر و به تبع آن رشد و عملکرد بالاتر برخوردار باشد. در بسیاری از گزارش‌ها نشان داده شده است که تنش خشکی سبب کاهش میزان کلروفیل برگ می‌شود و با تأثیر منفی بر دوره‌گرد افشانی منجر به کاهش عملکرد ذرت می‌شود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که استفاده توأم کود شیمیایی و کود زیستی سبب کاهش اثرات تنش خشکی و در نهایت منجر به افزایش عملکرد دانه شد (جدول ۳). پژوهشگران بیان کردند استفاده تلفیقی از کودهای زیستی و شیمیایی بهترین گزینه در زراعت ذرت است و اهمیت مصرف کودهای زیستی در شرایط کم‌آبی به اثر آن در بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، حفظ آب و افزایش قابلیت استفاده از عناصر غذایی می‌باشد که در نهایت به افزایش زیست‌توده و تولید محصول منجر شود. در این راستا *Hojattipor et al.* (2014) نیز تأثیر تلفیق کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد دانه گندم را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که بیشترین عملکرد دانه مختص تیمار تلفیقی کود شیمیایی و زیستی بود. کمترین عملکرد دانه در تیمار شاهد (بدون مصرف کود زیستی) مشاهده شد که با نتایج پژوهش حاضر هماهنگی دارد.

در صورت کمبود شدید رطوبت خاک، جذب نیتروژن توسط گیاه دچار اختلال می‌شود و نیتروژن مورد نیاز برای مراحل بحرانی رشد حتی در صورت افزایش نترات خاک فراهم نشده و در نتیجه عملکرد دانه کاهش می‌یابد. آبیاری سبب افزایش جذب نیتروژن شده و افزایش تنش آب به‌خودی‌خود توانایی گیاه را از نظر استخراج نترات خاک محدود می‌سازد. *Liu et al.* (2021) بیان داشتند که بالا بودن درصد نیتروژن برگ در شرایط تنش تا یک میزانی می‌تواند باعث افزایش عملکرد دانه شود و پس از آن عملکرد ثابت بوده یا کاهش می‌یابد که به نظر می‌رسد افزایش بیش از حد کلروفیل برگ در این شرایط کارآمد نبوده و عملکرد توسط سایر عوامل محدودکننده کاهش می‌یابد؛ می‌توان عنوان کرد که افزایش هم‌مان رطوبت خاک و نیتروژن منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود.

۳-۶. عملکرد بیولوژیک

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثرات متقابل سال* کود زیستی و کم‌آبی* کود زیستی در سطح احتمال پنج درصد و اثر ساده سال، کم‌آبی، کود شیمیایی و کود زیستی و همچنین اثرات متقابل دوگانه سال* کود شیمیایی، سال* کود زیستی، کم‌آبی* کود شیمیایی، کود شیمیایی* کود زیستی و اثر متقابل سه‌گانه کم‌آبی* کود شیمیایی* کود زیستی روی صفت عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین عملکرد زیستی مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، با ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی همراه با تلقیح تلفیقی مایکوریزا و آزوسپیریلیوم (۳۴/۸۷ تن در هکتار) و کمترین مقدار این صفت مربوط به ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، بدون کود شیمیایی و بدون کود زیستی (۱۳/۷۰ تن در هکتار) بود (جدول ۳). عموماً کمبود آب سبب کاهش تولید مواد پرورده و در نتیجه باعث کاهش اندام‌های رویشی و اندام‌های زایشی می‌شود که نهایتاً می‌تواند منجر به کاهش عملکرد زیستی گیاه در شرایط محدودیت آب شود.

