

اثر تنش خشکی و باکتری‌های ریزوسفری ارتقادهنده رشد گیاه بر خصوصیات آگرومورفولوژیک بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.)

نیلوفر نیکبخت^۱، عبدالرزاق دانش شهرکی^{۲*}، مهرآنا کوهی دهکردی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، پژوهشکده زیست‌فناوری، دانشگاه شهرکرد

۲. گروه مهندسی زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳. دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: درصد اسانس کشاورزی پایدار کودهای زیستی گیاهان دارویی مدیریت آبیاری	به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی و تلقیح گیاه با باکتری‌های ریزوسفری، بر خصوصیات آگرومورفولوژیک بادرنجبویه آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۸ انجام شد. تنش کمبود آب در سه سطح (آبیاری کامل، ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل) و تلقیح با باکتری‌های محرک رشد در ۵ سطح (شاهد (عدم تلقیح باکتریایی)، تلقیح با باکتری‌های <i>Azospirillum</i> به‌عنوان فاکتورهای اصلی و فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج تحقیق نشان داد اثر باکتری و تنش خشکی بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های اصلی، تعداد شاخه‌های فرعی، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، سطح برگ، درصد اسانس، عملکرد بیولوژیک و عملکرد اسانس معنی‌دار بود. افزایش شدت تنش منجر به کاهش در تمام صفات مورد بررسی شد در حالی که تلقیح گیاهان با باکتری‌ها نقش مهمی در افزایش این صفات نسبت به شاهد نشان داد و کمترین مقدار در تیمارهای بدون تلقیح مشاهده شد. با توجه به نتایج این آزمایش به‌منظور بهبود خصوصیات آگرومورفولوژیک و عملکرد کمی و کیفی بادرنجبویه در شرایط آبیاری کامل و روش‌های کم‌آبیاری، تلقیح گیاه با باکتری‌های <i>B. amyloliquefaciens</i> و <i>S. rimosus</i> توصیه می‌شود.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۴	
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۷	
تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۱ ۴۰۵-۳۹۳ (۲): ۱۵	

مقدمه

موجب بازدارندگی رشد و کاهش محصول به سبب ایجاد تغییرات مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی متعددی در گیاه شوند (Emam and Zavare, 2005). گیاهان می‌توانند از طریق تغییر در ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی به کمبود آب پاسخ دهند. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد (PGPR^۱)، می‌توانند نقش مهمی در این تغییرات داشته باشد

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و عملکرد محصولات کشاورزی در سراسر جهان و به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Wang et al., 2014). گیاهان در طول دوره رشد خود با تنش‌های محیطی بسیاری مواجه می‌شوند و با توجه به شدت حساسیت و مرحله رشدی که در آن قرار دارند، هر یک از این تنش‌ها می‌تواند تأثیرات مختلفی بر رشد، نمو و عملکرد آن‌ها داشته باشد و در نتیجه

^۱ Plant Growth Promoting Rhizobacteria

معمول از ۴۰ سانتی‌متر تجاوز نمی‌کند (Yazdani et al., 2004). اسانس این گیاه به‌منظور عطر و طعم‌دهی، در صنایع مختلفی مانند آشامیدنی، آرایشی و محصولات غذایی کاربردهای متنوعی دارد. از خواص درمانی این گیاه می‌توان به مواردی از جمله آرام‌بخش اعصاب، ضد بیماری‌های قلبی، روده، معده و نشاط‌آوری اشاره نمود (Capecka and Mareczek, 2005). امروزه با توجه به استقبال مردم از گیاهان دارویی و افزایش اهمیت توسعه کشت این نوع از گیاهان و همچنین وجود مشکلاتی همچون تنش‌های محیطی که در مسیر پیشرفت کشت گیاهان دارویی قرار دارد و با توجه به گزارش‌هایی مبنی بر اثرات مفید میکروارگانیسم‌های خاک‌زی از جمله باکتری‌های ارتقادهنده رشد بر افزایش ماده خشک و عملکرد گیاهان، این پژوهش با هدف بررسی اثر تلقیح گیاه بادرنجبویه با باکتری‌های ریزوسفری ارتقادهنده رشد بر خصوصیات آگروموفولوژیک گیاه تحت تنش خشکی طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور مطالعه اثر تنش خشکی و باکتری‌های ریزوسفری ارتقادهنده رشد گیاه بر خصوصیات آگروموفولوژیک بادرنجبویه، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۸ انجام شد. فاکتور اصلی شامل سطوح مختلف تنش کمبود آب در سه سطح (آبیاری کامل، ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل) و فاکتور فرعی تلقیح با باکتری‌های محرک رشد در ۵ سطح شامل شاهد (عدم تلقیح باکتریایی) و تلقیح با چهار گونه باکتریایی (*Azospirillum Bacillus*, *Bacillus* sp. strain A *lipoferum* *amyloliquefaciens* و *Streptomyces rimosus*) در نظر گرفته شدند. مایه تلقیح باکتریایی برای تیمارهای تلقیحی با استفاده از محیط کشت^۲ TSB و روش کدورت سنجی با تنظیم جذب ۰/۵ در طول موج ۶۰۰ نانومتر تهیه شد (Rajabi Khamseh and Danesh Shahraki, 2020). به‌منظور اعمال تیمارهای باکتریایی در آزمایشگاه نشاهای بادرنجبویه به مدت ۲ ساعت در سرم فیزیولوژیک (برای تیمار شاهد) و سوسپانسیون باکتریایی (برای تیمارهای تلقیحی)

و به بقای گیاهان کمک نمایند. به‌کارگیری میکروارگانیسم‌های مفید و ارتقادهنده رشد به‌عنوان کودهای زیستی با هدف کاهش آسیب‌های ناشی از تنش‌های محیطی به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های نوین در کشاورزی پایدار در نقاط خشک و نیمه-خشک جهان، محسوب می‌شود (Ebhin Masto et al., 2006). باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد (PGPR) باکتری‌هایی هستند که قابلیت زیادی جهت بهبود رشد گیاه میزبان به‌وسیله سازوکارهای مختلفی مانند تثبیت نیتروژن اتمسفری، استفاده از آمینوسیکلوپروپان ۱-کربوکسیلیک اسید به‌عنوان منبع نیتروژن، تولید سیدروفورها و یا ترشح هورمون‌ها دارند. بدین ترتیب به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر رشد گیاه اثر می‌گذارند. برخی از باکتری‌های ریزوسفری نیز می‌توانند از طریق تحریک مسیرهای متابولیکی خاص مثل نیتروژن، فسفر، گوگرد، منیزیم، کلسیم و دیگر مواد مغذی، رشد گیاه را افزایش دهند (Farshi et al., 2003). تلقیح با باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد می‌تواند رشد شاخساره را در سطح تقریباً نرمال حفظ کند و در نتیجه باعث بهبود در سلامت گیاه و تولید محصول می‌شود. همچنین ارتباط مستقیمی بین افزایش محتوای نسبی آب در گیاه و تیمار با PGPR مشاهده شده است. کازاناووس و همکاران (Casanovas et al., 2002) ارتباط مثبتی بین میزان تولید ABA باکتریایی و میزان^۱ RWC در گیاهان ذرت گزارش کردند که در نتیجه آن، بسته شدن روزنه‌ها هنگام تلقیح با *Azospirillum brasilense* BR11005spp26 الفاء می‌شود. تنظیم اسمزی سلولی با افزایش محتوای اسموتیک سلولی یکی دیگر از سازگاری‌های کلیدی گیاهان در طی مواجهه با تنش خشکی است. تیمارهای PGPR منجر به افزایش اسمولیت‌های سلولی گیاهی شده و به گیاهان کمک می‌کنند تا در مقابل تنش مقاومت کنند (Saravankumar et al., 2011). از این‌رو، تلقیح ایزوله‌های باکتریایی که قادر به کاهش تنش خشکی هستند، از اهمیت بالایی در کشاورزی پایدار برخوردار است و پیشرفت قابل‌توجهی در این زمینه در سراسر جهان حاصل شده است. بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L. به‌عنوان یک گیاه دارویی معطر متعلق به تیره نعناع و دارای موارد مصرفی متنوعی است (Ribeiro et al., 2001). این گیاه علفی و چندساله با گل‌های سفیدرنگ و برگ‌های پهن و تخم‌مرغی شکل است و ارتفاع آن در شرایط

² Tryptic Soy Broth

¹ Relative Water Content

قرار داده شدند. سپس نشاهای تلقیح شده و شاهد به مزرعه انتقال داده و کشت شدند.

عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین در نیمه اول بهار به هنگام گاو رو شدن زمین صورت گرفت و کرت‌هایی به اندازه ۴/۵ مترمربع ایجاد و در هر کرت ۳۰ عدد نشا کشت گردید. جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کشت، از خاک مزرعه نمونه‌برداری به عمل آمده و در نهایت میزان عناصر غذایی موردنیاز با توجه به آزمون خاک و نیاز غذایی بادرنجبویه (۵۰ تا ۷۰ کیلوگرم در هکتار کود ازت، ۵۰ تا ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات، ۸۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس) تأمین شد (Yazdani et al., 2004). برای تعیین نیاز آبیاری گیاه، ابتدا با نمونه‌برداری از خاک مزرعه، رطوبت نقاط FC^1 و PWP^2 با استفاده از دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد. سپس با در نظر گرفتن حد تخلیه مجاز ۵۰٪، حد پایین رطوبت سهل‌الوصول مشخص گردید. برای تعیین عمق آبیاری و اعمال تنش‌های رطوبتی، رطوبت خاک در تیمارهای شاهد با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج SM-150T ساخت شرکت دلتاتی به صورت روزانه اندازه‌گیری شد. زمانی که رطوبت خاک به حد پایینی رطوبت سهل‌الوصول رسید، عمق آب آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک (Farshi et al., 2003) محاسبه و اعمال شد. میزان آب موردنیاز برای تیمارهای تحت تنش نیز با توجه به میزان آب تیمار شاهد اعمال شد. بدین ترتیب که تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل به ترتیب ۷۵ و ۵۰ درصد میزان آب مصرفی تیمار شاهد، آب دریافت کردند. اندازه‌گیری سطح برگ توسط نرم‌افزار Digimizer صورت گرفت.

در پایان دوره رشد پس از برداشت، ابتدا ارتفاع گیاه اندازه‌گیری و سپس تعداد شاخه‌های اصلی و فرعی شمارش شدند. به منظور تعیین وزن خشک اندام‌های هوایی و وزن خشک کل از ترازوی دیجیتالی استفاده شد. استخراج اسانس به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر و به صورت وزنی از ۱۵۰ گرم ماده خشک آسیاب شده، انجام شد. به منظور محاسبه درصد و عملکرد اسانس از روابط (۱) و (۲) استفاده شد (Kiani et al., 2014).

وزن خشک ماده اولیه (گرم) / وزن اسانس (گرم) = درصد اسانس [۱]

[۲] درصد اسانس × عملکرد بیولوژیک = عملکرد اسانس

در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای ترسیم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اعمال تنش خشکی و تلقیح باکتری بر تمامی صفات موردبررسی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل تیمارهای موردبررسی نیز بر تعداد شاخه‌های اصلی، تعداد شاخه‌های فرعی، وزن خشک ساقه، درصد اسانس، عملکرد بیولوژیک و عملکرد اسانس در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود.

ارتفاع بوته

با توجه به مقایسه میانگین تیمارهای تنش خشکی، حداکثر و حداقل ارتفاع بوته به ترتیب مربوط به آبیاری کامل گیاه (۴۷/۳۸ سانتی‌متر) و ۵۰ درصد نیاز آبیاری کامل (۲۸/۷۲ سانتی‌متر) بود (جدول ۱). افزایش تنش کمبود آب می‌تواند از طریق افزایش رقابت جهت جذب آب بین بخش هوایی و زمینی در بوته، مواد فتوسنتزی بیشتری را به ریشه اختصاص دهد، بنابراین مواد فتوسنتزی اندکی به بخش هوایی می‌رسد که این امر باعث کاهش ارتفاع بوته در گیاه می‌شود (Silva et al., 2013). بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام‌شده، کمبود آب در ابتدا با کاهش تورژانس نمود پیدا می‌کند که این امر کاهش رشد و توسعه سلول‌ها را به خصوص در ساقه و برگ گیاهان به دنبال خواهد داشت. با کاهش رشد سلول، اندازه اندام‌های گیاهی محدود می‌شود و در نتیجه اولین اثر محسوس کم‌آبی در گیاهان را می‌توان بر اساس اندازه‌ی کوچک برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد. ارتفاع بوته در تیمارهای تلقیح باکتریایی نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش نشان داد (جدول ۱).

از میان تیمارهای تلقیحی مورد استفاده، بیشترین ارتفاع بوته به ترتیب در تیمارهای تلقیحی *Bacillus* و *Azospirillum lipoferum amyloliquefaciens* و *Streptomyces rimosus* با میانگین ۴۰/۳۴، ۴۰/۰۱ و

² Permanent Wilting Point

¹ Field capacity

جدول ۱. مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش خشکی و تلقیح باکتریایی بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های اصلی و تعداد شاخه‌های فرعی، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، سطح برگ، درصد اسانس، عملکرد بیولوژیک و عملکرد اسانس.

Table 1. Means comparison for effects of drought and bacterial inoculation on plant height, number of main and sub-branches, leaf dry weight, stem dry weight, leaf area, essential oil, biological yield and essential oil yield

Treatment	تیمار	ارتفاع بوته Plant height cm	تعداد شاخه اصلی Number of main branches	تعداد شاخه فرعی Number of sub- branches	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight
					g/m ²	
Drought stress تنش خشکی						
Full Irrigation	آبیاری کامل	47.38 ^a	12.40 ^a	101.75 ^a	326.18 ^a	178 ^a
75% Full Irrigation	۷۵ درصد آبیاری کامل	38.01 ^b	8.93 ^b	47.58 ^b	230.09 ^b	114.84 ^b
50% Full Irrigation	۵۰ درصد آبیاری کامل	28.72 ^c	5.94 ^c	26.02 ^c	138.92 ^c	60.38 ^c
LSD (5%)		2.52	0.93	11.41	59.95	32.71
Bacterial inoculation تلقیح باکتریایی						
Control	شاهد	33.32 ^c	7.42 ^d	38.77 ^c	177.21 ^c	85.17 ^c
<i>Bacillus amyoliquefaciens</i>		40.34 ^a	10.31 ^a	67.88 ^a	255.63 ^a	134.68 ^a
<i>Bacillus sp. Strain A</i>		37.92 ^b	8.51 ^c	57.93 ^b	219.26 ^b	106.97 ^b
<i>Streptomyces rimosus</i>		38.58 ^{ab}	9.28 ^b	62.45 ^{ab}	242.51 ^a	124.59 ^a
<i>Azospirillum lipoferum</i>		40.01 ^{ab}	9.93 ^{ab}	65.22 ^a	264.03 ^a	137.26 ^a
LSD (5%)		2.12	.75	6.45	21.68	13.36

