

اثر باکتری‌های محرک رشد گیاهی بر صفات آگرومورفولوژیک سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) تحت تنش کمبود آب

زینب بش^۱، عبدالرزاق دانش‌شهرکی^{۲*}، مهدی قبادی‌نیا^۳، کرامت‌الله سعیدی^۴

۱. دانشجوی دکتری زراعت گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲. استادیار گروه مهندسی زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳. استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۴. استادیار گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۲۷

چکیده

به منظور بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاهی بر صفات آگرومورفولوژیک سیاهدانه تحت تنش کمبود آب آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سطوح مختلف تنش کمبود آب در سه سطح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و باکتری‌های محرک رشد گیاهی در هفت سطح شاهد و تلقیح با شش گونه باکتریایی شامل *Bacillus sp. Strain A*، *Azospirillum lipoferum*، *Bacillus amyloliquefaciens*، *Bacillus sp. Strain B*، *Azotobacter chroococcum* و *Pseudomonas putida* بودند. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر سطوح تنش کمبود آب، تیمارهای باکتریایی و اثر متقابل آن‌ها بر تعداد دانه در کیسول، تعداد کیسول در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت معنی‌دار بود. نتایج نشان داد افزایش تنش کمبود آب سبب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه گردید؛ به طوری که افزایش تنش کمبود آب (تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) سبب کاهش ۱۸ درصدی عملکرد بیولوژیک و ۲۸ درصدی عملکرد دانه شد. نتایج به دست آمده از اثر متقابل سطوح تنش کمبود آب و کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاهی نشان داد، کاربرد باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* تحت تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتریایی) به ترتیب به میزان ۲۴/۸ و ۳۵/۲ درصد افزایش یافتند. تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد گیاهی سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) در دو سطح تنش (۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) گردید. این افزایش در تیمارهای تلقیح شده با باکتری‌های *Bacillus amyloliquefaciens* و *Bacillus sp. Strain B* چشمگیرتر بود. در مجموع با توجه به نتایج این پژوهش، تلقیح باکتریایی بذر با باکتری‌های *Bacillus sp. Strain B* و *Bacillus amyloliquefaciens* به ویژه در روش‌های کشت کم آبیاری جهت کاهش اثرات تنش توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: باسیلوس، تنش خشکی، کشاورزی پایدار، کودهای بیولوژیک

مقدمه

سیاهدانه با نام علمی (*Nigella sativa* L.) از گیاهان دارویی علفی یک‌ساله متعلق به تیره آلاله (Rununculaceae) مخصوص نواحی نیمه‌خشک است (Ermumcu et al., 2017). طی بررسی‌های انجام‌شده توسط پژوهشگران دانه سیاهدانه حاوی مقادیر بالایی از اسیدهای چرب لینولئیک و

با توجه به تأکید سازمان بهداشت جهانی در جایگزینی تدریجی داروهای طبیعی به جای داروهای شیمیایی، در سال‌های اخیر توجه زیادی به کشت و پرورش گیاهان دارویی شده است. بدین ترتیب با افزایش مصرف گیاهان دارویی نیاز به توسعه کشت و برنامه‌ریزی صحیح در این زمینه ضروری است.

سیاهدانه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از کودهای زیستی موجب افزایش اسانس و اجزای عملکرد سیاهدانه گردید (Hadi et al., 2015). در پژوهشی که توسط دانشور و خواجویی‌نژاد (Daneshvar and Khajoei-Nejad, 2014) انجام شد کاربرد کودهای زیستی موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گلرنگ تحت رژیم‌های مختلف آبیاری شد. با توجه به شرایط اقلیمی ایران همراه با گستره وسیع کم‌آبی و اهمیت تولید گیاهان دارویی، این پژوهش با هدف ارزیابی اثر باکتری‌های محرک رشد گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه تحت تنش کمبود آب طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد با میانگین بارندگی ۳۱۶ میلی‌متر و میانگین دما ۱۲ درجه سلسیوس انجام گرفت. این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل سطوح مختلف تنش کمبود آب در سه سطح (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) و باکتری‌های محرک رشد گیاهی در هفت سطح (شاهد یا عدم تلقیح باکتریایی و تلقیح با شش گونه باکتریایی (*Bacillus*, *Bacillus* sp. Strain A) و *Bacillus* sp. Strain B *amyloliquefaciens* و *Pseudomonas putida*, *Azotobacter chroococcum* و *Azospirillum lipoferum*) در نظر گرفته شدند. باکتری‌های محرک رشد از کلکسیون بانک ژنی پژوهشکده زیست-فناوری دانشگاه شهرکرد، بانک میکروب ایران و موسسه آب‌و خاک ایران تهیه شدند. مایه تلقیح باکتری‌های مورد آزمایش در تیمارهای تلقیحی با استفاده از محیط TSB و روش کدورت سنجی به نحوی تهیه شد که دارای جمعیت تقریبی $10^8 \times 5$ سلول باکتری (CFU) در هر میلی‌لیتر مایه تلقیح بودند و به منظور اعمال تیمارهای تلقیحی، بذور ضد-عفونی شده به مدت ۲ ساعت در سوسپانسیون باکتریایی قرار داده شدند (Naderi, 2012). عملیات کاشت در نیمه دوم اردیبهشت‌ماه صورت گرفت. بذرها هر تیمار پس از تلقیح در عمق سه سانتی‌متری کشت گردید. هر کرت فرعی شامل پنج ردیف کاشت به فاصله ۳۰ سانتی‌متر و به طول سه متر بود. فاصله گیاهان روی ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌های اصلی یک متر در نظر گرفته شد (Malhotra, 2017).

اولتیک است (Atta, 2003). برای این گیاه خواص مختلف دارویی از قبیل ضدنفخ، مسهل، ضد دندان‌درد، ضد سردرد، ضد سرطان، بی‌اشتهایی و ضد دیابت گزارش شده است (Ermumcu et al., 2017).

رشد و نمو گیاهان دارویی مانند سایر گیاهان زراعی متأثر از عوامل محیطی و ژنتیکی بوده و حداکثر عملکرد تنها زمانی حاصل می‌شود که ترکیب مناسبی از عوامل محیطی در طول فصل رشد گیاه فراهم باشد. حدود یک‌سوم کره زمین را مناطق خشک و نیمه‌خشک در برمی‌گیرد که وسعت این مناطق بیش از ۴۵ میلیون کیلومتر مربع تخمین زده شده است (Abolhassani-Zeraatkar et al., 2008).

یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محیطی مؤثر در زندگی گیاهان آب است که کاهش آن موجب محدودیت رشد و عملکرد گیاهان می‌گردد (Caser et al., 2017). تنش خشکی می‌تواند بر رشد رویشی، گلدهی، گرده‌افشانی و لقاح، تشکیل میوه و عملکرد تأثیرگذار باشد و موجب کاهش هر یک از این فاکتورها گردد (Bandani and Abdolzadeh, 2006). محققان ضمن بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی سیاهدانه گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع گیاه، زیست‌توده و اجزای عملکرد این گیاه گردید (Rezapour et al., 2011). همچنین نتایج پژوهش دیگری روی گیاه سیاهدانه تحت تنش خشکی، نشان داد که اعمال تنش ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مراحل مختلف رشد سبب کاهش تعداد دانه در کیپسول، تعداد کیپسول در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد (Soltan and Mansourifar, 2017).

