دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی"
دوره پنجم، شماره اول، بهار و تابستان ۹۷
http://arpe.gonbad.ac.ir

کاربرد باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن (*Azotobacter chrococcum*) و باکتری حل‌کننده فسفات (*Pseudomonas putida*) در گیاه سویا تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

مجید قنبری[۱]، علی مختصی بیدگلی[۲*]، پرنیان طالبی سیه‌سران[۳]، حسن پیرانی[۴]، سهیل کرم‌نیا[۵]

[۱]دانشجوی دکترا، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
[۲]استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
[۴،۳]دانش‌آموخته‌گان کارشناسی‌ارشد، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
[۵]دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۳

چکیده

مقدمه: با توجه به نوسان شرایط محیطی، خشکی عمده‌ترین محدودیت در تولیدات محصولات زراعی بوده و حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد از عملکرد محصولات زراعی را کاهش می‌دهد. تنش خشکی از تأثیرگذارترین نوع تنش در تولید دانه‌های روغنی در جهان به‌شمار می‌آید و می‌تواند تولید را در بسیاری از زمین‌های زراعی به شدت کاهش دهد. میکروارگانیسم‌های خاک‌زی در تثبیت نیتروژن هوا و انحلال فسفات‌های نامحلول خاک، هم‌چنین سنتز هورمون‌های محرک رشد نظیر ایندول استیک اسید، جیبرلین‌ها، سیتوکینین‌ها و هم‌چنین سنتز ویتامین‌ها و اسیدهای آمین مؤثر بوده و موجب افزایش عملکرد می‌گردند. در پژوهش حاضر تأثیر کاربرد باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن *ازتوباکتر کروکوکوم* و باکتری حل‌کننده فسفات *سودوموناس پوتیدا* بر کاهش اثرات کمبود آب آبیاری در رقم زراعی سویا تحت شرایط مزرعه مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها: این تحقیق به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۹۵-۱۳۹۴ در دانشگاه تربیت مدرس به اجرا درآمد. در این آزمایش چهار تیمار آبیاری (شامل: ۱۵ (شاهد)، ۳۰ (تنش ملایم)، ۴۵ (تنش متوسط) و ۶۰ (تنش شدید) درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس از زمان گلدهی تا

*نویسنده مسئول: mokhtassi@modares.ac.ir

پایان دوره رشد) و چهار نوع تلقیح بذر سویا با باکتری (شامل: شاهد یا بدون مصرف باکتری، تلقیح با *ازتوباکتر کروکوکوم*، تلقیح با *سودوموناس پوتیدا* و تلقیح با هر دو باکتری) در نظر گرفته شدند. طول ردیف‌ها در هر کرت آزمایشی ۶ متر با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌ها و بین تکرارها به‌ترتیب یک و ۳/۵ متر در نظر گرفته شد. فاصله هر بوته از یکدیگر روی ردیف‌های کاشت ۸ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. زمان‌بندی آبیاری براساس درصد تخلیه رطوبت خاک در ظرفیت زراعی در منطقه ریشه و عمق مدیریت آبیاری برای سویا حدود ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

نتایج: نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های جانبی، کمترین ارتفاع نخستین غلاف از سطح زمین، بیشترین تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت در تیمار کاربرد توأم *ازتوباکتر کروکوکوم* و *سودوموناس پوتیدا* در سطوح مختلف کم‌آبیاری مشاهده گردید. از نظر رژیم آبیاری، بیشترین ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های جانبی، کمترین ارتفاع نخستین غلاف از سطح زمین، بیشترین تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک در تیمار شاهد مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد ازتوباکتر به تنهایی موجب افزایش ۲۵ درصد عملکرد دانه، کاربرد *سودوموناس پوتیدا* به تنهایی موجب افزایش ۳۰ درصد عملکرد دانه و کاربرد توأم هر دو باکتری موجب افزایش ۴۲ درصد عملکرد دانه شد که نشان‌دهنده توانایی کاربرد توأم *ازتوباکتر کروکوکوم* و *سودوموناس پوتیدا* در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط تنش بوده و در بروز مقاومت در گیاه سویا و جلوگیری از افت شدید عملکرد بسیار مؤثر است.

واژه‌های کلیدی: سویا، انحلال فسفر، تثبیت‌کننده نیتروژن، فسفر معدنی، کمبود آب

مقدمه

دانه‌های روغنی بعد از غلات دومین منبع مهم تأمین انرژی مورد نیاز جوامع انسانی بوده و سویا یکی از مهم‌ترین گیاهان این طبقه بوده که با توجه با محدودیت‌های شدید منابع آبی در بیشتر مناطق کشور، تولید این گیاه می‌تواند به دو برابر میزان تولید سایر گیاهان روغنی از قبیل بادام‌زمینی، آفتابگردان و کلزا برسد (Ogini *et al.*, 1999). تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین تنش تأثیرگذار بر گیاهان زراعی کشور معرفی شده و با توجه به نوسان شرایط محیطی، عدم دسترسی به آب، عمده‌ترین محدودیت در تولیدات محصولات زراعی بوده و منجر به کاهش ۴۰ تا ۴۵ درصد از عملکرد محصولات زراعی می‌گردد (Belhassen, 1996). تنش‌هایی که سرعت رشد گیاه را در مراحل رشدی R1 و R5 در سویا کاهش می‌دهند، منجر به کاهش بیشتر عملکرد دانه می شوند (Fredrick *et al.*, 2001). گزارش شده است که در شرایط کمبود رطوبت، شاخص سطح برگ و سرعت آسیمیلاسیون خالص سویا

کاهش پیدا کرده و وزن خشک اندام‌های هوایی را بیشتر از وزن خشک ریشه کاهش داد (Cox and Jolliff, 1987; Pannu *et al*., 1992).

کودهای بیولوژیک از جمله کودهای تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات با استفاده از ظرفیت‌های طبیعی موجودات مفید خاک‌زی تهیه شده و تولید آن‌ها علاوه‌بر صرفه اقتصادی، به لحاظ رعایت جنبه‌های زیست‌محیطی نیز بسیار با ارزش است. کاربرد این مواد ضمن وارد کردن جمعیت انبوهی از میکروارگانیسم‌های فعال در حوزه فعالیت مستقیم ریشه‌ای، توان گیاه را برای مقابله با آفات و بیماری‌ها، مقاومت به تنش‌های محیطی و جذب بیشتر عناصر غذایی افزایش می‌دهد (Malakooti, 2005).