Table 1. Continued

جدول ۱. ادامه

Treatment	تیمار	سطح برگ Leaf area cm ²	عملکرد بیولوژیک Biological yield g/m ²	درصد اسانس (%) Essential oil percent %	عملکرد اسانس Essential oil yield g/m ²
Drought stress تنش خشکی					
Full Irrigation	آبیاری کامل	13116.9 ^a	504.18 ^a	0.25 ^b	131.69 ^a
75% Full Irrigation	۷۵ درصد آبیاری کامل	7473.7 ^b	344.93 ^b	0.28 ^a	99.99 ^b
50% Full Irrigation	۵۰ درصد آبیاری کامل	4273.2 ^c	199.30 ^c	0.21 ^c	42.91 ^c
LSD (5%)		1660.3	91.81	0.027	21.84
Bacterial Inoculation تلقیح باکتریایی					
Control	شاهد	5665.8 ^c	262.39 ^d	0.21 ^c	54.64 ^c
<i>Bacillus amyoliquefaciens</i>		10136.5 ^a	390.31 ^{ab}	0.28 ^a	111.58 ^a
<i>Bacillus sp. Strain A</i>		7923.7 ^b	326.23 ^c	0.24 ^b	81.24 ^b
<i>Streptomyces rimosus</i>		7472.7 ^b	367.10 ^b	0.24 ^b	91.63 ^b
<i>Azospirillum lipoferum</i>		10240.9 ^a	401.31 ^a	0.28 ^a	118.58 ^a
LSD (5%)		1485.9	33.25	0.023	12.72

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند بر اساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. In each column, means followed with at least one similar letter(s) don't have significant differences at the 5% probability level based on LSD test

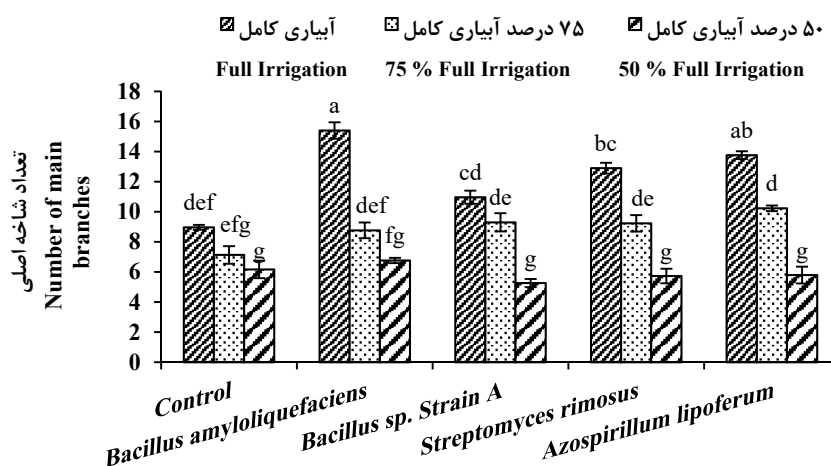
۳۸/۵۸ سانتی‌متر مشاهده شد. بر اساس نتایج تحقیقات دسترسی به عناصر غذایی را تسهیل نموده و از طریق افزایش طول میانگره‌ها منجر به افزایش ارتفاع گیاه شود. انجام‌شده، استفاده از باکتری‌های محرک رشد می‌تواند

باکتریایی *Bacillus amyloliquefaciens* با میانگین ۱۰/۳۱ مشاهده شد که با تیمار *Azospirillum lipoferum* با میانگین ۹/۹۳ اختلاف معنی‌داری نشان نداد درحالی‌که کمترین میزان شاخه اصلی در تیمار شاهد با میانگین ۷/۴۲ مشاهده شد (جدول ۱). افزایش معنی‌داری در تعداد شاخه فرعی در گیاهان تلقیح شده با باکتری‌های *Bacillus amyloliquefaciens* و *Azospirillum lipoferum* با میانگین ۶۷/۸۸، ۶۵/۲۲ و ۶۲/۴۵ مشاهده شد و کمترین تعداد شاخه فرعی در گیاهان شاهد با میانگین ۳۳/۳۲ حاصل شد. مقایسه میانگین‌های اثرهای متقابل نشان داد که استفاده از تیمارهای باکتریایی بر تعداد شاخه‌های اصلی و فرعی تحت تأثیر سطح‌های مختلف تنش خشکی قرار گرفت (شکل ۱ و ۲). کاهش تورژانس سلولی ناشی از کمبود رطوبت قابل‌استفاده برای گیاه، می‌تواند منجر به کاهش رشد و توسعه سلول‌ها و در نتیجه کاهش صفات مورفولوژیکی از جمله ارتفاع بوته، تعداد شاخه اصلی و تعداد شاخه فرعی شود (Kafi et al., 2010). باکتری‌های ارتقاءدهنده رشد می‌توانند با بهبود جذب و انتقال فسفر، پتاسیم، نیتروژن، منیزیم، آهن، روی و منگنز و با توجه به نقش این عناصر در رشد و توسعه گیاه، شاخص‌هایی از قبیل تعداد برگ، تعداد شاخه‌های فرعی و طول آن‌ها را در گیاه افزایش دهد. نتایج تحقیق کندیل و همکاران (Kandeel et al., 2002) در گیاه ریحان نیز نشان داد استفاده از باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم موجب افزایش ارتفاع، تعداد شاخه فرعی و وزن خشک برگ شده است.

باکتری‌های ارتقاءدهنده رشد از راه‌های مختلف، همچون تثبیت نیتروژن، ساخت سیدروفورهای کمپلکس‌کننده آهن، مواد محرک رشد، تولید آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیبات قارچ‌کش به رشد گیاهان کمک کرده و موجب افزایش ارتفاع بوته می‌گردند (Sharma and Johri, 2003). در تحقیق چمانی و همکاران (Chamani et al., 2010)، باکتری آزوسپریلیوم از طریق افزایش جذب رطوبت و عناصر غذایی که نتیجه‌ی گسترش بیشتر ریشه‌ها در اثر تولید مواد محرک رشد و همچنین انجام فرآیند تثبیت بیولوژیک نیتروژن است، منجر به افزایش ارتفاع گیاه شد. نتایج مطالعه‌های خسروی و همکاران (Khosravi et al., 2018) بر روی گیاه بادرشبو نیز حاکی از آن بود که ارتفاع بوته در تیمارهای تلقیحی باکتریایی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشته است، بیشترین ارتفاع بوته در تیمار تلقیحی *Mycobacterium sp*؛ و *Pseudomonas putida* گزارش شده است.