در سال‌های اخیر کاربرد باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه که گروهی از باکتری‌های مفید مستقر در مجاورت سیستم ریشه‌ای گیاهان می‌باشند، به دلیل تثبیت نیتروژن، تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه، افزایش حلالیت ترکیبات نامحلول مثل فسفر، تولید ویتامین‌ها، تولید سیدروفورها و افزایش فراهمی عناصر کم‌مصرف به‌ویژه آهن، رقابت با گونه‌های مضر برای اشغال ریشه، تولید آنزیم ACC دامیناز مؤثر در کاهش اثرات سوء اتیلن و افزایش بیان ژن‌های مسئول ایجاد مقاومت در مقابل تنش‌های شوری و خشکی، موجب افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی می‌شوند (Bacili et al., 2004). پژوهشگران در یک آزمایش مزرعه‌ای تأثیر کودهای زیستی بر اسانس، شاخص برداشت و اجزای عملکرد

کامل نیاز آبی گیاه به‌طور مرتب آبیاری شد و تنش کمبود آب پس از استقرار کامل تا زمان برداشت گیاه اعمال گردید. تیمارهای تنش کمبود آب به‌صورت یکنواخت اعمال گردید. برای آبیاری تیمارهای آزمایش، کمبود رطوبت خاک برای آبیاری کامل، تعیین و میزان آب موردنیاز محاسبه شد و آبیاری انجام شد (Farshi et al. 2003). به‌منظور تعیین رطوبت از دستگاه رطوبت‌سنج (SM300) ساخت شرکت (Delta-T) استفاده شد.

2012). نیاز غذایی گیاه با نمونه‌برداری از مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک و با توجه به نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و نیاز غذایی سیاهدانه (۳۰ کیلوگرم نیتروژن، ۲۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و ۶۰ کیلوگرم اکسید فسفر در هکتار) محاسبه و اعمال شد (Malhotra, 2012). به‌منظور دستیابی به تراکم ۱۶ بوته در مترمربع، عملیات تنک بعد از مرحله سبز شدن و استقرار کامل گیاهچه‌ها انجام شد. گیاهچه‌ها تا زمان استقرار کامل بوته (مرحله سه تا چهار برگگی) تا حد تأمین

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1. Soil physical and chemical characteristics of the research farm

Depth	Clay	Silt	Sand	O.C	N	P	K	pH	EC
عمق	رس	سیلت	شن	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم		هدایت الکتریکی
(cm)	-----(%)-----					-----(mg.kg^{-1})-----			(dS.m^{-1})
0-30	39	40	21	0.6	0.06	16.7	450	7.7	0.5

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای تنش کمبود آب و تلقیح باکتریایی بر تمام صفات موردبررسی در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل این تیمارها نیز بر تمام صفات موردبررسی به‌جز ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

ارتفاع بوته

با توجه به مقایسه میانگین تیمارهای تنش کمبود آب بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به ترتیب مربوط به سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (۴۹/۶ سانتی‌متر در گیاه) و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه (۴۵/۷ سانتی‌متر در گیاه) بود (جدول ۳). افزایش تنش خشکی سبب افزایش رقابت برای جذب رطوبت بین بخش هوایی و زمینی در بوته می‌شود و در این رقابت گیاه مواد فتوسنتزی بیشتری را به ریشه اختصاص می‌دهد و در نتیجه مواد فتوسنتزی کمتری به بخش هوایی رسیده که این امر موجب کاهش ارتفاع بوته سیاهدانه می‌شود (Farooq et al., 2009). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از محققین، کاهش ارتفاع گیاه در شرایط تنش کم‌آبی ناشی از تقسیم و گسترش سلولی است (Farooq et al., 2009). همچنین طبق نتایج به‌دست‌آمده ارتفاع بوته در کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاهی در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور

برداشت گیاهان از تاریخ هفت مهرماه زمانی که دانه رسیده و شاخ و برگ آن زرد شده بود با دست صورت گرفت. جهت اندازه‌گیری صفات موردنظر قبل از برداشت نهایی از هر کرت پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب و به آزمایشگاه منتقل شد و صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی و تعداد کپسول در هر بوته اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد نهایی در هر کرت از دو ردیف میانی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، سطحی به مساحت یک مترمربع برداشت شد و پس از خشک شدن کامل، کل نمونه‌های توزین و عملکرد بیولوژیک تعیین گردید و جهت تعیین عملکرد دانه، نمونه‌ها با دست کوبیده شد و دانه‌ها جدا و توزین گردید. همچنین از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک و ضرب آن در عدد ۱۰۰، شاخص برداشت دانه برحسب درصد محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزارهای SAS ۹.۰ و مقایسه میانگین‌ها به روش برش‌دهی اثر تلقیح باکتریایی در هر یک از سطوح تنش کمبود آب با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد صورت گرفت. چراکه استفاده از روش برش‌دهی از پوشیده ماندن اختلاف تیمارهای باکتریایی در هر یک سطوح تنش کمبود آب جلوگیری می‌کند و هدف آن مشخص کردن کارآمدترین سطح یک تیمار در سطوح مختلف تیمار دیگر است (Soltani, 2006). برای ترسیم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

طول میانگره‌ها موجب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود. زهیر و همکاران (Zahir et al., 2004) گزارش کردند که باکتری-های محرک رشد گیاهی با ترشح ترکیبات مختلفی مانند اکسین‌ها، سیتوکنین‌ها، ریبوفلاوین‌ها و ویتامین‌ها موجب افزایش رشد و طول سلول‌های اندام هوایی و در نتیجه موجب افزایش ارتفاع بوته شدند.

قابل توجهی افزایش یافت (جدول ۳). بیشترین ارتفاع بوته در تیمارهای تلقیح شده با باکتری‌های *Bacillus sp. Strain A*، *Bacillus sp. Strain B* و *amyloliquefaciens* مشاهده شد که به ترتیب ارتفاع بوته را هفت، پنج و پنج درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی داری دادند (جدول ۳). دسترسی به مواد غذایی در نتیجه استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاهی، از طریق افزایش

جدول ۲. میانگین مربعات صفات ارزیابی شده تحت تلقیح باکتریایی در سطوح مختلف تنش کمبود آب در گیاه سیاهدانه

Table 2. Mean squares for measurement traits under bacterial inoculation at different levels of water deficit stress in Black cumin

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی number of lateral branch	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000 seed weight	تعداد کیسول در بوته number of capsule	تعداد دانه در کیسول number seed per capsule	عملکرد بیولوژیک biological yield	عملکرد دانه grain seed yield	شاخص برداشت harvest index
Replication	تکرار	2	1.66 ^{ns}	0.69 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	3.05 ^{ns}	0.76 ^{ns}	14286 ^{ns}	3250 ^{ns}	15.4 ^{ns}
Water deficit (W.D)	کمبود آب	2	81.1**	4.71**	0.18**	1606**	1100**	1548771**	707065**	163**
Error a	خطا	4	0.89	0.10	0.0001	6.69	1.20	7355	2918	2.11
PGPRs (P)	باکتری	6	9.50**	1.28**	0.22**	338**	1312**	363027**	114692**	33.8**
W.D × P	تنش × باکتری	12	1.43 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.006**	37.53**	39.99**	106585**	14554**	14.3**
Error b	خطا	36	0.90	0.11	0.0001	4.08	2.15	4576	2171	4.21
CV(%)	ضریب تغییرات		1.98	5.21	1.49	3.22	1.98	4.61	4.19	4.80

ns غیر معنی داری و ** معنی دار در سطح احتمال خطای یک درصد است.

ns, non-significant and ** are significant at 1% probability level.