ازتوباکتر دارای گونه‌های بسیاری بوده که *کروکوکوم* (*chrococcum*) یکی از گونه‌های مهم آن است و معمولاً در خاک‌های زراعی یافت می‌شود. این باکتری از لحاظ فیزیولوژیک، هوازی بوده و در دمای ۲۵ درجه سلیسیوس ماندگاری دارد. آن‌ها قادرند نیتروژن اتمسفری را پس از مصرف کربوهیدرات (مانند: دکستروز، مالتوز، لاکتات و ...) تولید کرده که محصول فرعی آن دی‌اکسید کربن است (Emtiazi, 2007). گزارش شده است که تلقیح بذور با ازتوباکتر کروکوکوم توانایی دفاعی گیاه چغندرقند به تنش اکسیداتیو را در برگ‌های آن بهبود بخشیده و این بهبود به‌دلیل تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت مثل سوپراکسید دسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز و محتوای کلروفیل و کارتنوئیدها است (Stajner *et al*., 1997). نتایج مطالعات نشان داده است که تلقیح بذور کلزا با باکتری ازتوباکتر به‌طور معنی‌داری طول گیاه، قطر ساقه، تعداد شاخه ها، وزن هزار دانه، میزان محصول و روغن را در مقایسه با گروه شاهد در کلزا افزایش داد (Asghar *et al*., 2002). پژوهشگران دریافتند که گیاه گندم و پنبه تلقیح‌شده با تثبیت‌کننده‌های آزاد نیتروژن، دارای رشد و عملکرد بالایی بوده و این امر عملکرد محصولاتی مانند غلات، چغندرقند، صیفی جات و کلم را تا ۱۰ درصد افزایش داد (Zahir *et al*., 1996; Kumar *et al*., 2001; Rubenchik, 1963; Rodelas *et al*., 1999). در پژوهشی در زمینه تأثیر ازتوباکتر روی دانه یا نشاءهای گندم، برنج، پیاز، کلم علوفه‌ای و خردل سفید در هندوستان گزارش شد که در همه موارد افزایش عملکرد مثبت بوده است، لیکن در مورد کلم، برنج و بادنجان این تأثیر معنی‌دار بود (Kennedy *et al*., 2004). در آزمایشی دیگر نیز گزارش شد تلقیح گیاه سویا با ریزوباکتری‌هایی مثل *برادی‌ریزوبیوم ژاپونیکوم* (*Bradyrhizobium japonicum*) باعث افزایش میانگین پروتئین دانه تا ۲۸ درصد نسبت به شاهد شد (Egamberdiyeva *et al*., 2004).

فسفر (P) معمولاً می‌تواند به‌دلیل فرم غیرقابل حل بودن آن محدودکننده رشد باشد. گیاهان می‌توانند فسفر را فقط در فرم‌های یونی قابل انحلال به صورت $H_2PO_4^-$ و HPO_4^{2-} جذب کنند. بسیاری از باکتری‌های توانایی محلول‌سازی فسفر غیرقابل دسترس را با ترشح اسیدهای ارگانیک و

فسفاتازها به‌صورت قابل حل دارند (Kim *et al*., 1998). پژوهشگران دریافتند که در میان پنج ایزوله جنس سودوموناس که رشد انگور را تحریک کردند، سه مورد از آن‌ها ACC دی‌آمیناز تولید کرده و حلال فسفر هم بودند و دو نمونه دیگر به غیر از اعمال فوق، تولید آکسین نیز انجام می‌دادند (Belimov *et al*., 2001). تحقیقات انجام شده در چین نشان داد استفاده از باکتری‌های محرک رشد میزان محصول را بیش از ۱۱/۵ درصد افزایش داد (Mei, 1989). هم‌چنین تلقیح بذور با آزوسپیریلوم با تولید ACC دی‌آمیناز، تولید اتیلن که نقش بازدارندگی در گیاه میزبان داشته کاهش یافت و طول ریشه، رشد گیاهی، طول کلئوپتیل، وزن خشک و تازه گیاهچه‌های گندم تلقیح شده به رغم وجود تنش خشکی، افزایش یافت (Grinchko and Glick, 2001; Alvarez *et al*.,1996).

با توجه به اینکه بیشتر اراضی کشور تحت تأثیر تنش خشکی هستند و سویا گیاهی حساس به تنش خشکی است، هم‌چنین به‌دلیل استفاده از کود زیستی به‌عنوان نوعی راهکار مقاومت به تنش خشکی و تأثیر آن بر رشد و نمو سویا از طریق افزایش میزان جذب فسفر در گیاه، در همین راستا برای بررسی تأثیر ازتوباکتر در ترکیب با باکتری حل‌کننده فسفات بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا، پژوهش حاضر در شرایط مزرعه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات رژیم‌های مختلف آبیاری و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات بر رشد و عملکرد گیاه سویا (*Glycine max* Merrill) رقم تلار، پژوهشی به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۹۵-۱۳۹۴ در دانشگاه تربیت مدرس به اجرا درآمد. در این آزمایش چهار تیمار آبیاری { ۱۵ (شاهد)، ۳۰ (تنش ملایم)، ۴۵ (تنش متوسط) و ۶۰ (تنش شدید) درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس از زمان گلدهی تا پایان دوره رشد} و چهار نوع تلقیح بذر سویا با باکتری (شامل شاهد یا بدون مصرف باکتری، تلقیح با *ازتوباکتر کروکوکوم* (*Azotobacter chrococcum*)، تلقیح با *سودوموناس پوتیدا* (*Pseudomonas putida*) و تلقیح با هر دو باکتری) در نظر گرفته شده‌اند. میکروارگانیزم‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن و فسفر در این آزمایش از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه گردیدند. بذر رقم تلار سویا بلافاصله قبل از کاشت با باکتری‌های مورد نظر بر حسب نوع تیمار تلقیح گردید (Somasegaran and Hoben, 1994).

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. مقادیر عناصر غذایی مورد نیاز براساس نتایج آزمون خاک مشخص و عناصر نیتروژن و پتاسیم به‌صورت قبل از کاشت به خاک افزوده شده و با خاک مخلوط شدند. طول هر کرت آزمایشی ۶ متر و عرض آن ۳ متر مشخص گردید که فاصله هر خط کاشت ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌ها و بین تکرارها

به‌ترتیب یک و ۳/۵ متر در نظر گرفته شد. فاصله بوته‌ها از یکدیگر روی ردیف‌های کاشت ۸ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از اجرای آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)

Table 1- Physical and chemical properties of soil of farm before testing (0-30 cm)

بافت خاک (Soil texture)	Sandy-Loam
ظرفیت زراعی (Field capacity)	19.87 (% by volume)
نقطه پژمردگی (Wilting point)	8.11 (% by volume)
گوگرد (Sulfur)	50.5 (mg/kg)
پتاسیم (Potassium)	345 (mg/kg)
فسفر (Phosphorus)	10 (mg/kg)
نیتروژن کل (Total nitrogen)	0.2 (%)
مواد آلی (Organic material)	1.8 (%)
اسیدیته (pH)	7.7
هدایت الکتریکی (Electrical conductivity)	1.10 (dS/m)

زمان‌بندی آبیاری براساس درصد تخلیه رطوبت خاک در ظرفیت زراعی در منطقه ریشه و عمق مدیریت آبیاری برای سویا حدود ۳۰ سانتی‌متر بود که با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه گردید. مقدار آب خاک ابتدا به روش وزنی و سپس با استفاده از TDR[۲] (مدل IMKO- Gmbh, D-76275, Germany) (Trime-FM) در عمق ذکر شده تعیین گردید. برای تعیین رابطه بین مقدار عددی ارائه شده توسط TDR و درصد حجمی رطوبت خاک اندازه‌گیری شده به روش وزنی از منحنی کالیبراسیون استفاده شد. برای استفاده از TDR، در مرکز هر واحد آزمایشی یک لوله دسترسی[۳] از جنس PVC تعبیه شد. هم‌چنین، برای تعیین مقدار آب آبیاری از لوله‌های مجهز به کنتور استفاده گردید. با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از رابطه ۱ درصد تخلیه آب قابل دسترس خاک در منطقه مؤثر ریشه و از رابطه ۲ مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری محاسبه شد:

$$\text{حداکثر تخلیه مجاز (MAD}^{۴}\text{)} = (FC - \theta) / (FC - PWP) \qquad \text{رابطه ۱}$$

در این فرمول FC، PWP و θ: به‌ترتیب رطوبت خاک در ظرفیت زراعی[۵]، نقطه پژمردگی دائم[۶] و درصد حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری می‌باشد.