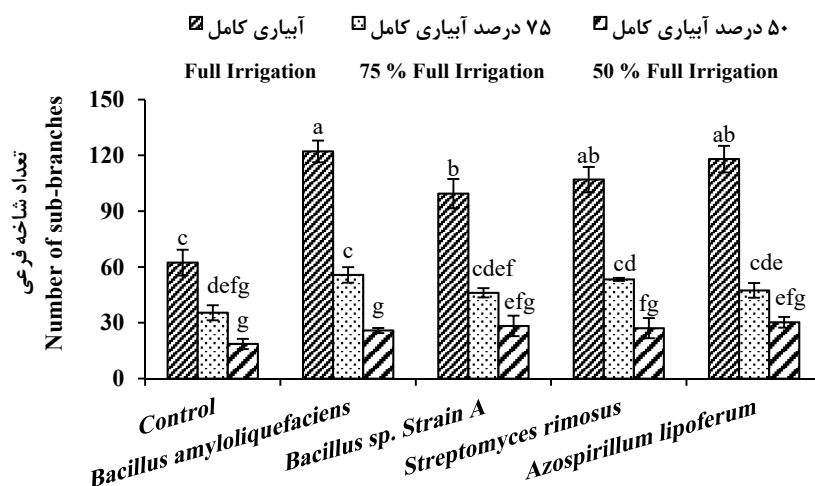
تعداد شاخه‌های اصلی و فرعی

نتایج نشان داد با افزایش تنش خشکی، تعداد شاخه‌های اصلی و فرعی نیز کاهش یافت، به طوری که کمترین تعداد شاخه‌های اصلی و فرعی به ترتیب با میانگین ۵/۹۴ و ۲۶/۰۲ متعلق به تیمار ۵۰ درصد آبیاری کامل گیاه و بیشترین تعداد شاخه‌های اصلی و فرعی به ترتیب با میانگین ۱۲/۴۰ و ۱۰/۷۵ متعلق به تیمار آبیاری کامل گیاه بود (جدول ۱). در بین تیمارهای باکتریایی، بیشترین تعداد شاخه اصلی در تیمار تلقیح



شکل ۱. اثر متقابل تنش خشکی و تلقیح باکتریایی بر تعداد شاخه اصلی. خطوط عمودی روی هر ستون نشان‌دهنده انحراف معیار است.

Fig. 1. Interaction effect of drought stress and bacterial inoculation on number of main branches. The vertical lines on each column are the standard deviation.



شکل ۲. اثر متقابل تنش خشکی و تلقیح باکتریایی بر تعداد شاخه‌های فرعی. خطوط عمودی روی هر ستون انحراف معیار است.

Fig. 2. Interaction effect of drought stress and bacterial inoculation on number of sub-branches. The vertical lines on each column are the standard deviation.

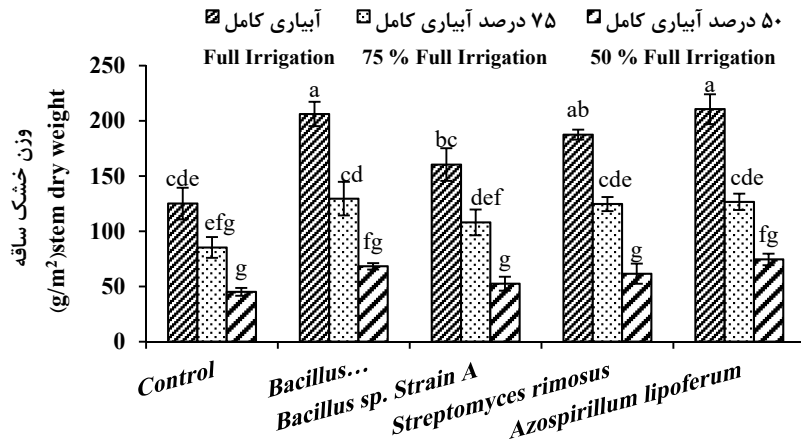
تنش خشکی، وزن خشک ساقه کاهش یافت به طوری که در تیمار ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل، وزن خشک ساقه به ترتیب ۳۵/۴ و ۶۶/۰۷ درصد نسبت به تیمار آبیاری کامل کاهش یافت (جدول ۱). بررسی‌ها نشان می‌دهد تنش خشکی با کاهش سطح فتوسنتز کننده، بستن روزنه‌ها به دلیل تولید اسید آسبیزیک در ریشه، کاهش فتوسنتز و به واسطه آن کاهش سنتز و انتقال مواد فتوسنتزی، در نهایت سبب کاهش رشد رویشی گیاه می‌گردد (Shool et al., 2014). با توجه به جدول ۱، تیمارهای تلقیحی باکتریایی، وزن خشک ساقه را نسبت به شاهد افزایش دادند. از میان باکتری‌های تلقیح داده شده، بیشترین وزن خشک برگ در تلقیح باکتریایی *Bacillus amyloliquefaciens* و *Azospirillum lipoferum* مشاهده شد، به طوری که وزن خشک برگ را به ترتیب ۶۱/۱، ۵۸/۱ و ۴۶/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. بررسی‌های دهقانی‌تفتی و همکاران (Dehghanitafti et al., 2018) بر گیاه اسفرزه نیز نشان داد که کاربرد تیمارهای باکتریایی منجر به افزایش وزن خشک ساقه شد. نتایج اثرات متقابل تنش خشکی و باکتری، حاکی از آن است که تیمارهای باکتریایی در سطوح مختلف آبیاری، تأثیرات متفاوتی بر وزن خشک ساقه دارند (شکل ۳). در شرایط عدم استفاده از تیمار باکتریایی، بیشترین میزان وزن خشک ساقه در تیمار آبیاری کامل دیده شد که به ترتیب تیمار ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری

وزن خشک برگ و ساقه

بیشترین وزن خشک برگ در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد و متناسب با افزایش شدت تنش خشکی از وزن خشک برگ به طور معنی‌داری کاسته شد (جدول ۱). کمترین وزن خشک برگ در تیمار ۵۰ درصد آبیاری کامل با ۵۷/۴ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری کامل به دست آمد. تیمارهای تلقیحی *Bacillus amyloliquefaciens* و *Azospirillum lipoferum* بیشترین وزن خشک برگ را داشتند و با یکدیگر تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند و تیمار شاهد کمترین میزان وزن خشک برگ را به خود اختصاص داد (جدول ۱). تلقیح بذر ذرت با باکتری‌های محرک رشد، گسترش دوره تولید برگ در گیاه را به دنبال داشته و تعداد برگ و وزن برگ در بوته افزایش یافته است. علت این موضوع، تأثیر باکتری‌ها در تأمین مواد غذایی برای گیاه و افزایش تولید اکسین، سیتوکینین و جیبرلین بیان شده که این مواد محرک رشد منجر به بالا رفتن میزان تقسیمات سلولی و رشد سلول‌ها و همچنین تداوم رشد برگ و افزایش وزن برگ می‌گردند (Hamidi et al., 2009). تلقیح باکتریایی گیاه بادرشبو با استفاده از *Mycobacterium sp.* نیز منجر به افزایش وزن خشک ساقه نسبت به تیمار شاهد و سایر تیمارهای تلقیح باکتریایی شد (Torfi et al., 2016). نتایج مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر وزن خشک ساقه نشان داد که با افزایش شدت

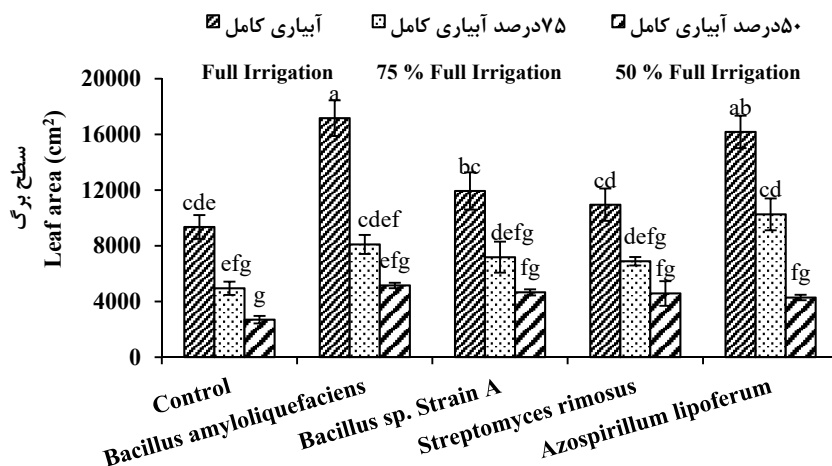
amyloliquefaciens با شدت بیشتری صورت گرفت که به ترتیب ۶۸/۳ و ۶۴/۸ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد باکتریایی در شرایط آبیاری کامل داشتند. تیمار باکتریایی *Bacillus amyloliquefaciens* در تنش ۷۵ درصد آبیاری کامل، بیشترین مقدار وزن خشک ساقه را به خود اختصاص داد (شکل ۳).