بوته مربوط به تیمار باکتری‌های *Bacillus amyloliquefaciens* و *Bacillus sp. Strain A* و کمترین تعداد شاخه‌های جانبی با میانگین ۸/۳ عدد شاخه در بوته مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۳). پس از آن تیمارهای تلقیح تیمارهای تلقیح باکتریایی *Pseudomonas putida*، *Bacillus sp. Strain B*، *Azospirillum lipoferum* و *Azotobacter* با هشت درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد در سطح آماری دوم قرار گرفتند. احتمالاً باکتری‌های محرک رشد گیاهی، با جذب و انتقال بهتر عناصر معدنی و با توجه به نقش این عناصر در رشد و توسعه گیاه، می‌توانند پارامترهایی نظیر تعداد برگ، تعداد شاخه‌های جانبی و طول شاخه‌های جانبی را در گیاه افزایش دهند. همچنین پژوهشگران با بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر گیاه

تعداد شاخه‌های جانبی در بوته

نتایج جدول مقایسه میانگین تیمارهای تنش کمبود آب نشان داد که با افزایش تنش کمبود آب تعداد شاخه‌های جانبی کاهش یافت، به طوری که کمترین تعداد شاخه‌های جانبی با میانگین ۸/۵ شاخه در بوته مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و بیشترین آن با میانگین ۹/۴ شاخه در بوته متعلق به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بود که از نظر آماری اختلاف معنی داری داشتند (جدول ۳). تنش رطوبتی با کاهش طول دوره رشد گیاه و همچنین تسریع در ورود به فاز زایشی، مانع رشد جوانه‌های جانبی شده و تعداد شاخه‌های جانبی را کاهش می‌دهد (Barrios et al., 2005). نتایج به دست آمده نشان می‌دهد بین تیمارهای باکتریایی بیشترین تعداد شاخه-های جانبی به ترتیب با میانگین ۹/۶ و ۹/۲ عدد شاخه در

وزن هزار دانه

طبق نتایج به‌دست‌آمده استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاهی موجب کاهش اثرات نامطلوب تنش کمبود آب در تمام سطوح تنش گردید. به‌طوری‌که در تیمارهای تنش کمبود آب استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاهی موجب افزایش معنی‌دار این صفت نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتریایی) شد (شکل ۱).

ذرت گزارش کردند که باکتری‌ها با افزایش دسترسی گیاه به آب و مواد غذایی کافی و جذب مواد معدنی و عناصر به-خصوص نیتروژن از طریق تأثیر بر روی تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها در افزایش اجزای رشد رویشی بسیار مؤثر می‌باشند (Wu et al., 2005). محققان نتایجی مشابه در مورد اثر مثبت تیمارهای باکتریایی بر تعداد شاخه‌های جانبی گیاه کلزا نیز گزارش نموده‌اند (Yasari et al., 2007).

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات ارزیابی‌شده تحت تلقیح باکتریایی در سطوح مختلف تنش کمبود آب در گیاه سیاهدانه

Table 3. Means comparison for measurement traits under bacterial inoculation at different levels of water deficit stress in Black cumin

Treatments	تیمار	ارتفاع بوته Plant height	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000 seed weight	تعداد کیسول number of capsule	تعداد شاخه فرعی number of lateral branch
		(cm)	(g)	----- (per plant) -----	
100% water requirement	۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه	49.6 ^a	2.66 ^a	72.0 ^a	9.44 ^a
75% water requirement	۷۵٪ نیاز آبی گیاه	48.2 ^b	2.56 ^b	61.5 ^b	8.89 ^b
50% water requirement	۵۰٪ نیاز آبی گیاه	45.7 ^c	2.47 ^c	54.6 ^c	8.50 ^c
<i>Bacillus sp. Strain A</i>		49.2 ^a	2.65 ^{ab}	73.6 ^a	9.13 ^{ab}
<i>B.amyloliquefaciens</i>		48.5 ^{ab}	2.69 ^a	67.4 ^b	9.54 ^a
<i>Bacillus sp. B</i>		48.5 ^{ab}	2.69 ^a	62.1 ^c	8.94 ^b
<i>Azotobacter chroococcum</i>		47.8 ^{bc}	2.54 ^c	59.1 ^d	8.84 ^b
<i>P. putida</i>		46.9 ^{de}	2.46 ^d	60.3 ^{cd}	8.98 ^b
<i>Azospirillum lipoferum</i>		47.5 ^{cd}	2.64 ^b	61.6 ^c	8.87 ^b
Control		46.2 ^e	2.26 ^e	54.7 ^e	8.27 ^c

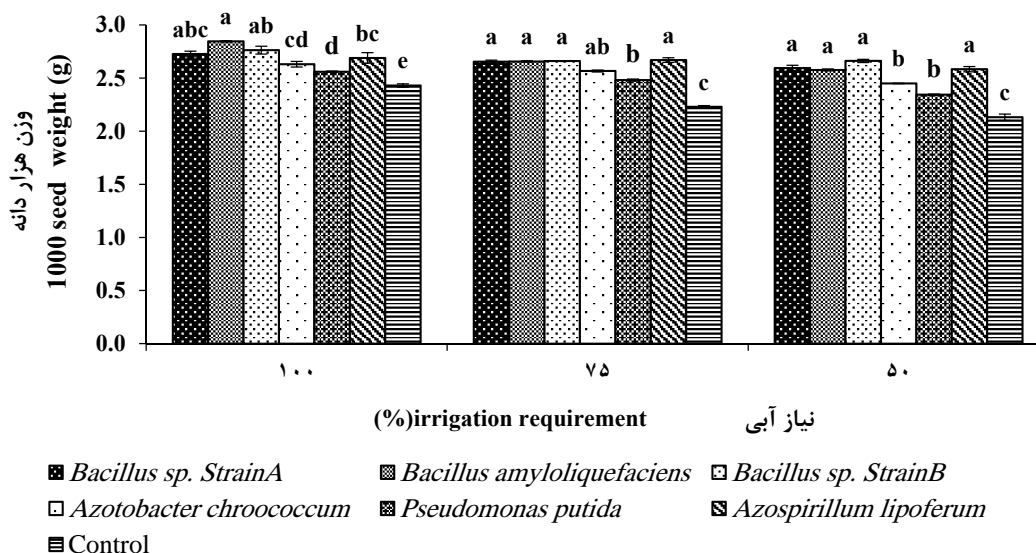
Table 3. Continued

جدول ۳. ادامه

Treatments	تیمار	تعداد دانه در کیسول number seed per capsule	عملکرد بیولوژیک biological yield	عملکرد دانه grain yield	شاخص برداشت harvest index
			----- (Kg.h ⁻¹) -----		(%)
100% irrigation requirement	۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه	81.3 ^a	2836 ^a	1277 ^a	45.1 ^a
75% irrigation requirement	۷۵٪ نیاز آبی گیاه	73.9 ^b	2695 ^b	1138 ^b	42.3 ^b
50% irrigation requirement	۵۰٪ نیاز آبی گیاه	66.8 ^c	2312 ^c	913 ^c	39.5 ^c
<i>Bacillus sp. Strain A</i>		81.8 ^c	2692 ^b	1093 ^c	40.6 ^{cd}
<i>B.amyloliquefaciens</i>		88.0 ^a	2970 ^a	1267 ^a	42.7 ^b
<i>Bacillus sp. B</i>		83.9 ^b	2667 ^b	1209 ^b	45.2 ^a
<i>Azotobacter chroococcum</i>		65.7 ^e	2582 ^{bc}	1085 ^c	41.9 ^{bc}
<i>P.putida</i>		63.3 ^f	2534 ^c	1092 ^c	43.0 ^b
<i>Azospirillum lipoferum</i>		79.0 ^d	2550 ^c	1112 ^c	43.4 ^{ab}
Control		56.3 ^g	2301 ^d	908 ^d	39.2 ^d

در هر ستون حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای پنج درصد (LSD) است.