[2] Time Domain Reflectometry (TDR)
[3] Access tube
[4] Maximum Allowable Depletion (MAD)

$$V_d = MAD \times ASW \times R_z \times 10$$ رابطه ۲

در این فرمول V_d: حجم آب آبیاری (میلی‌متر)، ASW: آب قابل دسترس خاک برابر با ۱۱۷/۶ میلی‌متر در هر متر عمق خاک و R_z: عمق مؤثر ریشه برابر با ۰/۳ متر می‌باشند. آب قابل دسترس خاک عبارت از مقدار آب موجود در ناحیه ریشه بین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم است. مقدار آب استفاده شده برای آبیاری همه تیمارها در مرحله رشد رویشی و زایشی پس از استقرار گیاه یکسان بود (Chung *et al*., 2002).

در پایان رسیدگی فیزیولوژیکی عملیات برداشت صورت گرفت و در رطوبت ۱۴ درصد عملکرد و اجزای عملکرد اندازه‌گیری شد. در زمان برداشت تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و به آزمایشگاه منتقل شدند و صفات از جمله ارتفاع بوته، ارتفاع نخستین غلاف، تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت اندازه‌گیری شدند. پس از یادداشت‌برداری، داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ (Soltani, 2015) تجزیه شد. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD انجام گردید. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ارتفاع بوته از نظر رژیم آبیاری و کود بیولوژیک در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲). مقایسه میانگین رژیم آبیاری نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار شاهد (۴۴/۷۲ سانتی‌متر) بود که ۳۷/۹۰ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت و کمترین آن در تیمار تنش شدید (۲۷/۷۷ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۳). هم‌چنین در مقایسه میانگین کود بیولوژیک، بیشترین مقدار ارتفاع بوته در تیمار تلقیح توأم *ازتوباکتر کروکوکوم* و *سودوموناس پوتیدا* (۴۸/۲۳ سانتی‌متر) بود که ۵۱/۹۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (۲۳/۱۷ سانتی‌متر) مشاهده گردید (جدول ۳).

پژوهش‌ها نشان داد که ارتفاع بوته سویا در شرایط کم آبیاری در مرحله گلدهی (R_2) و در مرحله غلاف‌دهی (R_4) نسبت به آبیاری کامل در طی فصل رشد گیاه، کاهش یافت (Foroud *et al*., 1993). نتایج تحقیقات پژوهش‌گران بیان‌گر این مطلب بود که کاهش آب قابل دسترس در طول فصل رشد، باعث کاهش ارتفاع گیاه، تعداد و طول میانگره و تعداد شاخه های جانبی سویا می‌شود (Ceccon *et*

[5] Field capacity (FC)
[6] Permanent wilting point (PWP)

al., 1994). ارتفاع بوته شاخصی از رشد رویشی محسوب می‌شود که با توجه به افزایش قابل ملاحظه این ویژگی بر اثر افزایش فراهمی میزان نیتروژن، فسفر و آب مشخص می‌گردد که رشد رویشی به شدت متأثر از کاربرد این کود بیولوژیک است (Kapulnic *et al*., 1985). پژوهشگران در بررسی اثرات تلقیح بذر سویا با باکتری *رایزوبیوم و پزودوموناس* مشاهده نمودند که ارتفاع گیاه در زمان برداشت و تعداد و وزن گره در بوته در تیمارهای تلقیح به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای عدم تلقیح افزایش یافت و مصرف توأم هر دو گونه باکتری *رایزوبیوم و پزودوموناس* در مقایسه با مصرف انفرادی هریک از دو گونه باکتری تأثیر بیشتری بر ارتفاع بوته سویا داشته است (Argaw, 2012).

ارتفاع نخستین غلاف از سطح زمین: مطابق جدول ۲، ارتفاع نخستین غلاف از سطح زمین از نظر رژیم آبیاری و کود بیولوژیک در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین رژیم آبیاری نشان داد که بیشترین ارتفاع نخستین غلاف مربوط به تیمار تنش شدید (۹/۵۵ سانتی‌متر) بود که ۴۳/۹۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت و کمترین آن در تیمار شاهد (۵/۳۵ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۳). هم‌چنین در مقایسه میانگین کود بیولوژیک، بیشترین مقدار ارتفاع نخستین غلاف از سطح زمین در تیمار شاهد (۸/۴۳ سانتی‌متر) و کمترین مقدار آن در تیمار تلقیح توأم *ازتوباکتر و سودوموناس پوتیدا* (۶/۵۲ سانتی‌متر) مشاهده گردید که ۲۹/۲۹ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (جدول ۳).

به‌طورکلی هر چقدر ارتفاع اولین غلاف پایین‌تر باشد پتانسیل عملکرد بالاتری را از بوته‌ها می‌توان انتظار داشت؛ زیرا غلاف‌ها در طول بیشتری از ساقه تشکیل می‌شوند. نتایج تحقیقات نشان داد که با افزایش مصرف کود بیولوژیک ارتفاع غلاف‌بندی سویا افزایش یافت که این امر باعث افزایش تعداد غلاف در بوته و در نهایت عملکرد دانه می‌شود (Yasari, 2013). پژوهش‌گران اظهار داشتند که ارتفاع تشکیل نخستین غلاف در بوته از طریق تعداد گل‌های تولید شده و مقدار ریزش گل‌ها در هر گره تنظیم می‌شود. از طرفی فراهمی آب، فسفر و نیتروژن به‌وسیلهٔ افزایش تولید گل و یا کاهش ریزش گل و غلاف‌های جوان بر ارتفاع تشکیل نخستین غلاف در بوته تأثیر می‌گذارد (Board *et al*., 1999). محققان در بررسی کود آلی و زیستی در تولید لوبیا بیان کردند که افزایش فعالیت ریزموجودات زنده خاک در شرایط آبیاری می‌تواند روی ارتفاع تشکیل نخستین غلاف در بوته اثر معنی‌داری داشته باشد (Tavassoli *et al*., 2009). نتایج بررسی اثر تنش خشکی روی مؤلفه‌های رشد نشان داد که تنش خشکی از طریق کندی رشد در گره‌ها،کاهش توسعه و دوام سطح برگ و کاهش منابع ذخیره و تولید مواد فتوسنتزی، باعث افزایش ارتفاع تشکیل نخستین غلاف در بوته شد (Shareif and Keshta, 2006).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر *ازتوباکتر کروکوکوم* و *سودوموناس پوتیدا* بر برخی از صفات سویا تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

Table 2- Analysis of variance (mean square) of effect of *Azotobacter* and *Pseudomonas putida* on some of traits in soybean under different irrigation regimes

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	ارتفاع بوته Plant height	ارتفاع نخستین غلاف First pod height	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branch	تعداد غلاف در بوته Number of pod/plant	تعداد دانه در غلاف Number of seed/pod
بلوک Block	2	1.56^{ns}	1.36^{ns}	0.03^{ns}	330.46^{ns}	0.15^{ns}
رژیم آبیاری Irrigation regime (I)	3	644.29^{**}	43.11^{**}	1.19^{**}	3697.22^{**}	0.25^{*}
کود بیولوژیک Bio-Fertilizer (B)	3	1403.29^{**}	8.25^{**}	0.50^{*}	538.02^{*}	0.19^{ns}
آبیاری × کود I × B	9	6.34^{ns}	0.19^{ns}	0.02^{ns}	13.56^{ns}	0.01^{ns}
خطا Error	30	8.45	1.02	0.15	142.54	0.07
ضریب تغییرات CV (%)	-	8.10	13.62	10.15	14.32	12.31

ns، * و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات رژیم آبیاری و کود بیولوژیکی بر صفات مورد ارزیابی گیاه سویا