Bayat et al. (2022) و *Parent et al.* (2015) کم‌آبی را در مراحل مختلف رشد گندم و ذرت اعمال و گزارش کردند که کمبود شدید آب در مراحل اولیه رشد منجر به کاهش ماده خشک گیاه می‌شود. کمبود رطوبت از طریق کاهش تولید و افزایش پیری برگ‌ها، شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد. در پژوهشی دیگر با اعمال تنش خشکی در مرحله رشد رویشی ذرت کاهش

معنی‌داری در عملکرد بیولوژیک گیاه مشاهده شد و بالاترین عملکرد بیولوژیک در شرایط بدون تنش حاصل شد. به نظر می‌رسد افزایش عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری مطلوب، به دلیل گسترش بیشتر و طول دوره سبزمانی زیادتر برگ‌ها بوده که منجر به ایجاد مبدأ فیزیولوژیک بزرگ‌تری می‌شود. تنش کم‌آبی علاوه بر اثر منفی بر عملکرد، باعث بروز یا تشدید سایر تنش‌ها به‌ویژه تنش کمبود عناصر غذایی از طریق اختلال در روند جذب و تجمع عناصر غذایی نیز می‌شود. بر این مبنای Liu *et al.* (2021) اذعان داشتند که باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن شامل آزوسپیریلیوم، سودوموناس و ازتوباکتر از طریق همیاری با ریشه گیاهان، موجب افزایش سطح جذب رطوبت و بهبود شبکه گسترده ریشه‌ای در گیاه میزبان می‌شود که موجب افزایش وزن خشک گیاه و کاهش تنش کمبود مواد غذایی می‌شوند.

Li *et al.* (2019) نیز افزایش با واسطه AMF در رشد و فتوسنتز در گونه‌های گیاهی *C₃* (*Leymus chinensis*) و *C₄* (*Hemarthria altissima*) را از طریق تنظیم بالای سیستم آنتی‌اکسیدانی نشان داده‌اند. Yooyongwech *et al.* (2016) و Moradtalab *et al.* (2019) گزارش کردند که قارچ‌های مایکوریزا آرباسکولار سبب کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی در گیاهانی مانند ذرت، گندم، جو (*H. vulgare*) و سویا (*G. max*) می‌شود که این امر را به بالا رفتن سطح جذب ریشه به‌واسطه حجم بالای ریشه‌های قارچ نسبت می‌دهند (Jia *et al.*, 2016). یافته‌های این محققان صحت نتایج این پژوهش را نشان می‌دهد. در این بررسی در تنش‌های بالا، قارچ مایکوریزا به همراه تثبیت‌کننده‌های نیتروژن مانند آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر در حضور کود نیتروژن توانست در حجم وسیعی تنش خشکی را در ذرت هیبرید ۷۰۶ مدیریت کند.