Different letters in each column and for each treatment present significant differences at 5% level of probability (LSD)



شکل ۱. اثر برش‌دهی اثر متقابل باکتری‌های محرک رشد گیاهی در هر یک از سطوح تنش کمبود آب بر وزن هزار دانه

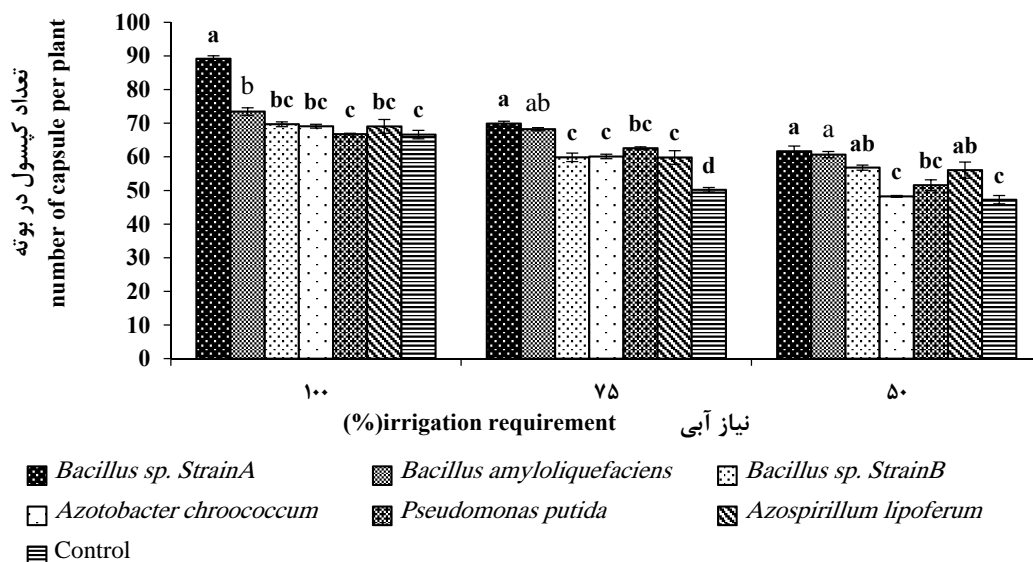
Fig. 1. Slicing interaction effect of PGPRs at each level of water deficit stress on 1000 seed weight

داد که در نهایت به بهبود و افزایش فتوسنتز گیاه منجر می‌شود. همچنین پژوهشگران با بررسی تأثیر نزولات جوی و پرایمینگ بذر با کودهای بیولوژیک بر عملکرد گیاه گندم گزارش کردند که بیشترین وزن هزار دانه در گندم کوه‌دشت متعلق به تیمارهای تلقیح شده با کودهای بیولوژیک بود (Rezaei et al., 2014). چنین به نظر می‌رسد که در تیمارهای تلقیحی به دلیل افزایش توانایی فتوسنتزی، راندمان انتقال مواد غذایی به دانه افزایش یافته و به تبع آن پر شدن مخازن زایشی گیاه منجر به افزایش وزن هزار دانه شده است (Shalan, 2005).

تعداد کپسول در بوته

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نشانگر آن بود که استفاده از تیمارهای باکتریایی بر تعداد کپسول در بوته تحت تأثیر سطوح مختلف تنش کمبود آب قرار گرفت (شکل ۲). بوته‌های سیاهدانه تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد گیاهی در سه سطح تنش کمبود آب نسبت به تیمار شاهد پتانسیل بالاتری را از نظر این صفت نشان دادند که این افزایش در تیمارهای تلقیح شده با باکتری‌های *Bacillus sp. Strain A* و *Bacillus amyloliquefaciens* و *Bacillus sp. Strain B* در هر سه تیمار آبیاری چشمگیرتر بود (شکل ۲).

بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار تلقیح با باکتری‌های *Bacillus sp.* و *Bacillus amyloliquefaciens* و *Bacillus sp. Strain B* در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (۲/۸ گرم) و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد (۲/۴ گرم) بود. در تیمارهای تنش کمبود آب ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نیز بیشترین وزن هزار دانه متعلق به باکتری‌های *Bacillus sp. Strain A* و *amyloliquefaciens* و *Azospirillum lipoferum* و کمترین وزن هزار دانه نیز متعلق به تیمار شاهد بود (شکل ۱). همچنین در میان تیمارهای باکتریایی، *Bacillus sp. Strain B* و *Bacillus amyloliquefaciens* بیشترین وزن هزار دانه را به خود اختصاص دادند و در یک گروه آماری قرار گرفتند. این تیمارهای وزن هزار دانه را ۱۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۳). طبق نتایج به‌دست‌آمده رفتار تیمارهای باکتریایی در سطوح مختلف تنش نیز متفاوت بود، به‌گونه‌ای که در تیمارهای *Bacillus sp. Strain A* و *Azospirillum lipoferum* بین تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد که می‌توان از این تیمارها در شرایط کم‌آبیاری استفاده نمود. افزایش وزن هزار دانه در گیاه در اثر تلقیح با باکتری‌های محرک رشد گیاهی را احتمالاً می‌توان به نقش مثبت باکتری‌ها در گسترش ریشه اعم از وزن و حجم که به جذب آب و عناصر غذایی و انتقال آن به گیاه کمک می‌نماید نسبت



شکل ۲. برش‌دهی اثر متقابل باکتری‌های محرک رشد گیاهی در هر یک از سطوح تنش کمبود آب بر تعداد کپسول در بوته
 Fig. 2. Slicing interaction effect of PGPRs at each level of water deficit stress on number of capsule per plant

باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه انجام شد، پژوهشگران گزارش نمودند که تعداد کپسول در بوته در تیمارهای تلقیحی نسبت به شاهد بیشتر شد و این افزایش، به نقش کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاهی در افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاه نسبت داده شد (Shaalan, 2005).