Table 3- Mean comparison of effects of irrigation regime and bio-fertilizer on measured traits of soybean plant

تیمارها Tretments	ارتفاع بوته Plant height (cm)	ارتفاع نخستین غلاف First pod height (cm)	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branch	تعداد غلاف در بوته Number of pod/plant
Irrigation Regime				
۱۵ درصد تخلیه از ظرفیت زراعی Control	44.72^{a}	5.35^{d}	4.28^{a}	108.88^{a}
۳۰ درصد تخلیه از ظرفیت زراعی Mild stress	38.41^{b}	6.40^{c}	4.07^{ab}	78.82^{b}
۴۵ درصد تخلیه از ظرفیت زراعی Moderate stress	32.62^{c}	8.36^{b}	3.81^{bc}	76.82^{b}
۶۰ درصد تخلیه از ظرفیت زراعی Sever stress	27.77^{d}	9.55^{a}	3.55^{c}	68.88^{b}
کود بیولوژیک Bio-Fertilizer				
Control	23.17^{d}	8.43^{a}	3.64^{b}	75.02^{b}
Azotobacter	31.78^{c}	7.68^{ab}	3.94^{ab}	81.43^{ab}
Pseudomonas putida	40.34^{b}	7.02^{bc}	4.03^{a}	86.36^{a}
Azotobacter + Pseudomonas putida	48.23^{a}	6.52^{c}	4.11^{a}	90.59^{a}

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column fallowed by similar letters are not significantly different at the % 5 probability level (LSD Test).

تعداد شاخه جانبی: با توجه به نتایج تجزیه واریانس، تعداد شاخه جانبی از نظر رژیم آبیاری در سطح احتمال آماری یک درصد و از نظر کود بیولوژیک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد شاخه جانبی از نظر رژیم آبیاری در تیمار شاهد (۴/۲۸) و کمترین مقدار آن در تیمار تنش شدید (۳/۵۵) دیده شد (جدول ۳). از نظر کود بیولوژیک، بیشترین تعداد شاخه جانبی در تیمار کاربرد توأم *سودوموناس پوتیدا* و *ازتوباکتر* (۴/۱۱) مشاهده شد و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (۳/۶۴) وجود داشت (جدول ۳).

در آزمایش بررسی دو رقم سویا در معرض تنش آبی (عدم انجام آبیاری تا زمان تخلیه ۳۵، ۵۵ و ۷۵ درصد آب قابل دسترس) مشخص شد که تنش آبی باعث کاهش ارتفاع گیاه، تعداد برگ‌ها و شاخه‌ها، سطح کل برگ، وزن خشک شاخه و عملکرد بذر شد (El-Kheir *et al*., 1994). تنش خشکی جذب و حلالیت عناصر غذایی را در خاک نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد و گزارش شده که تنش رطوبتی باعث کاهش عناصر پر مصرف در خاک می‌گردد (Viets, 1972). هم‌چنین مشخص شده است که تحت شرایط تنش آبی، جذب نیتروژن در گیاهان سویا و برنج کاهش می‌یابد (Tanguilic *et al*., 1987). با این حال، افزایش قابلیت دسترسی گیاه به نیتروژن، فسفر و سایر عناصر غذایی تحت تأثیر سیستم‌های تغذیه آلی نیز توسط گیاه باعث افزایش رشد و در نتیجه افزایش فتوسنتز شده و از عوامل افزایش عملکرد، تعداد ساقه جانبی و سایر صفات مورفولوژیک می‌باشد (Malakooti and Sepehr, 2004).

نتایج مطالعات نشان دادند که تلقیح بذور کلزا با باکتری *ازتوباکترو میکوریزا* به‌طور معنی‌داری طول گیاه، قطر ساقه و تعداد شاخه‌های جانبی را در مقایسه با گروه شاهد افزایش داد (Asghar *et al*., 2002). هم‌چنین در پژوهش دیگری مشخص شد که تلقیح ریشه‌های کلزا، گندم، گوجه‌فرنگی و آفتابگردان با *سودوموناس پوتیدا*، رشد و توسعهٔ گیاهی را به‌صورت معنی‌داری افزایش داد و منجر به افزایش تعداد شاخه‌های جانبی گردید (Okon and Kapulnik,1986). استفاده از کودهای بیولوژیک، از جمله *ازتوباکتر* و *سودوموناس پوتیدا* به‌علت افزایش عناصر غذایی قابل دسترس، اصلاح خواص فیزیکی خاک، جذب عناصر غذایی تولید شاخ و برگ را افزایش می‌دهد. زیرا با افزایش میزان نیتروژن و فسفر قابل دسترس گیاه تحت تأثیر این تیمارها، رشد و نمو و فتوسنتز گیاه افزایش یافته و تعداد شاخه‌های جانبی و سایه‌انداز گیاه افزایش می‌یابد (Christodoulakis and Margaris, 1996).

تعداد غلاف در بوته: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تعداد غلاف در بوته از نظر رژیم آبیاری در سطح احتمال آماری یک درصد و از نظر کود بیولوژیک در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد غلاف در بوته از نظر رژیم آبیاری در تیمار شاهد (۱۰۸/۸۸) مشاهده گردید و کمترین مقدار آن در تیمار تنش شدید (۶۸/۸۸) دیده شد که ۵۸/۰۷ درصد نسبت

به شاهد کاهش یافت (جدول ۳). هم‌چنین، از نظر کود بیولوژیک، بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمار کاربرد توأم *سودوموناس پوتیدا* و *ازتوباکتر* (۹۰/۵۹) مشاهده شد و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (۷۵/۰۲) وجود داشت (جدول ۳).

ریزش غلاف از واکنش‌های مشخص سویا به تنش رطوبتی در طی دورهٔ زایشی است (Shaw and Laing,1966). کدهم و همکاران (Kadhem *et al*., 1985) گزارش نمودند با تأخیر در یک‌بار آبیاری گیاهان سویا از مرحل رشدی R_1 تا R_4، تعداد غلاف در بوته به‌طور خطی کاهش می‌یابد. هم‌چنین هر گونه کاهش در فراهمی نیتروژن و فسفر در طی دورهٔ رشد گیاه، موجب کاهش شاخص سطح برگ و دوام برگ‌ها شده، فعالیت فتوسنتزی کانوپی را کاهش داده که نتیجهٔ این شرایط، کاهش در تولید غلاف است (Pedersen and Lauer, 2004). صدیق و جولیف (Seddigh and Jollif, 1998) بیان کردند که گیاهان سورگوم تلقیح شده با *آزوسپریلوم* کمتر تحت تأثیر تنش رطوبتی قرار گرفتند. این گیاهان آب بیشتری را در اندام هوایی خود نگه داشتند هم‌چنین دارای پتانسیل آب برگ بالاتر و دمای کانوپی پایین‌تری در مقایسه با گیاهان بدون تلقیح بودند. به‌علاوه استاجنر و همکاران (Stajner *et al*., 1997) گزارش کردند که گیاهان تیمار شده با *ازتوباکتر کروکوکوم* دارای فعالیت بیشتر آنزیم‌های آنتی اکسیدانی بوده و بنابراین کمتر از شرایط تنش رطوبتی خسارت می‌بینند.