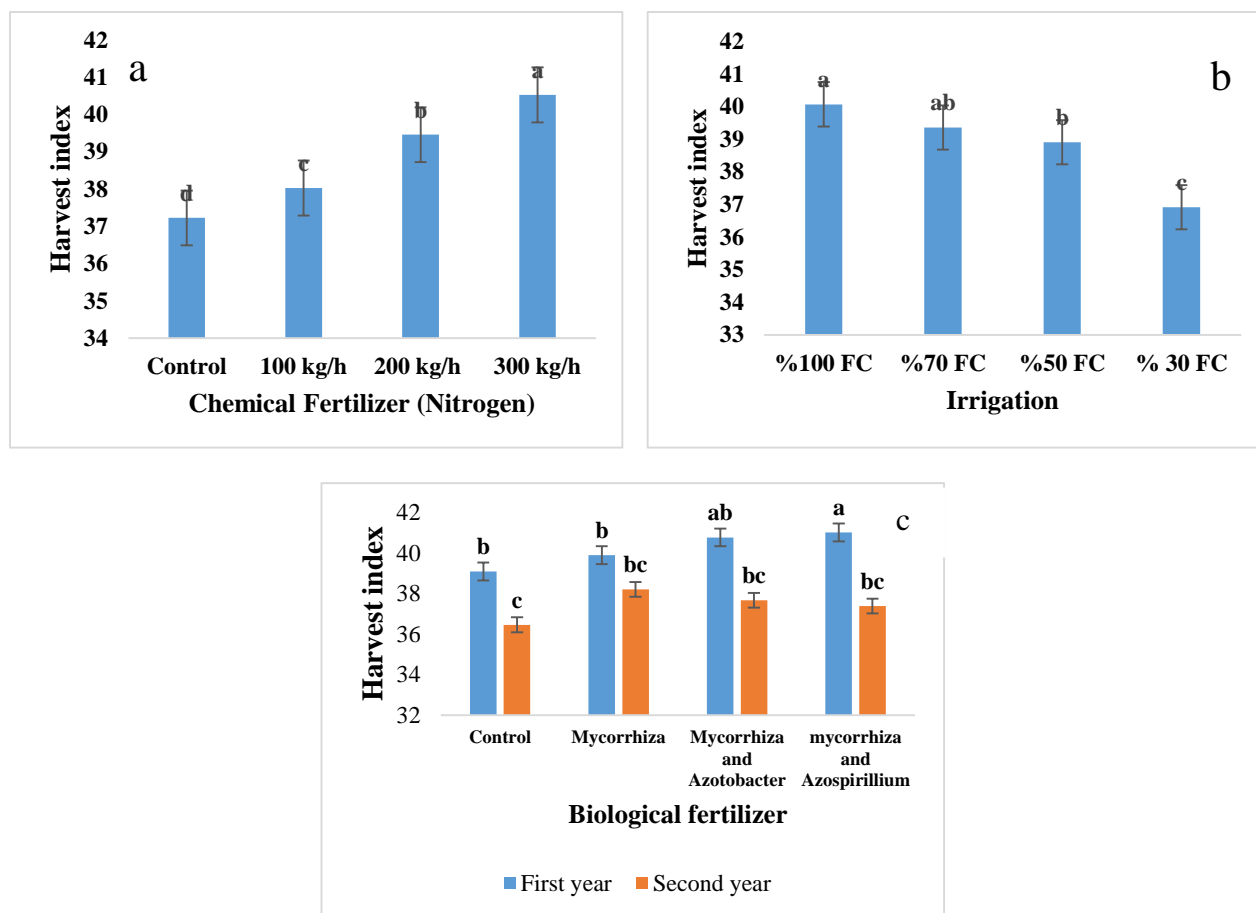
۳-۷. شاخص برداشت

روند تسهیم شیره پرورده بین اندام‌های زایشی (دانه) و رویشی، همان شاخص برداشت است. یافته‌ها در ارتباط با شاخص برداشت در این بررسی نشان داد که تمامی اثرات ساده و همچنین اثر متقابل دوگانه سال*کود زیستی روی شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و سایر اثرات متقابل دوگانه و سه گانه هیچ تفاوت معنی‌داری نداشتند. یافته‌های این بررسی نشان داد بیشترین مقادیر این صفت مربوط به سال اول همراه با تلقیح تلفیقی مایکوریزا و آزوسپیریلیوم (۴۱/۰۲) و کمترین مقدار این صفت مربوط به تیمار سال دوم بدون اعمال کود زیستی (۳۶/۴۶) بود (شکل ۱c).

با استناد به نتایج تحقیق حاضر، در سال دوم کشت ذرت SC706، نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک کمتر بوده است (داده‌ها نشان داده نشده است). این امر نشان می‌دهد که ترکیبات تیماری به‌کار رفته در این بررسی در سال دوم نسبتاً رشد رویشی بیشتری را موجب شده‌اند (شکل ۱c). به عبارتی می‌توان گفت با وجود آنکه هم عملکرد دانه و هم عملکرد بیولوژیک در سال دوم بیشتر از سال اول بوده؛ اما افزایش عملکرد بیولوژیک در سال دوم نسبت به عملکرد دانه بیشتر بوده و همین امر موجب پایین آمدن شاخص برداشت در سال دوم شده است.

شاخص برداشت بیانگر چگونگی توزیع مواد فتوسنتزی بین مخزن‌های اقتصادی و سایر مخزن‌های موجود در گیاه است. تحقیقات نشان داد که در گیاه تریتیکاله با افزایش کاربرد کود نیتروژن به دلیل افزایش شاخ و برگ، سهم کمتری از مواد فتوسنتزی به دانه‌ها اختصاص یافت و از این رو شاخص برداشت کاهش پیدا کرد (Parent *et al.*, 2015). محققان اظهار داشتند که شاخص برداشت در برآورد میزان انتقال مواد فتوسنتزی به دانه از بخش رویشی حائز اهمیت است (Rogers *et al.*, 2016).