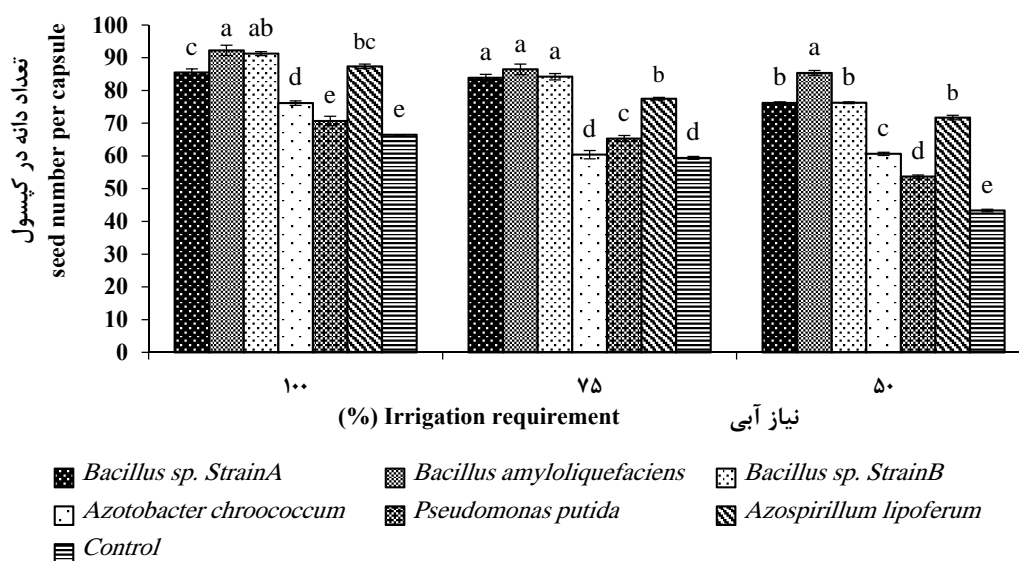
تعداد دانه در کپسول

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که افزایش تنش کمبود آب سبب کاهش ۱۰ و ۱۷ درصدی در تعداد دانه در کپسول می‌شود و این کاهش در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه (۱۷ درصد) چشمگیرتر بوده است (جدول ۳). کاهش رطوبت و عدم تأمین مواد فتوسنتزی لازم برای رشد جنین و تکامل بذر، یکی از دلایل عمده کاهش تعداد دانه در کپسول در شرایط تنش رطوبتی است. بررسی اثرات متقابل تنش کمبود آب و تیمار باکتریایی نشان داد که در تمام سطوح تنش با اعمال تیمارهای باکتریایی تعداد دانه در کپسول نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که این افزایش در تیمارهای تلقیح شده با باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* و *Bacillus sp. Strain B* چشمگیرتر بود (شکل ۳). همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین تعداد دانه در تیمار *Bacillus amyloliquefaciens* تحت سطوح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب

با توجه به نتایج مقایسه تیمارها بیشترین تعداد کپسول در بوته نیز مربوط به باکتری *Bacillus sp. Strain A* (۷۴ کپسول در بوته) و *Bacillus amyloliquefaciens* (۶۸ کپسول در بوته) بود که نسبت به تیمار شاهد ۳۴/۵ و ۲۳/۳ درصد افزایش نشان دادند (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد که درصد کاهش این صفت در تیمار *Bacillus amyloliquefaciens* در دو سطح ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به دیگر تیمارهای باکتریایی و شاهد ناچیز بود که نشان‌دهنده کارآمد بودن این باکتری تحت تنش است. در بررسی که توسط محققان بر روی گیاه گندم انجام شد، آن‌ها گزارش کردند که تأمین آب کافی در مراحل رشد گیاه منجر به افزایش پنجه‌زنی و تعداد برگ می‌شود که در نتیجه جذب CO₂ و میزان فتوسنتز افزایش می‌یابد که در حالت کلی موجب افزایش اجزای عملکرد و به طبع آن عملکرد دانه شد (Arshad et al., 2008). کاهش اجزای عملکرد در شرایط کمبود رطوبت به دلیل رقابت در به دست آوردن مواد غذایی و کاهش کربوهیدرات ذخیره‌ای گیاه است که تیمارهای تلقیح با کاهش اثرات تنش در افزایش اجزای عملکرد نقش مؤثری ایفا کردند. همچنین پژوهشگران اظهار داشتند که توانایی باکتری‌های محرک رشد گیاهی در فرآیند تثبیت نیتروژن و توانمندی آن‌ها در کنترل عوامل بیماری‌زای گیاهی و نیز انحلال فسفات‌های نامحلول با کاهش pH خاک، به‌طور مؤثری موجب افزایش اجزای عملکرد گیاه گندم تحت تنش خشکی شده‌اند (Habibi, 2015). در بررسی که بر روی اثر

دانه در کپسول سیاهدانه از تیمار تلقیحی باکتریایی حاصل شد (Arshad et al., 2008). بنابراین با توجه به این نتایج گزارش شده است که هورمون‌های گیاهی ساخته‌شده توسط باکتری‌های محرک رشد گیاهی بر روی سرعت تنفس، رشد و توسعه ریشه تأثیر می‌گذارند و در نتیجه جذب آب و عناصر غذایی در گیاهان تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد گیاهی افزایش می‌یابد که این عمل می‌تواند به افزایش اجزای عملکرد منجر شود (Tilak et al., 2005).

به میزان ۳۸/۷، ۴۵/۵ و ۹۶/۹ درصد افزایش نشان داد. همچنین می‌توان اظهار داشت باکتری *Bacillus sp. Strain A* با حداقل تفاوت بین تیمار ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی و باکتری‌های *Bacillus amyloliquefaciens* و *Azotobacter* با حداقل تفاوت بین تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه می‌توانند به عنوان تیمارهای کارآمد جهت تکنیک کم‌آبیاری در این گیاه استفاده شوند. در تحقیقی که توسط محققان انجام شد، نتایج نشان داد که بیشترین تعداد



شکل ۳. برش‌دهی اثر متقابل باکتری‌های محرک رشد گیاهی در هر یک از سطوح تنش کمبود آب بر تعداد دانه در کپسول

Fig. 3. Slicing interaction effect of PGPRs at each level of water deficit stress on seed number per capsule

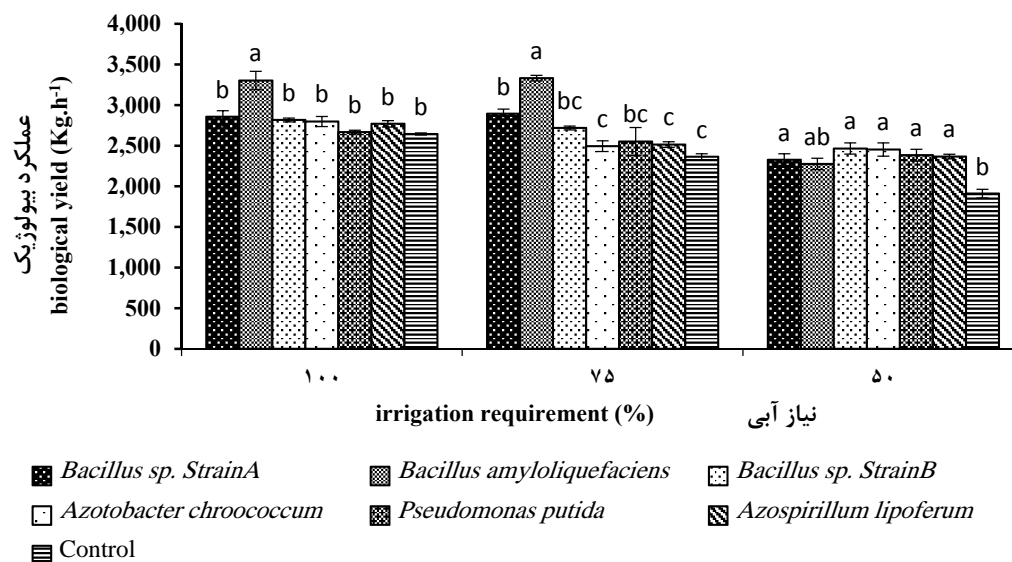
نتایج به دست آمده باکتری‌های *Bacillus sp. Strain A* و *Bacillus amyloliquefaciens* عملکرد بهتری تحت تنش ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی از خود نشان دادند. همچنین در تیمارهای *Bacillus sp. Strain A* و *Pseudomonas putida* تفاوت چشمگیری بین تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده نشد که این بیانگر اثر مناسب این باکتری‌ها تحت تنش است. احتمالاً کودهای بیولوژیک از طریق بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و توسعه سیستم ریشه‌ای موجب بهبود دسترسی و افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه سبب افزایش تولید مواد فتوسنتزی و بهبود ماده خشک گیاهی در گیاه گردیده که این در نهایت موجب افزایش عملکرد بیولوژیک در گیاه می‌گردد. محققان در تحقیقی تأثیر باکتری‌های محرک رشد