کامل ۳۱/۷ و ۶۳/۹ درصد کاهش نسبت به شاهد آبیاری نشان دادند. روند کاهش وزن خشک ساقه در تیمارهای تنش خشکی، در سایر تیمارهای باکتریایی نیز دیده شد اما نکته قابل ملاحظه این است که باکتری‌ها با تعدیل اثر تنش خشکی قادر به افزایش وزن خشک ساقه نسبت به شاهد باکتریایی شدند. روند افزایش وزن خشک ساقه در تیمارهای باکتریایی *Bacillus* و *Azospirillum lipoferum*



شکل ۳. اثر متقابل تنش خشکی و تلقیح باکتریایی بر وزن خشک ساقه. خطوط عمودی روی هر ستون انحراف معیار است.

Fig. 3. Interaction effect of drought stress and bacterial inoculation on stem dry weight. The vertical lines on each column are the standard deviation



شکل ۴. اثر متقابل تنش خشکی و تلقیح باکتریایی بر سطح برگ. خطوط عمودی روی هر ستون انحراف معیار است.

Fig. 4. Interaction effect of drought stress and bacterial inoculation on leaf area. The vertical lines on each column are the standard deviation

باشد (Delshadi et al., 2017). در بررسی‌های فرجی مهمانی و همکاران (Faraji Mehmani et al., 2014) کاربرد تلفیقی باکتری‌های محرک رشد گیاه منجر به افزایش

افزایش وزن خشک گیاه پس از حضور میکروارگانیسم‌های محرک رشد می‌تواند به دلیل جذب بیشتر عناصر ماکرو و میکرو، افزایش سنتز هورمون‌ها و گسترش سیستم ریشه‌ای

دادند. در شرایط عدم تلقیح باکتریایی بیشترین میزان سطح برگ در تیمار آبیاری کامل دیده شد. تنش خشکی در تمامی تیمارهای باکتریایی منجر به کاهش سطح برگ گردید، با این حال تیمارهای باکتریایی با تعدیل اثر تنش توانستند میزان سطح برگ را نسبت به شاهد افزایش دهند. در تنش ملایم (۷۵٪ آبیاری کامل) تیمار باکتریایی *Azospirillum lipoferum* نسبت به سایر تیمارهای تلقیحی بهتر عمل کرده و سطح برگ را ۱۰۷/۴ درصد نسبت به شاهد باکتریایی افزایش داد. در تنش شدید (۵۰ درصد آبیاری کامل) نیز باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* سطح برگ را ۹۰/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. در تحقیق جلیلی و همکاران (Jalili et al., 2011) بر تلقیح گیاه کلزا با سویه-هایی از باکتری پسودوموناس مولد ACC دامیناز، گزارش شد که باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش سطح برگ، وزن خشک بوته و محتوای نسبی آب برگ نسبت به گیاه شاهد شدند. افزایش سطح برگ در اثر استفاده از باکتری‌های محرک رشد می‌تواند به دلیل توانایی این میکروارگانیسم‌ها برای تولید هورمون‌های محرک رشد باشد که منجر به افزایش تقسیمات و رشد سلول‌های برگ می‌گردند (Hadi et al., 2010). در گزارش‌های کاستیلو آگویلار و همکاران (Castillo-Aguilar et al., 2017) استفاده از باکتری‌های محرک رشد *Bacillus pumillus*-R44 و *Paenibacillus polymyxa*-BSP1.1 در گیاه دارفلفل زرد (*Capsicum chinenses*)، سبب افزایش معنی‌داری در سطح برگ، در مقایسه با تیمار شاهد شد که این افزایش به نقش باکتری‌ها در کاهش سرعت تعرق و افزایش فتوسنتز نسبت داده شد.

عملکرد بیولوژیک

مقایسه میانگین اثر تنش خشکی نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار عملکرد بیولوژیک به ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل و ۵۰ درصد آبیاری کامل به دست آمد. به عبارتی دیگر، افزایش سطوح تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک گیاه گردید (جدول ۱). به دنبال کمبود رطوبت در دسترس گیاه، کاهش تورژسانس و تقسیمات سلولی رخ می‌دهد که نتیجه‌ی آن کاهش ارتفاع بوته، کاهش تعداد برگ، کاهش هدایت روزنه‌ای و افت جذب دی‌اکسید کربن و کاهش فتوسنتز است و در نهایت عملکرد بیولوژیک کاهش می‌یابد (Shokouhfar and Abofatlehnezhad, 2013). علت افزایش عملکرد

معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی، عملکرد اندام هوایی، عملکرد برگ و گل‌آذین در گیاه دارویی مرزه شد. در گیاه ترخون، ترکیبی از باکتری‌های آزوسپیریلیوم همراه سودوموناس و ازتوباکتر همراه سودوموناس منجر به افزایش تعداد ساقه نسبت به تیمار عدم تلقیح باکتریایی گردیدند (Hatami et al., 2014).

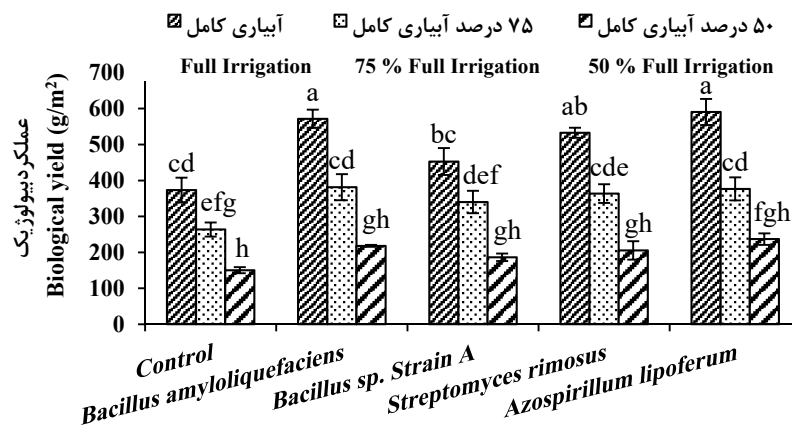
سطح برگ

بیشترین میزان سطح برگ در تیمار آبیاری کامل گیاه مشاهده شد. متناسب با افزایش شدت تنش خشکی از میزان این صفت به‌طور معنی‌داری کاسته شد. به‌طوری‌که کمترین نسبت سطح برگ در تیمار ۵۰ درصد آبیاری کامل با ۶۷/۴ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری کامل به دست آمد (جدول ۱). سازوکار مهمی که گیاه برای سازگاری در برابر تنش خشکی در پیش می‌گیرد، توزیع بیشتر محصولات فتوسنتزی به ریشه‌ها و کاهش سطح برگ است که جهت کاهش تعرق و جلوگیری از اتلاف آب صورت می‌گیرد (Mahpara et al., 2014). نتایج این مطالعه با بررسی‌های جمشیدی و همکاران (Jamshidi et al., 2018) بر گیاه دارویی چیا و سرخی و فاتح (Sorkhi and Fateh, 2019) بر لوبیاچیتی مطابقت داشت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین سطح برگ در تیمار تلقیحی *Azospirillum lipoferum* و *Bacillus amyloliquefaciens* به ترتیب با میانگین ۱۰۲۴۰/۹ و ۱۰۱۳۶/۵ سانتی‌مترمربع مشاهده شد و پس‌از آن تیمارهای تلقیحی *Bacillus sp. strain A* و *Streptomyces rimosus* به ترتیب با میانگین ۷۹۲۳/۷ و ۷۴۷۲/۷ سانتی‌مترمربع قرار گرفتند که این دو تیمار نیز اختلاف معنی‌دار با یکدیگر نداشتند. کمترین سطح برگ در تیمار شاهد با میانگین ۵۶۶۵/۸ به دست آمد (جدول ۱). در مطالعه انجام‌شده در گیاه نعنای فلفلی نیز تلقیح باکتریایی در سطوح مختلف تنش کمبود آب، افزایش سطح برگ را نسبت به شاهد به همراه داشته است (Asgari et al., 2012). بررسی اثرات تنش خشکی و باکتری نشان داد که سطح برگ در تیمار باکتریایی، تحت تأثیر سطوح تنش کم‌آبی قرار گرفت (شکل ۴).