بر اساس معادله شاخص برداشت، تنش خشکی در مرحله رویشی اثر کاهشی بارزی بر عملکرد بیولوژیک داشته، در حالی که تأثیر آن بر عملکرد دانه به طور نسبی کمتر بوده است؛ لذا شاخص برداشت در این شرایط افزایش نشان داده است. در صورت وقوع تنش خشکی در مرحله زایشی، شاخص برداشت کاهش جدی می‌یابد که علت این کاهش حساسیت گیاه ذرت به تنش خشکی در مرحله بحرانی گلدهی است. از دلایل کاهش عملکرد دانه در اثر تنش کم‌آبی کوتاه‌شدن دوره رشد و تسریع پیری برگ‌ها است. البته کاهش سطح فتوسنتزکننده، کاهش تولید آسیمیلات فتوسنتزی و نهایتاً رشد کمتر گیاه در شرایط تنش‌زا، می‌تواند به کاهش عملکرد اقتصادی و متعاقب آن کاهش شاخص برداشت منجر شود (Gebremariam & Baraki, 2016).



شکل ۱. تاثیر اثر ساده تنش کم‌آبی، کود شیمیایی و اثر متقابل سال در کود زیستی بر صفت شاخص برداشت در گیاه ذرت هیبرید ۷۰۶.

۴. نتیجه‌گیری

بروز تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر فعالیت‌های میکروبی خاک در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود که از طریق محدودیت دسترسی به عناصر غذایی، فعالیت میکروبی خاک را کاهش می‌دهد. مطالعه حاضر نشان داد که حاصلخیزی خاک در زمان خشکی، عامل اصلی محدودکننده عملکرد است، بنابراین دسترسی به عناصر غذایی پرمصرف و کم-مصرف، یکی از اقدامات مهمی است که سبب افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی باعث بهبود صفات مورد بررسی نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کود) و یا مصرف کود شیمیایی به‌تنهایی شد. لذا با توجه به اثرات مثبتی که کودهای زیستی بر صفات مرتبط با عملکرد گیاه ذرت به‌ویژه تحت شرایط کم‌آبی داشت، همچنین نظر به اهمیت کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی در جهت رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار و ضرورت تولید گیاهان زراعی در نظام‌های زراعی، کودهای زیستی می‌توانند جایگزین مناسبی برای بخشی از کودهای شیمیایی باشند.

۵. منابع

- Abbasi, A., Malekpour, M., & Sobhanverdi, S. (2021). The Arabidopsis expansin gene (*AtEXPA18*) is capable to ameliorate drought stress tolerance in transgenic tobacco plants. *Molecular Biology Reports*, 48(8), 5913-5922.
- Afarinesh, A., Fathi, G., Chugan, R., Syadat, S.A., Alamisaid, G., & Ashrafizadeh, S.R. (2016). Effect of drought stress on physiological traits of maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Journal of Crop Production and Processing*, 5(18), 195-205. (In Persian).
- Ahemad, M., & Khan, M.S. (2012). Evaluation of plant growth promoting activities of rhizobacterium *Pseudomonas putida* under herbicide-stress. *Annual Review of Microbiology*, 62, 1531-1540.