تعداد دانه در غلاف: نتایج جدول ۲ نشان داد که تعداد دانه در غلاف از نظر رژیم آبیاری در سطح احتمال آماری پنج درصد معنی‌دار است. بیشترین تعداد دانه در غلاف از نظر رژیم آبیاری در تیمار شاهد (۲/۳۹) مشاهده گردید و کمترین مقدار آن در تیمار تنش شدید (۲/۰۶) بود که ۱۶/۰۱ درصد کاهش نسبت به شاهد دیده شد (جدول ۵).

محققین گزارش نمودند که کم آبیاری و یا تنش رطوبتی در دورهٔ زایشی سویا، تعداد دانه در غلاف را کاهش می‌دهد (Neyshabori and Hatfield, 1986). به نظر می‌رسد که کاهش رطوبت قابل دسترس در مرحله دانه‌بندی، تعداد دانه در غلاف به‌دلیل افزایش سقط تخمک در درون غلاف کاهش یافته است. این نتایج با یافته‌های سایر محققین مطابقت دارد (Korte *et al*., 1983; Shaw and laing, 1966). محققان در آزمایش‌های خود در آفتابگردان دریافتند که تعداد دانه پر در طبق در شرایط تنش گلدهی نسبت به دانه‌بندی کاهش بیشتری داشت که این مسئله به خاطر کاهش اسیمیلات‌های تولیدی در شرایط تنش در مرحله گلدهی به خاطر تولید سطح برگ کمتر در این شرایط است. هم‌چنین تیمارهای کودی به‌دلیل تأمین بهتر و کامل‌تر عناصر غذایی تعداد دانه پر بیشتری را تولید کرده است، زیرا در شرایط کاربرد توأم *سودوموناس پوتیدا* و *ازتوباکتر* گیاه چه از نظر تأمین نیتروژن و چه از نظر فسفر در شرایط متعادلی قرار دارد و گیاه هنگام تغذیه با این کودهای زیستی رشد بهتری را نشان می‌دهد (Demir *et al*., 2006).

وزن صد دانه: وزن صد دانه از نظر رژیم آبیاری، کود بیولوژیک و برهمکنش رژیم آبیاری × کود بیولوژیک غیرمعنی‌دار بود (جدول ۴). هر چند که تأثیر کود بیولوژیک بر وزن صد دانه معنی‌دار نبوده است، لیکن استفاده از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات موجب استفاده بهتر از شرایط محیطی، جذب بیشتر نیتروژن، فسفر و سایر عناصر غذایی از خاک توسط گیاه، افزایش فعالیت‌های متابولیکی و ماده‌سازی از دلایل افزایش وزن صد دانه در این دو سیستم تغذیه‌ای می‌باشد. بعضی از پژوهشگران افزایش کارایی مصرف نور با جذب عناصر غذایی بیشتر از خاک را عامل افزایش برخی از اجزای عملکرد از قبیل وزن هزار دانه و وزن طبق ذکر کرده‌اند (Hall *et al*., 1995).

پژوهشگران دریافتند که تیمار تنش شدید باعث کاهش در تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف شد، با این حال شرایط برای انتقال مجدد بیشتر فراهم گردیده و گیاه با افزایش وزن دانه هر چند به‌صورت غیرمعنی‌دار، تعداد دانه و غلاف کمتر را تا حدودی جبران نموده است. این مکانیسم جبرانی در اجزاء عملکرد سویا در نتایج دیگر تحقیقات نیز مشاهده شده است (Rostamzadeh-Kaleibar *et al*., 2011). تنش کمبود آب در مرحله رشد رویشی نسبت به کمبود آن در مرحله زایشی خسارت کمتری روی وزن صد دانه و عملکرد دانه دارد. با وجود این، وزن صد دانه و عملکرد دانه فرآیندهائی هستند که نسبت به کمبود آب حساس‌تر هستند (Hsiano, 1973) و در شرایط کمبود رطوبت این فرآیندها کاهش می‌یابند. تنش کمبود آب از طریق کاهش تقسیم سلولی و رشد باعث کاهش وزن صد دانه شده، لیکن این صفت به‌طور مستقیم به عوامل زراعی، اقلیمی و ژنتیکی بستگی داشته و عدم معنی‌داری آن توجیه می‌گردد (Nesmith and Ritchie 1992).

عملکرد دانه: عملکرد دانه از نظر رژیم آبیاری و کود بیولوژیک در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار است (جدول ۴). جدول ۵ نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد دانه از نظر رژیم آبیاری مربوط به تیمار شاهد (۲۱۶/۵۹ گرم بر مترمربع) بود و کمترین مقدار آن به تیمار تنش شدید (۱۴۷/۷۸ گرم بر مترمربع) تعلق داشت که ۳۱/۷۷ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. بیشترین مقدار عملکرد دانه از نظر کود بیولوژیک به تیمار کاربرد *توأم سودوموناس پوتیدا* و *ازتوباکتر* (۲۳۱/۷۷ گرم بر مترمربع) تعلق داشت و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (۱۳۳/۸۴ گرم بر مترمربع) مشاهده گردید (جدول ۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر *ازتوباکتر کروکوکوم* و *سودوموناس پوتیدا* بر برخی از صفات سویا تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

Table 4- Analysis of variance (MS) of effect of *Azotobacter* and *Pseudomonas putida* on some of traits in soybean under different irrigation regimes

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	وزن صد دانه Weight of 100 seed	عملکرد دانه Seed yield	عملکر ماده خشک Dry matter yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	2	5.14^{ns}	1711.29^{ns}	2413.28^{ns}	200.49^{ns}
رژیم آبیاری Irrigation regime (I)	3	3.04^{ns}	10624.6**	6454.66**	20.66^{ns}
کود بیولوژیک Bio-Fertilizer (B)	3	5.71^{ns}	21812.0**	3526.02*	810.81**
آبیاری × کود I × B	9	0.26^{ns}	88.15^{ns}	129.54^{ns}	28.79^{ns}
خطا Error	30	4.65	631.35	998.27	142.28
ضریب تغییرات CV (%)	-	10.93	13.64	21.31	19.01

ns، * و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات رژیم آبیاری و کود بیولوژیکی بر صفات مورد ارزیابی گیاه سویا

Table 5- Mean comparison of effects of irrigation regime and bio-fertilizer on measured traits of soybean plant

تیمارها	تعداد دانه در غلاف Number of seed/ pod	عملکرد دانه Seed yield (g/m^{-2})	عملکر ماده خشک Dry matter yield (g/m^{-2})	شاخص برداشت Harvest Index
رژیم آبیاری Irrigation Regime				
۱۵ درصد تخلیه از ظرفیت زراعی Control	2.39^{a}	216.59^{a}	174.98^{a}	-
۳۰ درصد تخلیه از ظرفیت زراعی Mild stress	2.34^{a}	197.73^{a}	156.91^{ab}	-
۴۵ درصد تخلیه از ظرفیت زراعی Moderate stress	2.22^{ab}	174.33^{b}	140.55^{bc}	-
۶۰ درصد تخلیه از ظرفیت زراعی Sever stress	2.06^{b}	147.78^{c}	120.59^{c}	-
کود بیولوژیک Bio-Fertilizer				
Control	-	133.84^{d}	125.47^{b}	55.00^{b}
Azotobacter	-	167.37^{c}	149.87^{ab}	56.32^{b}
Pseudomonas putida	-	203.45^{b}	150.62^{ab}	68.89^{a}
Azotobacter+Pseudomonas putida	-	231.77^{a}	167.07^{a}	70.73^{a}

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column fallowed by similar letters are not significantly different at the % 5 probability level (LSD Test).