بیشترین میزان سطح برگ در تیمار باکتریایی *Bacillus amyloliquefaciens* و *Azospirillum lipoferum* حاصل شد که در سطح آبیاری کامل قرار داشتند و سطح برگ را به ترتیب ۸۳/۵ و ۷۲/۹ درصد نسبت به شاهد باکتریایی افزایش

گرفت، علت افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه جو را افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن و فسفر موجود در تیمارهای کودی اعمال شده که ناشی از حضور باکتری‌های ارتقاءدهنده رشد صورت گرفت بیان نمودند. در پژوهشی که محمدی بابازیدی و همکاران (Mohammadi Babazeidi et al., 2018) بر روی گیاه ریحان انجام دادند، باکتری *Azospirillum lipoferum* باعث شد که وزن زیست‌توده نسبت به تیمار عدم استفاده از باکتری موردنظر افزایش یابد. نتایج اثرهای متقابل تنش خشکی و تیمارهای باکتریایی حاکی از آن است که عملکرد بیولوژیک در تیمارهای باکتریایی تحت تأثیر سطوح تنش خشکی قرار گرفت (شکل ۵).

بیولوژیک در شرایط آبیاری مطلوب، توسعه بیشتر و بهبود دوام سطح برگ است که باعث استفاده بیشتر از نور خورشید و افزایش ساخت ماده خشک می‌گردد (Gholinezhad, 2016). تمامی تیمارهای باکتریایی، عملکرد بیولوژیک را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۱). در میان تیمارهای باکتریایی مورد آزمایش بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک در تیمار باکتریایی *Azospirillum lipoferum* و *Bacillus amyloliquefaciens* به دست آمد که به ترتیب عملکرد بیولوژیک را ۵۲/۹ و ۴۸/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. در بررسی که توسط حکم‌علی‌پور و شریفی (Hakam-Alipoor and sharifi, 2015) صورت



شکل ۵. اثر متقابل تنش خشکی و تلقیح باکتریایی بر عملکرد بیولوژیک. خطوط عمودی روی هر ستون انحراف معیار است.

Fig. 5. Interaction effect of drought stress and bacterial inoculation on biological yield. The vertical lines on each column are the standard deviation.

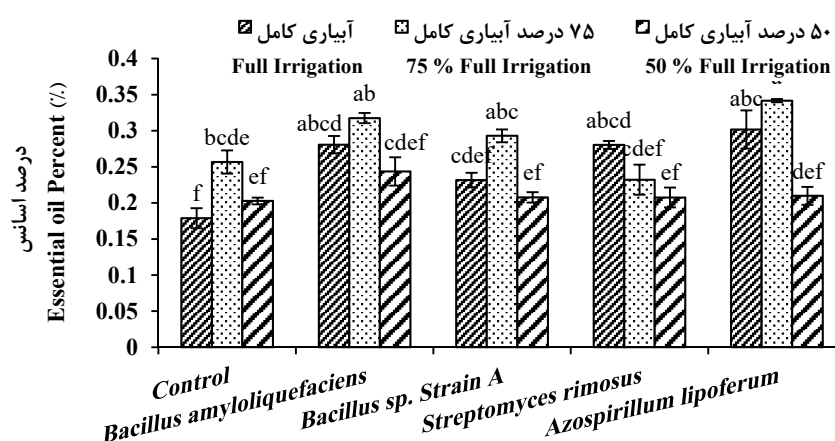
که در تمامی تیمارهای موردنظر، افزایش سطوح تنش خشکی باعث شد که عملکرد بیولوژیک کاهش یابد، اما باکتری‌های تلقیحی با جبران بخشی از خسارت ناشی از کمبود رطوبت توانستند میزان صفت موردنظر را نسبت به شاهد باکتریایی افزایش دهند. بررسی‌هایی که توسط اداوی و باغبانی‌آرانی (Adavi and Baghbani-Arani, 2019) بر روی گیاه ارزن انجام شد نیز نشان داد که کودهای زیستی به‌وسیله‌ی ساخت هورمون‌های محرک رشد، شاخص‌های رشدی گیاه را بالا بردند و با توجه به اینکه اکسین منجر به افزایش تقسیمات سلولی و جیبرلین و مشتقات آن منجر به افزایش رشد طولی سلولی به‌خصوص میانگره‌های ساقه می‌گردند، در نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیک در رژیم‌های مختلف آبیاری اتفاق افتاد.

در شرایط عدم کاربرد باکتری، بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری کامل به دست آمد اما با افزایش سطوح تنش خشکی، عملکرد بیولوژیک کاهش پیدا کرد به‌طوری‌که در تیمار ۵۰ درصد آبیاری کامل، ۵۹/۷ درصد نسبت به شاهد آبیاری، کاهش صفت موردنظر دیده شد. در تیمار آبیاری کامل، بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک به تیمارهای تلقیحی باکتری‌های *Azospirillum lipoferum* و *Bacillus amyloliquefaciens* اختصاص یافت که به ترتیب صفت موردنظر را ۵۸/۲ و ۵۳/۰۹ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل نیز بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک در تیمارهای تلقیحی باکتری‌های *Azospirillum lipoferum* و *Bacillus amyloliquefaciens* مشاهده گردید. واضح است