- Ahemad, M., & Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University-Science*, 26, 1-20.
- Ahmed, H.G.M.D., Sajjad, M., Li, M., Azmat, M.A., Rizwan, M., Maqsood, R.H., & Khan, S.H. (2019a). Selection criteria for drought-tolerant bread wheat genotypes at seedling stage. *Sustainability*, 11(9), 2584.
- Ahmed, M., Aslam, M.A., Hassan, F., Hayat, R., & Ahmad, S. (2019b). Biochemical, physiological and agronomic response of wheat to changing climate of rainfed areas of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 51, 535-551.
- Ahmed, M., Hassan, F., & Asif, M. (2012c). Physiological response of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) to high temperature and moisture stresses. *Australian Journal of Crop Science*, 6, 749-755.
- Ahmed, M., Hassan, F.U., Aslam, M., & Aslam, M.A. (2012a). Physiological attributes based resilience of wheat to climate change. *International Journal of Agriculture and Biology*, 14, 407-412.
- Arrudaa, L., Beneduzi, A., Martins, A., Lisboa, B., Lopes, C., Bertolo, F., Passaglia, M., & Vargas, K. (2013). Screening of rhizobacteria isolated from maize (*Zea mays* L.) in Rio Grande do sol state (South Brazil) and analysis of their potential to improve plant growth. *Applied Soil Ecology*, 63, 15- 22.
- Atta, Y., Abdel-fatah, A., Gaafar, I., & AbdouHassan, W. (2015). Validation of accurate determination of maize water requirements in Nile Delta. Proceedings of the 26th Euro-mediterranean regional conference and workshops. Innovate to improve irrigation performances. 12-15 October 2015, Montpellier, France.
- Awan, S.I., Ahmad, S.D., Mur, L., & Ahmed, M.S. (2017). Marker-assisted selection for durable rust resistance in a widely adopted wheat cultivar "Inqilab-91". *International Journal of Agriculture and Biology*, 19, 1319-1324
- Bayat, H., Omidi, M., Shah Nejat Boushahri, A.A., & Naghavi, M.R. (2022). Evaluation of some physiological and biochemical traits of wild species and wheat possessing the D genome under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(4), 77-91.
- Behrooz, A., Vahdati, K., Rejali, F., Lotfi, M., Sarikhani, S., & Leslie, C. (2019). Arbuscular mycorrhiza and plant growth-promoting bacteria alleviate drought stress in walnut. *HortScience*, 54(6), 1087-1092.
- Chang, P., Gerhardt, K.E., Glick, B.R., Gerwing, P.D., & Greenberg, B.M. (2014). Plant growth promoting bacteria facilitate the growth of barley and oats in salt impacted soil: Implications for phytoremediation of saline soils. *International Journal of Phytorem*, 16(11), 1133-1147.
- De-Morais-Oliveira, J.P., Pela, A., Ribeiro, D., De-Oliveira, B.S., Da-silva, L.M., Ferreira-Silva, J., & Da-Silveira, P.S. (2016). Nitrogen accumulation and productivity of green corn in function of ways and seasons of top-dressing nitrogen fertilizer application. *African Journal of Agricultural Research*, 11(35), 3293-3298.
- Gebremariam, G., & Baraki, F. (2016). Response of rice yield and yield parameters to timings of nitrogen application in Northern Ethiopia. *International Journal of Engineering Research and Development*, 4(4), 897-900.
- Grichko, V.P., & Glick, B.R. (2001). Amelioration of flooding stress by ACC deaminase containing plant growth promoting bacteria. *Plant Physiology and Biochemistry*, 39, 11-17.
- Hojattipor, E., Jafari, B., & Dorostkar, M. (2014). The effect of integration of biological and chemical fertilizers on yield, yield components and growth indexes of wheat. *Journal of Plant Ecophysiology*, 5(15), 36-48.
- Hui-Mean, F., Yusop, Z., & Yusof, F. (2018). Drought analysis and water resource availability using standardised precipitation evapotranspiration index. *Atmospheric Research*, 201, 102-115.
- Jahanian, A., Chaichi, M.R., Rezaei, K., Rezaayadi, K., & Khavazi, K. (2012). The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination and primary growth of artichoke (*Cynara scolymus*). *International Journal of Agriculture Crop Science*, 4, 923-929.
- Jia, M., Chen, L., Xin, H.L., Zheng, C.J., Rahman, K., Han, T., & Qin, L.P. (2016). A friendly relationship between endophytic fungi and medicinal plants: A systematic review. *Frontiers in Microbiology*, 7, 906.
- Karlidag, H., Esitken, A., Turan, M., & Sahin, F. (2007). Effects of root inoculation of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient elements contents of leaves of apple. *Scientia Horticulturae*, 114, 16-20.
- Khan, M.A., Tahir, A., Khurshid, N., Ahmed, M., & Boughanmi, H. (2020). Economic effects of climate change-induced loss of agricultural production by 2050: A case study of Pakistan. *Sustainability*, 12(3), 1216.
- Khosravi, H. (2019). Response of maize to inoculation with azotobacter under drought stress conditions. *Journal of Water Research in Agriculture*, 33(1), 29-38. (In Persian).
- Khavazy, K., Asadi-Rahmani, H., & Malakouti, M.J. (2005). Necessity of industrial production of biological fertilizers in country. Sana Publication, pp. 274-279. (In Persian).
- Li, J., Meng, B., Chai, H., Yang, X., Song, W., Li, S., & Sun, W. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate drought stress in C3 (*Leymus chinensis*) and C4 (*Hemarthria altissima*) grasses via altering antioxidant enzyme activities and photosynthesis. *Frontiers in Plant Science*, 10, 499.
- Liu, Z., Shang, H., Han, F., Zhang, M., Li, Q., & Zhou, W. (2021). Improvement of nitrogen and phosphorus availability by *Pseudoalteromonas* sp. during salt-washing in saline-alkali soil. *Applied Soil Ecology*, 168, 104-117.