کاهش عملکرد سویا در اثر کم آبیاری در تحقیقات متعددی گزارش شده است (Foroud *et al*., 1993; Cox and Jolliff, 1986; Neyshabori and Hatfield, 1986). نتیجه‌گیری شده کاهش در تعداد غلاف در واحد سطح در اثر شرایط کم آبیاری مهم‌ترین دلیل برای کاهش عملکرد دانه سویا است (Varela, 1998; Senthong *et al*., 1986). پژوهشگران گزارش کردند که تیمارهای آبیاری ناقص (۳۰ تا ۵۰ درصد آب کمتر در مقایسه با آبیاری کامل) به‌طور متوسط ۵۰ درصد عملکرد کمتری در مقایسه با آبیاری کامل دارا هستند (Jolliff and Cox, 1986). محققان گزارش نمودند تنش حاصل از ۶۰ تا ۱۰۰ درصد تخلیه رطوبتی در مرحله زایشی، تعداد غلاف در ساقه اصلی و در نهایت عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. بنابر نظر این محققین، کاهش در تولید کربوهیدرات‌ها برای نمو دانه در اثر کم آبیاری و هم‌چنین توسعه ضعیف سیستم آوند در نزدیکی بالای گل‌آذین، از جمله مهم‌ترین دلایل فیزیولوژیک برای کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی است (Noureldin *et al*., 1987).

در مورد تأثیر تیمارهای اعمال باکتری بر عملکرد دانه باید اظهار شود علاوه‌بر اینکه استفاده از باکتری در شرایط عدم تنش رطوبتی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی موجب افزایش عملکرد دانه می‌گردد (Biswas *et al*.,2000; Dobbelaere *et al*.,1999) در شرایط تنش نیز گزارش شده استفاده از باکتری‌های *آزوسپریلوم* و *ازتوباکتر* از طریق افزایش تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف (Razi and Sen, 1996; Stajner *et al*., 1997) مقاومت گیاه به شرایط کم آبیاری افزایش می‌یابد و عملکرد دانه کمتر در شرایط تنش رطوبتی کاهش می‌یابد.

عملکرد ماده خشک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد ماده خشک از نظر رژیم آبیاری در سطح احتمال آماری یک درصد و از نظر کود بیولوژیک در سطح احتمال آماری پنج درصد معنی‌دار است (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها از نظر رژیم آبیاری نشان داد که بیشترین عملکرد ماده خشک در تیمار شاهد (۱۷۴/۹۸ گرم بر مترمربع) مشاهده شد و کمترین میزان آن در تیمار تنش شدید (۱۲۰/۵۹ گرم بر متر مربع) دیده شد که ۴۵/۱۰ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۵). از نظر کود بیولوژیک بیشترین عملکرد ماده خشک در تیمار کاربرد توأم *سودوموناس پوتیدا* و *ازتوباکتر* (۱۶۷/۰۷ گرم بر مترمربع) و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (۱۲۵/۴۷ گرم بر مترمربع) مشاهده گردید (جدول ۵).

کاهش ماده خشک گیاه سویا در پاسخ به کمبود فراهمی آب در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است (Wang *et al*., 1995; Inamullah, 2005). شواهد زیادی وجود دارد که کاهش فراهمی آب سبب کاهش جذب عناصر غذائی (Blum, 1996)، افت شاخص سطح برگ و توان فتوسنتزی گیاه می‌شود (Ribas-Carbo *et al*., 2005) که نتیجه آن کاهش عملکرد ماده خشک گیاهی می‌باشد.

پژوهشگران اظهار داشتند کاهش عملکرد ماده خشک سویا در شرایط کمبود آب، احتمالاً مرتبط با آبسزیک اسید تولید شده در سلول‌های گیاهی می‌باشد که فعالیت این هورمون سبب کاهش تقسیم سلولی و سنتز DNA می‌شود (Lobato *et al*., 2008). آن‌ها اظهار داشتند اسید آبسیزیک تولید شده در اثر شرایط کم آبی، سبب القای بیان ژنی می‌شود که از فعالیت پروتئین وابسته به سیکلین ((Cyclin- dependent activity (ICK1) جلوگیری می‌کند. این پروتئین (ICK1) در فرآیندهای تقسیم سلولی مؤثر است و بنابراین جلوگیری از فعالیت آن، مانع از رشد و توسعه گیاه و در نهایت باعث کاهش عملکرد ماده خشک گیاه می‌گردد (Jakoby *et al*., 2006).

گزارش‌های متعددی وجود دارد که ریزوباکتری‌های تحریک کننده رشد[7] رشد گیاه را از طریق افزایش جذب عناصر معدنی مانند نیتروژن، فسفر، پتاس و ریز مغذی‌ها افزایش می‌دهد (Dobbelaere *et al*., 1999). هرچند در مورد مکانیسم افزایش جذب عناصر غذائی در حضور PGPR ها اختلاف نظر وجود دارد. عده ای از محققین بر این عقیده‌اند که افزایش جذب عناصر غذائی در حضور این میکروارگانیسم‌ها ناشی از گسترش سیستم ریشه‌ای می‌باشد و گیاه از طریق ریشه گسترده‌تر، عناصر غذائی بیشتری را جذب می‌کند (Biswas *et al*., 2000) در مقابل، سایر محققین اظهار داشتند که PGPR ها از جمله گونه‌های *سودوموناس پوتیدا* و *ازتوباکتر* از طریق افزایش شکل محلول قابل جذب عناصر غذائی در محیط ریشه و تثبیت عناصر موجود در هوا، باعث افزایش سرعت و مقدار جذب عناصر غذائی توسط گیاه شده و در نتیجه عملکرد ماده خشک گیاهی افزایش می‌یابد (Kapulnik *et al*., 1985).

شاخص برداشت: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که صفت شاخص برداشت از نظر کود بیولوژیک در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار است (جدول ۴). مقایسه میانگین شاخص برداشت از نظر کود بیولوژیک بیانگر این مطلب بود که بیشترین میزان شاخص برداشت در تیمار کاربرد توأم *سودوموناس پوتیدا* و *ازتوباکتر* (۷۰/۷۳) وجود داشته که ۲۲/۲۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داشته و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد (۵۵/۰۰) مشاهده گردید (جدول ۵).

اگر چه صفت شاخص برداشت از نظر رژیم‌های آبیاری معنی‌دار نشده است لیکن، شاخص برداشت دارای یک میزان حداکثر است که در برخی گیاهان زراعی اصلاح شده به حداکثر خود نزدیک شده است. بنابراین شاخص برداشت صفتی ژنتیکی و تقریباً ثابت است (Hay and Porter, 2006). هرچند برخی پژوهش‌ها کاهش شاخص برداشت را در اثر کمبود آب در مرحله زایشی سویا گزارش کرده‌اند (Taylor *et al*., 1991). علت غیرمعنی‌داری شاخص برداشت در سطوح تنش خشکی را می‌توان به افزایش بارندگی از یک سو و از سوی دیگر، کاهش دما و در نتیجه کاهش تبخیر و تعرق و بهبود

[7] PGPR

شرایط رشد گیاه مرتبط دانست و هم‌چنین فرآهمی بیشتر نیتروژن و فسفر در اثر مصرف باکتری موجب افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه شده و توانسته شاخص برداشت را افزایش دهد (Daneshian *et al*., 1999). دانشیان و همکاران (Daneshian *et al*., 1999) نیز افزایش شاخص برداشت سویا را در واکنش به کاربرد باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن از جمله *ازتوباکتر* گزارش کرده است. پژوهشگران دلیل این افزایش شاخص برداشت در سیستم تغذیه باکتریایی در شرایط تنش خشکی را ناشی از مطابقت بیشتر به عناصر غذایی قابل دسترس با نیازهای گیاه در سیستم تلفیقی می‌دانند (Malakooti *et al*., 2004). از دلایل افزایش شاخص برداشت در این سیستم را می‌توان به حفظ و نگهداری عناصر غذایی خاک و جلوگیری از آبشویی نیتروژن و فسفر موجود در آن، افزایش فعالیت‌های بیولوژیک و بهبود ساختمان خاک توسط این باکتری‌ها اشاره کرد (Fages and Arsac, 1991).