عملکرد بیولوژیک

در این پژوهش با اعمال تنش ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، مقدار تولید ماده خشک گیاه ۱۹ درصد نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه کاهش یافت. استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاهی در سطوح مختلف تنش نشان داد که تیمارهای باکتریایی نسبت به تیمار عدم تلقیح باکتریایی، عملکرد بیولوژیک بیشتری را تولید می‌کنند. اگرچه نحوه عمل این باکتری‌ها متفاوت بود، به طوری که بیشترین عملکرد مربوط به باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* تحت تیمار ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه به میزان ۳۳۰۲ و ۳۳۳۱ کیلوگرم در هکتار بود و همچنین تحت تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تمامی تیمارهای باکتریایی نسبت به تیمار شاهد بیشترین عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص دادند (شکل ۴). طبق

سازگاری بهتری را نسبت به این شرایط در گیاه ایجاد می‌کند. به طوری که استفاده از این باکتری‌ها با تثبیت بیشتر نیتروژن، سطح برگ بیشتری را تولید نموده که منجر به افزایش ماده خشک گردید.

گیاهی را بر روی عملکرد و اجزای عملکرد ذرت تحت تنش خشکی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که تلقیح بذرها با باکتری، منجر به افزایش معنی‌داری در عملکرد بیولوژیکی و اجزای عملکرد ذرت شد (Moslemi et al., 2011). فرنی و همکاران (Farnia et al., 2006) گزارش نمود که کاربرد باکتری محرک رشد گیاهی تحت تنش،



شکل ۴. برش‌دهی اثر متقابل باکتری‌های محرک رشد گیاهی در هر یک از سطوح تنش کمبود آب بر عملکرد بیولوژیک

Fig. 4. Slicing interaction effect of PGPRs at each level of water deficit stress on biological yield

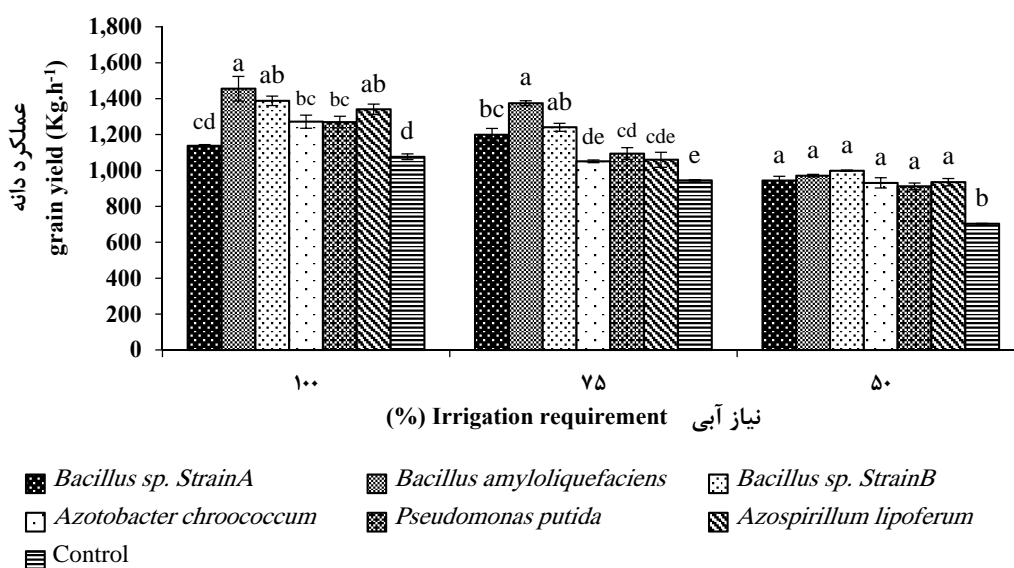
عملکرد تحت تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه شدند. باکتری *Azospirillum lipoferum* sp. Strain B موجب افزایش ۳۱/۲ درصدی عملکرد نسبت به شاهد در این تیمار گردید که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* نداشت. در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تمامی تیمارهای باکتریایی اثر مشابهی نسبت به تیمار شاهد از خود نشان دادند و در یک گروه آماری قرار گرفتند. از بین تیمارهای باکتریایی تیمار *Bacillus sp. Strain A* در تیمار آبیاری کامل از کمترین عملکرد برخوردار بود ولی توانست موجب افزایش عملکرد تحت تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه شود (شکل ۵). طبق نتایج به دست آمده باکتری‌های *Bacillus sp. Strain A* عملکرد بهتری را تحت تنش ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه (۱۱۳۷/۸ کیلوگرم در هکتار) نسبت به آبیاری کامل

عملکرد دانه

با اعمال تنش کمبود آب عملکرد دانه در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به میزان ۲۹ درصد کاهش یافت (جدول ۳). طبق گزارش پژوهشگران، کاهش عملکرد دانه به علت کاهش فتوسنتز که در مراحل اولیه تنش به علت بسته شدن روزنه‌ها و در مرحله بعدی، به دلیل کاهش جذب عناصر غذایی است، اتفاق می‌افتد (Farooq et al., 2009). با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاهی در تمام سطوح کمبود آب عملکرد دانه را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دادند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به تیمار *Bacillus amyloliquefaciens* بود که نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتریایی) در سه سطح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه عملکرد دانه را به ترتیب به میزان ۳۵، ۴۵ و ۳۸ درصد افزایش داد. بعد از این تیمار باکتریایی، باکتری‌های *Bacillus*

محرك رشد گیاهی با تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی مختلف برای گیاه، در تحریک رشد گیاه، افزایش ماده خشک، افزایش عملکرد و اجزای عملکرد مؤثر باشند. باکتری‌های محرك رشد گیاهی علاوه بر افزایش فراهمی عناصر ضروری از طریق تثبیت نیتروژن، رقابت با گونه‌های مضر برای اشغال ریشه، تولید آنزیم‌های لیزکننده دیواره سلولی قارچ‌های بیماری‌زا و افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های غیرزنده عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Sturz and Christie, 2003).