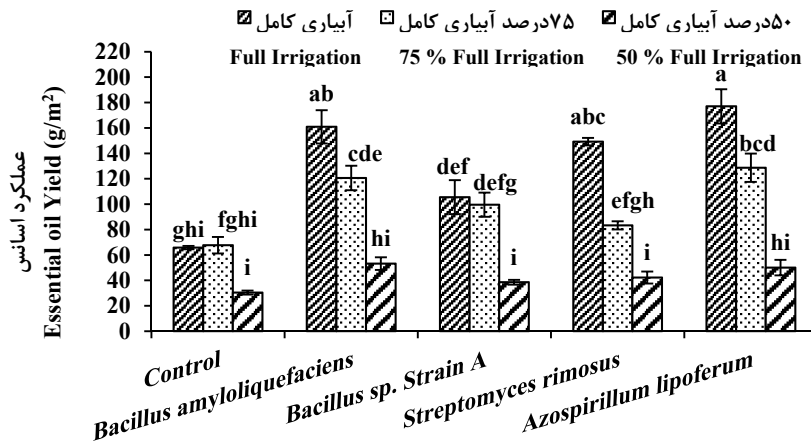
درصد و عملکرد اسانس

تیمارهای باکتریایی تحت تأثیر سطوح تنش خشکی قرار گرفت (شکل ۷). بیشترین میزان عملکرد اسانس در تیمار باکتریایی *Bacillus azospirillum lipoferum* و *amyloliquefaciens* حاصل شد که در سطح آبیاری کامل قرار داشتند و عملکرد اسانس را به ترتیب ۱۶۸/۹، ۱۴۴/۴ و ۱۲۶/۷ درصد نسبت به شاهد باکتریایی افزایش دادند. تنش خشکی در تمامی تیمارهای باکتریایی منجر به کاهش عملکرد اسانس شد. باین‌حال تیمارهای باکتریایی با تعدیل اثر تنش توانستند میزان این صفت را نسبت به شاهد افزایش دهند. در تنش ملایم (۷۵ درصد آبیاری کامل) تیمار باکتریایی *Azospirillum lipoferum* نسبت به سایر تیمارهای تلقیحی بهتر عمل کرده و عملکرد اسانس را ۹۰/۱ درصد نسبت به شاهد باکتریایی افزایش داد. در تنش شدید (۵۰ درصد آبیاری کامل) نیز تمامی باکتری‌های محرک رشد دارای میانگین عملکرد اسانس بیشتری نسبت به شاهد (۳۰/۴ گرم بر مترمربع) بودند و در این میان بیشترین میزان عملکرد اسانس در تیمار باکتریایی *Bacillus amyloliquefaciens* با میانگین ۵۳/۲ گرم بر مترمربع حاصل شد. گزارش پینگ و همکاران نشان می‌دهد که باکتری‌های ارتقادهنده رشد به‌عنوان محرک‌های زیستی در سنتز متابولیت‌های ثانویه بشمار می‌روند. (Ping and Boland, 2004).

با توجه به شکل ۶، اثر تلقیح باکتریایی بر میزان درصد اسانس گیاه، تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی قرار گرفت. تنش ملایم (۷۵ درصد آبیاری کامل) در تیمار بدون تلقیح و تمامی تیمارهای تلقیحی به‌جز تیمار باکتریایی *S. rimosus* منجر به افزایش میزان درصد اسانس نسبت به تیمار بدون تنش شد؛ اما با افزایش سطح تنش، میزان این صفت کاهش یافت. در شرایط بدون تنش، تمامی تیمارهای باکتریایی منجر به افزایش درصد اسانس شده و نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند. در این میان، بیشترین میزان درصد اسانس در تیمار تلقیح باکتریایی *Azospirillum lipoferum* حاصل شد. در شرایط تنش ملایم (۷۵ درصد آبیاری کامل) نیز باکتری *Azospirillum lipoferum* و سپس باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* بیشترین میزان درصد اسانس را به ترتیب با افزایش ۳۳/۱ و ۲۳/۷ درصد نسبت به شاهد در تنش آبی ملایم به خود اختصاص دادند. تحت تنش شدید (۵۰ درصد آبیاری کامل)، تمامی تیمارهای باکتریایی توانستند درصد اسانس را نسبت به شاهد افزایش دهند اما از اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد برخوردار نبودند. باین‌حال، بیشترین میزان این صفت در تنش ۵۰ درصد آبیاری کامل در تیمار باکتریایی *Bacillus amyloliquefaciens* با میانگین ۰/۲۴ درصد مشاهده شد. عملکرد اسانس نیز در



شکل ۶. اثر متقابل تنش خشکی و تلقیح باکتریایی بر درصد اسانس. خطوط عمودی روی هر ستون انحراف معیار است.
 Fig. 6. Interaction effect of drought stress and bacterial inoculation on Essential oil Percent. The vertical lines on each column are the standard deviation.



شکل ۷. اثر متقابل تنش خشکی و تلقیح باکتریایی بر عملکرد اسانس. خطوط عمودی روی هر ستون انحراف معیار است.

Fig. 7. Interaction effect of drought stress and bacterial inoculation on Essential oil yield. The vertical lines on each column are the standard deviation

نتیجه‌گیری نهایی
بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر مشاهده شد تیمارهای تلقیح باکتریایی در بیشتر صفات موردبررسی نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری داشتند. هرچند این تیمارهای باکتریایی در افزایش صفات مورد مطالعه از توانایی یکسانی برخوردار نبودند با این حال نقش مهمی در بهبود صفات آگرومرفولوژیک نشان دادند. از میان تیمارهای موردبررسی، باکتری‌های *A. B. amyloliquefaciens* و *S. rimosus* از تیمارهای تلقیح باکتریایی *B. amyloliquefaciens* استفاده از تیمارهای تلقیح باکتریایی *S. rimosus* و *A. lipoferum* استفاده از تیمارهای تلقیح باکتریایی *B. amyloliquefaciens* به‌منظور افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه بادرنجبویه توصیه می‌گردد.

نتیجه‌گیری نهایی
بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر مشاهده شد تیمارهای تلقیح باکتریایی در بیشتر صفات موردبررسی نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری داشتند. هرچند این تیمارهای باکتریایی در افزایش صفات مورد مطالعه از توانایی یکسانی برخوردار نبودند با این حال نقش مهمی در بهبود صفات آگرومرفولوژیک نشان دادند. از میان تیمارهای موردبررسی، باکتری‌های *A. B. amyloliquefaciens* و *S. rimosus* از تیمارهای تلقیح باکتریایی *B. amyloliquefaciens* استفاده از تیمارهای تلقیح باکتریایی *S. rimosus* و *A. lipoferum* استفاده از تیمارهای تلقیح باکتریایی *B. amyloliquefaciens* به‌منظور افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه بادرنجبویه توصیه می‌گردد.

منابع

- Adavi, Z.A., Baghbani-Arani, A., 2019. Effect of bio-fertilizers application on yield and yield components of millet cultivars common (*Panicum miliaceum* L.) and foxtail millet (*Setaria italica* L.) in water deficit stress. Iranian Journal of Field Crop Science. 50, 13-25. [In Persian with English summary].
- Asgari, M., Habibi, D., Brojerdi, G.N., 2012. Effect of vermicompost, plant growth promoting rhizobacteria and humic acid on growth factors of *Mentha piperita* L. in central province. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding. 4, 41-54. [In Persian with English summary].
- Capecka, E., Mareczek, A., 2005. Antioxidant activity of fresh and dry herbs of some Lamiaceae species. Food Chemistry. 93, 223-226.
- Casanovas, E.M., Barassi, C.A., Sueldo, R.J., 2002. Azospirillum inoculation mitigates water stress effects in maize seedlings. Cereal Research Communications. 30, 343-350.
- Castillo-Aguilar, C., Garruña, R., Zúñiga-Aguilar, J.J., Guzmán-Antonio, A.A., 2017. PGPR inoculation improves growth, nutrient uptake and physiological parameters of *Capsicum chinense* plants. Phyton, International Journal of Experimental Botany. 86, 199-204.
- Chamani, F., Habibi, D., Khodabandeh, N., Davoodi Fard, M., Asgharzadeh, A., 2010. Effects of salinity stress on growth and antioxidant enzyme activity of wheat inoculated with plant growth promoting bacteria (*Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum lipoferum*, *Pseudomonase putida*) and humic acid. Journal of Agronomy and Plant