- Ma, J., Li, R., Wang, H., Li, D., Wang, X., Zhang, Y., & Li, Y. (2017). Transcriptomics analyses reveal wheat responses to drought stress during reproductive stages under field conditions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 592.
- Mayak, S., Tirosh, T., & Glick, B.R. (2004). Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 42, 565-572.
- Moradtalab, N., Hajiboland, R., Aliasgharzad, N., Hartmann, T.E., & Neumann, G. (2019). Silicon and the association with an arbuscular-mycorrhizal fungus (*Rhizophagus clarus*) mitigate the adverse effects of drought stress on strawberry. *Agronomy*, 9(1), 41.
- Nadeem, S.M., Zahir, Z.A., Naveed, M., & Ashraf, M. (2010). Microbial ACC-deaminase: Prospects and applications for inducing salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 29, 360-93.
- Parent, B., Shahinnia, F., Maphosa, L., Berger, B., Rabie, H., Chalmers, K., & Fleury, D. (2015). Combining field performance with controlled environment plant imaging to identify the genetic control of growth and transpiration underlying yield response to water-deficit stress in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 66(18), 5481-5492.
- Rogers, E.D., Monaenkova, D., Mijar, M., Nori, A., Goldman, D.I., & Benfey, P.N. (2016). X-ray computed tomography reveals the response of root system architecture to soil texture. *Plant Physiology*, 171(3), 2028-2040.
- Rostami, T., & Farahani, S.M. (2020). The impact of applying mycorrhiza and surfactant on forage characteristics of maize under deficit irrigation. *Journal of Crops Improvement*, 3, 22-30.
- Russo, A., Vettori, L., Felici, C., Fiaschi, G., Morini, S., & Toffanin, A. (2008). Enhanced micropropagation response and biocontrol effect of *Azospirillum brasilense* Sp245 on *Prunus cerasifera* L. clone Mr. S 5.2 plants. *Journal of Biotechnology*, 134, 312-319.
- Srivastava, R., Joshi, M., Kumar, A., Pachari, S., & Sharma, A.K. (2010). Biofertilizers for sustainable agriculture. In: Sharma, A.K., Wahab, S., & Srivastava, R. (Editors). *Diversification problems and perspectives. International Publishing House Pvt. Ltd. New Delhi, India*, 58-73.
- Tank, N., & Saraf, M. (2010). Salinity-resistant plant growth promoting rhizobacteria ameliorates sodium chloride stress on tomato plants. *Journal of Plant Interact*, 5, 51-58.
- Vahedi, A. (2015). Effects of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) competition on the yield and yield components of corn under different levels of nitrogen application. *Journal of Agroecology*, 5(2), 14-25. (In Persian).
- Vesey, J.K. (2003). Plant growth promoting rhizo bacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255, 571-586.
- Yooyongwech, S., Samphumphuang, T., Tisarum, R., Theerawitaya, C., & Cha-Um, S. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved water deficit tolerance in two different sweet potato genotypes involves osmotic adjustments via soluble sugar and free proline. *Scientia Horticulturae*, 198, 107-117.
- Zaman-Khan, H., Iqbal, S., Iqbal, A., Akbar, N., & Jones, D. (2011). Response of maize (*Zea mays* L.) varieties to different levels of nitrogen. *Crop and Environment*, 2(2), 15-19.
- Xiong, L., Shah, F., & Wu, W. (2022). Environmental and socio-economic performance of intensive farming systems with varying agricultural resource for maize production. *Science of the Total Environment*, 850, 158030.