۱۱۹۸/۹ کیلوگرم بر هکتار) به خود اختصاص داد. همچنین تفاوت چشمگیری بین تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در تیمار *Bacillus amyloliquefaciens* در مقایسه با دیگر تیمارهای باکتریایی مشاهده نشد که این نتایج اثر مثبت این باکتری‌ها را تحت شرایط تنش نشان می‌دهد. محققان در بررسی تأثیر باکتری‌های محرك رشد گیاهی بر گیاه جو تحت تنش گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه در تیمارهای باکتریایی و کمترین میزان آن متعلق به تیمار شاهد بود (Khan.Pour et al., 2010). به نظر می‌رسد باکتری‌های



شکل ۵. برش‌دهی اثر متقابل باکتری‌های محرك رشد گیاهی در هر یک از سطوح تنش کمبود آب بر عملکرد دانه

Fig. 5. Slicing interaction effect of PGPRs at each level of water deficit stress on grain yield

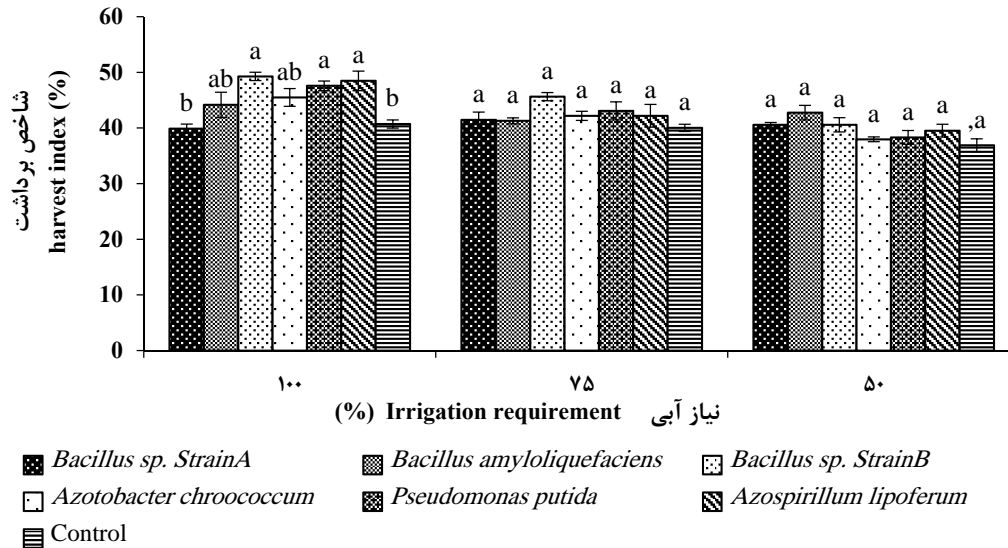
sp. Strain A تحت تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به آبیاری کامل و باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* تحت تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه عملکرد بهتری را نشان می‌دهند که این نتایج اثر مفید این تیمارها را در شرایط تنش نشان می‌دهد. از آنجایی که باکتری‌های محرك رشد گیاهی در تثبیت نیتروژن نقش دارند بنابراین با تلقیح این باکتری‌ها، توان تثبیت زیستی نیتروژن گیاه، جذب بهینه آب و عناصر غذایی و تولید برخی ویتامین‌ها افزایش یافته که در نتیجه رشد کمی و کیفی گیاه تقویت شده و به صورت افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی نمایان می‌گردد (Shakeri et al., 2012). حسنینان و صبری (Hasnain and Sabri, 1996) نیز گزارش کردند که تلقیح گندم با باکتری محرك رشد گیاهی

شاخص برداشت

طبق نتایج به دست آمده با افزایش تنش کمبود آب (۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) شاخص برداشت به میزان ۱۳ درصد کاهش یافت ولی تیمارهایی باکتریایی در تیمار آبیاری کامل سبب افزایش شاخص برداشت نسبت به تیمار شاهد شدند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین درصد شاخص برداشت در تیمار باکتریایی *Bacillus sp. Strain B* (۴۹/۲ درصد) و کمترین درصد آن در تیمار شاهد (۴۰/۷ درصد) و باکتری Strain A (۴۰ درصد) تحت تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد. همچنین تیمارهای باکتریایی نتوانستند تأثیر چندانی بر این صفت تحت تنش‌های ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه داشته باشند و با تیمار شاهد در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۶). بررسی‌ها نشان داد که باکتری *Bacillus*

آن‌ها بر رشد رویشی و زایشی توجیه‌پذیر است و می‌توان بیان نمود که باکتری‌های محرک رشد گیاهی با تأثیر بر تسهیم وزن خشک بوته و تخصیص ماده خشک بیشتر به دانه سبب افزایش شاخص برداشت شده است (Hamidi et al., 2009).

تحت شرایط تنش، موجب تحریک رشد گیاه از طریق کاهش جذب یون‌های سمی، افزایش تولید هورمون اکسین و پروتئین‌های مخصوص تنش شد. افزایش شاخص برداشت تحت تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاهی نیز با توجه به اثر



شکل ۶. برش‌دهی اثر متقابل باکتری‌های محرک رشد گیاهی در هر یک از سطوح تنش کمبود آب بر شاخص برداشت

Fig. 6. Slicing interaction effect of PGPRs at each level of water deficit stress harvest index

و *Bacillus sp. Strain B* به دست آمد. عملکرد دانه در تیمارهای بدون تلقیح باکتریایی، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. با توجه به نتایج اثرات متقابل، تیمارهای باکتریایی اثر منفی ناشی از تنش کم‌آبی را تا حدی کاهش داد و موجب افزایش صفات موردبررسی نسبت به تیمار عدم تلقیح در سه سطح آبیاری شد. در مجموع با توجه به نتایج این پژوهش تلقیح باکتریایی بذر با باکتری‌های *Bacillus amyloliquefaciens* و *Bacillus sp. Strain B* به‌ویژه در روش‌های کشت کم‌آبیاری جهت کاهش اثرات تنش توصیه می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این پژوهش، کاهش آب آبیاری در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، منجر به کاهش اجزای عملکرد و متعاقب آن عملکرد دانه در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه شد. اثر منفی تنش در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه شدیدتر از تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه بود. حداکثر عملکرد بیولوژیک در تیمارهای تلقیح باکتریایی *Bacillus amyloliquefaciens* و *Bacillus sp. Strain A* و *Bacillus sp. Strain B* و بیشترین عملکرد دانه در تیمارهای تلقیح باکتریایی *Bacillus amyloliquefaciens*

منابع

Abolhassani-Zeraatkar, M., Lakzian, A., Haghnia, G., Astarayi, A., Sarcheshmepour, M., 2008. The study of salt and drought tolerance of *Sinorhizobium meliloti* isolated from Kerman province. Iranian Journal of Field

Crops Research. 6, 1-9. [In Persian with English Summary].