نتیجه‌گیری

. نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های جانبی، کمترین ارتفاع نخستین غلاف از سطح زمین، بیشترین تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت در تیمار کاربرد توأم *ازتوباکتر* و *سودوموناس پوتیدا* در سطوح مختلف کم‌آبیاری مشاهده گردید. بهترین تیمار کودی کاربرد توأم *سودوموناس پوتیدا* و *ازتوباکتر* بوده که در تنش ملایم و تنش متوسط بهترین نتایج را به همراه دارد. با توجه به نتایج توصیه می‌گردد که استفاده توأم از باکتری‌های دی‌ازتروف و باکتری‌های حل‌کننده فسفات با توجه توانایی‌های خاص این باکتری‌ها در جهت افزایش قابلیت دسترسی مواد غذایی برای گیاه و افزایش تولید فیتوهورمون‌های گیاهی در مواقع تنش کم آبی، موجب مقابله گیاه میزبان با شدت‌های متغیر تنش کم‌آبی شده و از افت شدید عملکرد جلوگیری می‌نمایند

منابع

Alvarez M.I., Sueldo R.J., Barassi C.A. 1996. Effect of *Azospirillum* on coleoptiles growth in wheat seedlings under water stress. Cereal Research Community, 24: 101-107.

Argaw A. 2012. Evaluation of co-inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* and Phosphate solubilizing *Pseudomonas* spp. effect on soybean (*Glycine max* L. Merr.) in Assossa Area. Journal of Agricultural Science and Technology, 14 (1): 213-224.

Asghar H.N., Zahir Z.A., Arshad M., Khaliq A. 2002. Relationship between invitro production of auxins by rhizobacteria and their growth-promoting activities in (*Brassica Juncea* L.). Biology and Fertility of Soil, 35: 231-237.

Belhassen E.1996. Drought in higher plants: Genetical, physiological and molecular biology analysis. Ensa-Inra Agap, Montpellier, France, 152 p.

Belimov A.A., Safronova V.I., Sergeyeva T.A., Egorova T.N., Matveyeva V.A., Tsyganov V.E., Borisov A.Y., Tikhonovich I.A., Kluge C., Preisfeld A. 2001. Characterization of plant growth-promoting rhizobacteria isolated from polluted soils and containing 1-aminocyclopropane 1-carboxylate deaminase. Canadian Journal of Microbiology, 47: 642-652.

Biswas P.K. 2008. Agricultural Microbiology. Dominant Publishers and Distributors. Orient Offset, Delhi-110053, Pp: 188-317.

Blum A.1996. Crop response to drought and the interpretation of adaptation. Plant Growth Regulation, 20: 135-148.

Board J.E., Kang M.S., Harville B. G.1999. Path analyses of yield formation process for late-planted soybean, Agronomy Journal, 91: 128-135.

Ceccon p., Dall-Costa L., Giovanardi R., Rogger C.1994.The interaction of sowing date and water availability in determining plant architecture, fruiting pattern and yield components of soybean. Journal of Agronomy and Crop Science, 173: 172-183.

Christodoulakis N.S., Margaris N.S. 1996. Growth of corn (*Zea mays*) and sunflower (*Helianthus annuus*) plant is affected by water and sludge treatment plant. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 57: 300-306.

Chung Y.C., Son D.H., Ahn D.H. 2002. Application of natural zeolite for high-strength ammonium-bearing wastewater treatment. Pp. 63-64. In: Misaelides, p. (ed.) 6th International conference on the occurrence, properties and utilization of natural zeolites. Greece.

Cox W.J., Jolliff G.D.1986. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits. Agronomy Journal, 78: 226-230.

Daneshian J., Majidi A., Hashemi Dezfouli A., Noor Mohammadi G. 1999. The effect of drought on quantitative and qualitative characteristics of two soybean cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences, 1 (3): 35-46. (In Persian).

Demir A.O., Goksoy A.T., Buyukcangaz H., Turan Z.M., Koksal E.S .2006. Deficit irrigation of sunflower (*Helianthus annus* L.) in a sub-humid climate. Irrigation Science, 24 (4): 279-289.

Dobbelaere S., Croonenborghs A., Thys A., Vande Broek A., Vanderleyden J. 1999. Phytostimulatory effect of *Azospirillum brasilense* wild type and mutant strains altered in IAA production on wheat. Plant Soil, 212: 155-164.

Egamberdiyeva D., Qarshieva D., Davranov K. 2004. Growth and yield of soybean varieties inoculated with *Bradyrhizobium* spp in N-deficient calcareous soils. Biology and Fertility of Soils, 40: 144-146.

El-Kheir M.S.A., Kandil S.A., Mekki B.B. 1994. Physiological response of two sunflower cultivars grown under water stress conditions as affected by CCC treatments. Egyptian Journal of Physiology Science, 18 (1): 179-200.

Emtiazi G. 2007. Soil microbiology. Mani Press, Pp: 79-107. (In Persian).

Fages J., Arsac J.F. 1991. Sunflower inoculation with *Azospirillum* and other plant growth promoting rhizobacteria. Plant and Soil, 137: 87-90.

Foroud N., Mundel H.H., Saindon G., Entz T. 1993. Effect of level and timing of moisture stress on soybean plant development and yield components. Irrigation Science, 13: 149-155.

Fredrick J.R., Camp C., Bauer R. 2001. Crop Ecology, Production & Management: Drought-stress effects on branch and main stem seed yield and yield components of determinate soybean. Crop Science, 41: 759-763.

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.

Hall A.J., Connor D. J., Sadras V.D. 1995. Radiation use efficiency of sunflower crops: Effects of specific leaf nitrogen and ontogeny. Field Crops Research, 41: 56-77.

Hay R., Porter J. 2006. The physiology of crop yield. Blackwell Publishing, 314 p.

Hsiano T.C. 1973. Plant responses to water stress. Annual Review Plant Physiology, 24: 519-570.

Inamullah P., Isoda A. 2005. Adaptive responses of soybean and cotton to water stress. Plant Production. Science, 8: 16-26.

Jakoby M.J., Weinl C., Pusch S., Kuijt S.J.H., Merkle T., Dissmeyer N., Schnittger A. 2006. Analysis of the subcellular localization, function and proteolytic control of the Arabidopsis cyclin-dependent kinase inhibitor ick1/krp1. Plant Physiology, 141(4): 1293-1305.

Kadhem F., Specht A., Williams J.E. 1985. Soybean irrigation serially timed during stages R1 to R6.yield component responses. Agronomy Journal, 77: 299-304.