- Breeding. 8, 39-55. [In Persian with English summary].
- Dehghanitafti, A., Mahmoodi, S., Alikhani, H., Salehi, M., 2018. Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on growth parameters of Isabgol in saline conditions. *Journal of Soil Biology*. 7, 85-102. [In Persian].
- Delshadi, S., Ebrahimi, M., Shirmohammadi, E., 2017. Influence of plant-growth-promoting bacteria on germination, growth and nutrients uptake of *Onobrychis sativa* L. under drought stress. *Journal of Plant Interactions*. 12, 200-208.
- Ebhin Masto, R., Chhonkar, P.K., Singh, D., Patra, A.K., 2006. Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a sub-tropical incept soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 38, 1577-1582.
- Emam, Y., Zavareh, M. 2005. Drought Tolerance in Higher Plants: Genetical, Physiological and Molecular Biological Analysis. Markaz Nashre Daneshgahi Press, p. 186. [In Persian].
- Faraji Mehmani, A., Esmailpour, B., Sefidkon, F., Abbaszadeh, B., Khavazi, K., Ghanbari, A., 2014. Effects of biofertilizers on growth criteria, quantitative and qualitative yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Agroecology*. 6, 870-879. [In Persian with English summary].
- Farshi, A.J. Khirabi, A., Siadat, H., Mirlatifi, M., Darbandi, M., Salamat, A.R., Entesari, M.R., Sadatmirei, M.H., 2003. Irrigation Water Management in Farm Fields. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. Tehran. 178p. [In Persian].
- Gholinezhade, E., 2016. Effect of two species mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces in different levels of drought stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 15(1), 150-167. [In Persian].
- Hadi, H., Ghorbani, R., Zarghami, R., Asgharzadeh, A., Habibi, D., 2010. Effect of growth promoting rhizobacteria on leaf area and chlorophyll content of wheat. *Iranian Journal of Biological Science*. 4, 7-13. [In Persian with English summary].
- Hakam Alipoor, S., Seyed Sharifi, R., 2015. Effect of seed inoculation with plant growth promoting bacteria (PGPR) and different levels of nitrogen and phosphorus fertilizers on yield and some physiological parameters of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 12(4), 822-833. [In Persian with English summary].
- Hamidi, A., Chogan, R., Asgharzadeh, A., Dehghan Shoar, M., Ghalavand, A., Malakoti, M.G., 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 Productoin*. 25, 183-206. [In Persian with English summary].
- Hatami, F., Esmailpour, B., Hadian, G.h., Ghavazi, K., Soltani Tolarod A.A., Abbaszadeh Dahegi, P., 2014. Evaluation of the effect of biological fertilizers on the morphological characteristics of the tarragon (*Artemisia dracunculus*). *Journal of Soil Biology*. 7, 56-63. [In Persian with English summary].
- Jalili, F. Khavazy, K., Asadi Rahmani, E., 2011. Effects of fluorescent Pseudomonads with ACC deaminase activity on growth characteristics of canola (*Brassica napus* L.) under salinity condition. *Water and Soil Science*. 21(2), 175-191. [In Persian with English summary].
- Jamshidi, A.M., Ahmadi, A., Karimi, M., Motesharezadeh, B., 2018. Evaluation of some growth and physiological responses of Chia (*Salvia hispanica* L.) to various moisture regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 50, 99-110. [In Persian with English summary].
- Kafi, M., Zand, E., Kamkar, B., Mahdavi, A., Damghani, A., Abbasi, F., 2010. *Plant Physiology*. Jihad-e-Daneshgahi of **Mashhad press**. 676p. [In Persian].
- Kandeel, A.M., Naglaa, S.A.T., Sadek, A., 2002. Effect of biofertilizers on the growth, volatile oil yield and chemical composition of *Ocimum basilicum* L. *Annals of Agriculture Science*. 47, 351-371.
- Khosravi, M., Danesh Shahraki, A., Ghobadi Nia, M., Saidii, K., 2018. The effect of biological seed treatments on morphological characteristics of *Dracocephalum moldavica* L. under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 11, 353-363. [In Persian with English summary].
- Kiani, Z., Esmailpour, B., Hadian, J., Soltani Toolarood, A. A., Fathololumi, S., 2014. Effect of organic fertilizers on growth properties nutrient absorption and essential oil yield of medicinal plant of spearmint (*Mentha spicata*

- L.). Journal of Plant Production Research. 21 (4), 63-80. [In Persian with English summary].
- Mahpara, S., Hussain, T., Farooq, J., 2014. Drought tolerance studies in wheat (*Triticum aestivum* L.). Cercetari Agronomice in Moldova. 4, 133-140.
- Mohammadi Babazeidi, H., Hatami, A., Barari, M., Zare, M.J., Falaknaz, M., 2018. Effect of Azospirillum on the morphological and physiological traits of basil (*Ocimum basilicum*) under salt stress. New Cellular and Molecular Biotechnology Journal. 8, 58-68. [In Persian with English summary].
- Ping, L., Boland, W., 2004. Signals from the underground: bacterial volatiles promote growth in Arabidopsis. Trends in Plant Science. 9, 263-266.
- Rajabi Khamseh, S., Danesh Shahraki, A., 2020. Effect of bacterial inoculation on grain and soil nutrient elements of linseed (*Linum usitatissimum* L.) under different irrigation levels. Journal of Plant Production Research. 26(4), 191-207. [In Persian with English summary].
- Ribeiro, M.A., Bernardo-Gil, M.G., Esquivel, M.M., 2001. *Melissa officinalis* L.: Study of antioxidant activity in supercritical residues. The Journal of Supercritical Fluids. 21, 51-60.
- Saravanakumar, D., Kavino, M., Raguchander, T., Subbian, P., Samiyappan, R., 2011. Plant growth promoting bacteria enhance water stress resistance in green gram plants. Acta Physiologiae Plantarum. 33, 203-209.
- Sharma, A., Johri, B.N., 2003. Growth promoting influence of siderophore-producing Pseudomonas strains GRP3A and PRS9 in maize (*Zea mays* L.) under iron limiting conditions. Microbiological Research. 158, 243-248.
- Shokouhfar, A., Abofatihnezhad, S., 2013. Effect of drought stress on some physiological traits and biological yield of different cultivars of mung (*Vigna radiate* L.) in Dezful. Crop Physiology Journal. 5(17), 49-59. [In Persian with English summary].
- Shool, A., Shamshiri, M.H., Akhgar, A., Esmaeilizadeh, M., 2014. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and Pseudomonas fluorescence on vegetative growth of pistachio seedlings (*Pistacia vera* cv. Qazvini) under four different irrigation regimes. Iranian Journal of Horticultural Science. 45, 297-307. [In Persian with English summary].
- Silva, L.R., Pereira, M.J., Azevedo, J., Mulas, R., Velazquez, E., González-Andrés, F., Andrade, P.B., 2013. Inoculation with Bradyrhizobium japonicum enhances the organic and fatty acids content of soybean (*Glycine max* L. Merrill) seeds. Food Chemistry. 141, 3636-3648.
- Sorkhi, F., Fateh, M., 2019. Effect of drought stress on leaf area index, photosynthesis, stomatal conductance and proline content in two pinto bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 389-399. [In Persian with English summary].
- Torfi, V., Danesh-Shahraki, A., Saeidi, K., 2016. Effect of plant Growth promoting rhizobacteria on morphological traits and essential oil content of Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). Journal of Plant Production. 39(2), 57-70. [In Persian with English summary].
- Wang, X., Vignjevic, M., Jiang, D., Jacobsen, S., Wollenweber, B., 2014. Improved tolerance to drought stress after anthesis due to priming before anthesis in wheat (*Triticum aestivum* L. var. vinjett). Journal of Experimental Botany. 65(22), 6441-6456.
- Yazdani, D., Shahnazi, S., Seyfi, H., 2004. Medicinal Plant Cultivation. Medicinal Plants Central Research Publication. 169p. [In Persian].