Ansori, A., Shahgholi, H., Makarian, H., Fallah-Nosratabad, A.R., 2015. Evaluation of the effects of Plant Growth Promoting

- Rhizobacteria and salinity on germination and growth of corn plants (*Zea mays* L.). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 4, 235-253. [In Persian with English Summary].
- Arshad, M., Shaharoon, B., Mahmood, T., 2008. Inoculation with *Pseudomonas* spp. containing ACCdeaminase partially eliminates the effects of drought stress on growth, yield, and ripening of pea (*Pisum sativum* L.). *Pedosphere (Soil Science Society of China)*. 18, 611-620.
- Atta, M.B., 2003. Some characteristics of nigella (*Nigella sativa* L.) seed cultivated in Egypt and its lipid profile. *Food Chemistry*. 83, 63-68.
- Bacili, M., Rodriguez, H., Moreno, M., 2004. Mitigation of salt stress in wheat seedlings by a gfp-tagged *Azospirillum lipoferum*. *Biology and Fertility of Soils*. 40, 188-193.
- Bandani, M., Abdolzadeh, A., 2006. Effects of silicon nutrition on salinity tolerance of *Puccinellia distans* (Jacq.) parl. *Journal of Agriculture Science and Natural Resources*. 14, 111-119. [In Persian with English Summary].
- Barrios, A.N., Hoogenboom, G., Nesmith, D.S., 2005. Drought stress and the distribution of vegetative and Reproductive Traits of a Bean Cultivar. *Scientia Agricola*. 61, 18-22.
- Caser, M., Lovisol, C., Scariot, V., 2017. The influence of water stress on growth, ecophysiology and ornamental quality of potted *Primula vulgaris* 'Heidy' plants. New insights to increase water use efficiency in plant production. *Plant Growth Regulation*. 83, 361-373.
- Choobforoush Khoei, B., Roshdi, M., Jalili, F., Ghaffari, M., 2014. The effect of biofertilizers on the yield and yield components of sunflower nuts in the Khoy region. (In Persian, with English Abstract.). *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)*. 103, 132-139.
- Daneshvar, F., Khajoei-Nejad Gh.R., 2014. Study of bio-fertilizers application effects on yield potential and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under different irrigation regimes. *Journal of Irrigation and Water Engineering*. 16, 59-69. [In Persian with English Summary].
- Ermumcu, M.S.K., Sanher, N., 2017. Black Cumin (*Nigella sativa*) and its active component of thymoquinone: effects on health. *Journal of Food and Health Science*. 3, 170-183.
- Farnia, A., Noormohammadai, G., Naderi, A., Darvish, F., Majidi-Hervan, I., 2006. Effect of drought stress and strains of *Bradyrhizobium japonicum* on grain yield and associated characteristics in soybean (cv. Clark) in Borujerd. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 8, 201-214. [In Persian with English Summary].
- Farshi, A., Siadat, H., Darbandi, C., Ansari, M., Kheirabi, G., Mir Latefi, M., Salamat, A., Sadat Miri, M.H., 2003. *Irrigation Water Management*. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. 178 pp. [In Persian].
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A., 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 29, 185-212.
- Habibi, D., 2015. Effect of plant growth promoting rhizobacteria, foliar application of amino acids and silicic acid on yield and yield components of wheat under drought stress. *New Finding in Agriculture*. 9, 89-104. [In Persian with English Summary].
- Hadi, M.R., Ghanepasand, F., Darzi, M.T., 2015. Evaluation of Biofertilizer and Manure Effects on Quantitative Yield of *Nigella sativa* L. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*. 9, 890-894.
- Hamidi, A., Chokan, R., Asgharzadeh, A., Dehghan, M., Ghalavand, A., Malekoti M.J., 2009. Effect of application of plant growth promoting rhizobacteria on seedling emergence and establishment and grain yield of late maturity maize (*Zea mays* L.) hybrids in field conditions. *Seed and Plant Production Journal*. 25, 183-206. [In Persian with English Summary].
- Hasnain, S., Sabri, A.N., 1996. Growth stimulation of *Triticum aestivum* seedlings under Cr-stress by nonrhizospheric *Pseudomonas* strains. In: the Book of Abstracts of 7th International Symposium on Nitrogen Fixation with Non legumes. Faisalabad, Pakistan. pp. 36.
- Khan-Pour, M., Khavazi, K., Paknejad, F., Habibi, D., Majidi Fakh, F., 2010. Effect of Different Levels of Salinity and plant growth promoting rhizobacteria on Yield and Yield Components of Barley. *Journal of Crop Production Research*. 2, 215-231. [In Persian with English Summary].
- Khorramdel, S., Kuchaki, A.R., Nasiri Mahallati, M., Ghorbani, R., 2014. Effect of Application

- of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Yield and Yield Components of *Nigella Sativa* L. Iranian Journal of Field Crops Research. 8, 768-776. [In Persian with English Summary].
- Moslemi, Z., Habibi, D., Asgharzadeh, A., Ardakani, M.R., Mohammadi, A., Sakari, A., 2011. Effects of super absorbent polymer and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of maize under drought stress and normal conditions. Journal of Agricultural Research. 6, 4471-4476.
- Naderi, M.R., 2012. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on phytoremediation of lead by sunflower in a Pb-bearing soil for long term. M.Sc. thesis of Agroecology. Shahrekord University. Faculty of Agriculture. [In Persian with English Summary].
- Rezaei, M.R., Bakhsh-Kalarstagi, K., Momeni, A.R., 2014. Effect of rainfall and priming of seeds with biological fertilizers on yield and yield components of wheat. M.Sc. thesis of Seed Science and Technology. Islamic Azad University Mashhad. Faculty of Agriculture. [In Persian with English Summary].
- Rezapor, A.R., Heidari, M., Galavi, M., Ramrodi, M., 2011. Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grain yield, grain yield components and osmotic adjustment in *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 27, 384-396. [In Persian with English Summary].
- Shakeri, H., Aminidehaghi, M., Tabatabaei, A., Modaresmosavi, A.M., 2012. The effects of chemical and biological fertilizer on yield, yield components, oil and protein content of sesame varieties. Journal of Agricultural and Sustainable Production. 22, 83-71. [In Persian with English Summary].
- Shalan, M.N., 2005. Influence of biofertilizers and chicken manure on growth, yield and seeds quality of (*Nigella sativa* L.) plants. Egyptian Journal of Agricultural Research. 83, 811-828.
- Soltan Shahattary, F., Mansourifar, C., 2017. The effect of drought stress on morphological and physiological traits and essence percentage of medicinal plant, *Nigella sativa*. Bioscience Biotechnology Research Communications. 1, 298-305.
- Soltani, A., 2006. Revision of the application of statistical methods in agricultural research. Mashhad University Jihad Publications. pp. 74. [In Persian].
- Sturz, A.V., Christie, B.R., 2003. Beneficial microbial allelopathies in the root zone: the management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. Soil and Tillage Research. 72, 107-123.
- Tilak, K.V.B.R., Ranganayaki, N., Pal, K.K., De, R., Saxena, A.K., Shekhar-Nautiyal, C., Mittal, S., Tripathi, A.K., Johri, B.N., 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. Current Science. 89, 136-150.
- Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z.G., Cheung, K.C., Wong, M.H., 2005. Effects of bio-fertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma. 125, 155-166.
- Yasari, E., Patwardhan, A.M., Ghole, V.S., Ghasemi Chapi, O., Asgarzadeh, A., 2007. Biofertilizers impact on canola (*Brassica napus* L.) seed yield and quality. Asian Journal of Microbiology, Biotechnology & Environmental Sciences. 9, 701-707.
- Zahir, A.Z., Arshad, M., Khalid, A., 1998. Improving maize yield by inoculation with plant growth promoting rhizobacteria. Pakistan Journal of Soil Science. 15, 7-11.