Kapulnik Y., Gafny R., Okon Y. 1985. Efeect of *Azospirillum* spp. inoculation on root development and no3- uptake in wheat in hydroponic system. Candian Journal of Botany, 63: 627-631.

Kennedy I.R., Choudhury A.T.M., Kecske´s M.L. 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: Can their potential for plant growth promotion be better exploited. Soil Biology and Biochemistry, 36: 1229-1244.

Kim K.Y., Jordan D., McDonald G.A. 1998. Effect of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular-arbusculatr mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. Biology and Fertility of Soils, 26: 79-87.

Korte L.L., Specht J.E., Williams J.H. Sorensen R.C. 1983. Irrigation of soybean genotypes during reproductive ontogeny. Yield Component responses. Crop Science, 23: 528-533.

Kumar V., Kumar B.V., Narula N. 2001. Establishment of phosphate_solubilizing strains of azotobacter chrococcum in the rhizosphere and their effects on wheat cultivars under greenhouse conditions. Microboilogical Research, 156 (2): 87-97.

Lobato A.K.S., Costa R.C.L., Oliveira Neto C.F., Santos filho B.G., Cruz F.J.R., Freitas L.M.N., Cordeiro F.C. 2008. Morphological changes in soybean under progressive water stress. International Journal of Botany, 4 (2): 231-235.

Malakooti M.J. 2005. Sustainable agriculture and increasing yield by optimizing fertilizer use in Iran. Sana Press. (In Persian).

Malakooti M.J., Seoehr A. 2004. Optimum Nutrition of Oilseeds, an Effective Steps to Achieve Oil Self-Sufficiency in the Country. Khaniran Press, 464 p. (In Persian).

Mei R. 1989. Yield increasing bacteria. Agricultural Press, Beijing, China, 128 p.

Nesmith D.S., Ritchie J.T. 1992. Short- and long- term responses of corn to a preanthesis soil water deficit. Agronomy Journal, 84: 107-113.

Neyshabori M. R., Hatfield J.L. 1986. Soil water deficit effects on semi-determinate and indeterminate soybean growth and yield. Field Crops Research, 15: 73-84.

Noureldin, N.A., El-Gabbal M.S., Madiha M.B.1987. Soybean plants as affected by soil moisture stress.1. Effect of soil moisture stress on growth of Clark and Called varieties. Annals of Agriculturel Science, Ain Shams University, 32: 1161-1172.

Ogini Y.O., Stonehouse O.P., Clard E.A. 1999. Comparison and conventional dairy farms in Ontario. A. M. J. Alternative Agriculture, 14: 122-128.

Okon Y., Kapulnik Y. 1986. Development and function of *Azospirillum* inoculated roots. Plant Soil, 90: 3-16.

Pannu R.K., Singh D.P., Singh P., Sangwan V.P., Chaudhary B.D. 1992. Effect of moisture stress on growth, partitioning of biomass and harvest index of oilseed brassicas. Crop Research, 5: 31-43.

Pedersen P., Lauer J.G. 2004. Soybean: Response of Soybean Yield Components to Management System and Planting Date. American Society of Agronomy Journal, 96: 1372-1381.

Razi S.S., Sen S.P. 1996. Amelioration of water stress effects on wetland rice by urea-N, plant growth regulators, and foliar spray of a diazotrophic bacterium *Klebsiella* sp. Biology Fertility Soils, 23: 454-458.

Ribas-Carbo M., Taylor N.L., Giles L., Busquets S., Finnegan P.M., Day D.A., Lambers H., Medrano H., Berry J.A., Flexas J. 2005. Effects of water stress on respiration in soybean leaves. Plant Physiology 139: 466-473.

Rodelas B., Gonzalez-Lopez J., Pozo C., salmeron V., Martinez-toledo M.V. 1999. Response of faba been (*Vicia faba* L.) to combined inoculation with *Azotobacter* and *Rhizobium legominosarom* bv. Viceae. Applied Soil Ecology, 12: 51-59.

Rostamzadeh-Kaleibar M., Farboodi M., Hosseinzadeh-Moghbeli A., Razmi, N. 2011. The effect of irrigation regimes on yield and yield components of second cultivars of soybean cultivars in Moghan region. Ecophysiology of Crops and Weeds, 20: 15-28. (In Persian).

Rubenchik L.I. 1963. *Azotobacter* and its use in agriculture. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 278 p.

Seddigh M., Jollif G.D. 1986. Remobilization patterns of C and N in soybeans with different sink-source ratios induced by various night temperatures. Plant Physiology, 81: 136-141.

Senthong C., Tedia K., Barlaan E., Pandey R. K. 1986. Drought response of soybean genotype during reproductive growth phase under irrigation gradient [Philippines]. Los Banos, Laguna, 34 p.

Sharief A.E., Keshta M.M. 2006. Influence of sowing date and plant density on growth and yield of canola (*Brassica napus, L*) under salt affected soils in Egypts. Scientific Journal of King Faisal University (Basic and Applied Sciences), 3 (1): 65-78.

Shaw R.H., Laing D.R. 1966. Moisture stress and plant response. In: Pierre,W.H. (Ed.), Plant Environment and Efficient Water Use. ASA and SSSA, Madison, W.I., Pp: 73-94.

Soltani A. 2015. Application of SAS software in statistical analyzes (for agricultural fields). Jahad Daneshgahi Mashhad, 182 p. (In Persian).

Somasegaran P., Hoben H.J. 1994. Handbook for rhizobia: methods in legumerhizobium technology. New York: Springer-Verlag. U.S.A., 450 p.

Stajner D., Kevreaan S., Gaˇsai´c O., Mimica-Dudi´c N., Zongli H. 1997. Nitrogen and *Azotobacter chroococcum* enhance oxidative stress tolerance in sugar beet. Biology Plant, 39: 441-445.

Tanguilic V.C., Yambao E.B., Otoole J.C., De Datta S.K. 1987. Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration and nutrient uptake of rice, maize and soybean. Plant Soil, 103: 155-168.

Tavassoli A.A., Ghanbari M., Ahmadi M., Heydari M. 2009. The effect of manure on forage and grain yield of millet (*Panicum miliaceum*) and beans (*Phaseolus vulgaris*) in intercropping. Iranian Journal of Crop Sciences, 8 (2): 1-11. (In Persian).

Taylor A.j., Smith C.j., Wilson I.B. 1991.Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on yield, oil content, nitrogen accumulation and water use of canola. Fertilizer Research, 29: 249-260.

Varela B.D. 1998. Deficit irrigation during the reproductive stages of soybean. College, Laguna (phillippines), 97 p.

Viets F.G. 1972. Water deficits and nutrient availability. In: Water deficits and plant growth. Ed. Kozlowsk T.T. Academic Press, New York, vol. III, Pp. 217-239

Wang P., Isoda A., Wei G. 1995. Growth and adaptation of soybean cultivars under water stress conditions. Yield response and dry matter production. Japanese Journal Crop Science, 64 (4): 777-783.

Yasari E. 2013. Effect of phosphate solubilizing bacteria as biological fertilizers and mineral phosphorus on soybean (*Glycine max* Merrill) growth and yield of Talar cultivar in northern Iran. Journal of Applied Ecophysiology of Plants, 1 (1): 1-18. (In Persian).

Zahire Z.A., Arshad M., Husssain A., Sarfaraz M. 1996. Improving wheat yield by inoculation with azotobacter under optimum fertilizer application. Pakistan Journal of Agriculture Science, 11: 129-131.