مجله پژوهش‌های به زراعی
جلد ۱۲، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹

مجله پژوهش‌های به زراعی

# بررسی اثر روش‌های مصرف باکتری های محرک رشد (PGPRs) بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی سیاهدانه تحت شرایط تنش کم‌آبی در منطقه شهرری

**محمد امین اکبری[۱]، علیرضا پازکی[۲*]**

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه زراعت، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۹/۶ تاریخ پذیرش: ۹۹/۲/۴

## چکیده

به منظور بررسی اثر روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد در شرایط تنش کم‌آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی سیاهدانه، آزمایشی بصورت کرت خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی(ره) در منطقه شهرری در سال ۱۳۹۴ انجام گردید. در این آزمایش آبیاری بعنوان عامل اصلی در سه سطح (۵۵، ۹۵، ۱۳۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و روش-های مصرف باکتری‌های محرک رشد بعنوان عامل فرعی در چهار سطح (عدم مصرف، بذر مال، آب آبیاری، بذر مال + آب آبیاری) در نظر گرفته شد. نتایج بدست آمده از این آزمایش نشان داد که تنش خشکی بر تمامی صفات مورد بررسی در سطح یک درصد اثر معنی‌داری داشت، به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع بوته (۱۸/۹۹ سانتی‌متر)، تعداد شاخه فرعی در بوته (۵/۴ عدد)، تعداد کپسول در بوته (۶ عدد)، تعداد دانه در کپسول (۱۹/۲ عدد)، وزن هزار دانه (۲/۱۸ گرم)، عملکرد دانه (۲۳۴/۷۹ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد بیولوژیک (۶۲۶/۵۸ کیلوگرم در هکتار) و شاخص برداشت (۳۷/۴۲ درصد) در دور آبیاری ۵۵ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر حاصل شد. همچنین روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد کپسول در بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. بیشترین مقدار تمامی صفات مذکور با کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌صورت بذرمال + آب آبیاری بدست آمد. لذا می‌توان چنین اظهار داشت که مصرف باکتری‌های محرک رشد می‌تواند تا حدودی اثرات مخرب تنش کم‌آبی در گیاه دارویی سیاهدانه را کنترل نماید. همچنین بهترین تیمار قابل توصیه جهت مصرف باکتری‌های محرک رشد در زمان تنش کم‌آبی، کاربرد روش مصرف بصورت بذر مال + آب آبیاری می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی**: تنش، گیاه دارویی، باکتری، عملکرد

* نگارنده مسئول (alireza.pazoki@ut.ac.ir)

**مقدمه**

سیاهدانه با نام علمی *Nigella sativa* L. و نام انگلیسی Black cumin از خانواده آلاله، گیاهی یک‌ساله با ساقه‌های ایستاده به ارتفاع حدود ۲۵ تا ۴۰ سانتی‌متر است. برگ‌ها دارای بریدگی‌های نخی، برگچه‌های ریز، گل‌های زیبا به رنگ سفید خاکستری تا آبی با پرچم‌های متعدد، کاسبرگ‌هایی به رنگ گلبرگ، میوه به‌صورت کپسول (غلاف دندانه‌دار) که درون آن تعداد زیادی دانه سیاه و معطر قرار دارد. پراکنش گیاهان خانواده آلاله در اروپا و غرب آسیاست (دوازده امامی و مجنون حسینی، ۱۳۸۷).

خشکسالی مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاه و تولید محصول در سراسر نقاط جهان است. زمانی که از دست دادن آب به‌صورت تعرق بر میزان آب جذب‌شده از خاک پیشی می‌گیرد، تنش خشکی رخ می‌دهد. تنش طولانی‌مدت بر تمام فرآیندهای متابولیک گیاه اثر می‌گذارد و در نتیجه اغلب موجب کاهش تولید گیاه می‌شود (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۲). در آزمایشی به‌منظور بررسی تأثیر تنش کم‌آبی و مراحل برداشت بر عملکرد کمی و کیفی گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) نتایج بیانگر آن بود که افزایش تنش خشکی باعث کاهش عملکرد و اجزای آن گردید، درحالی‌که میزان پرولین و کربوهیدرات گیاه، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین درصد اسانس و ترکیبات اصلی آن (لینالول، آلفا پینن، گاماترپینین، ژرانیول استات، کامفور) در تیمار تنش ملایم مشاهده شد (احمدیان و نورزاد، ۱۳۹۳). در تحقیق دیگری به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی و نیتروکسین بر عملکرد گل، اجزای عملکرد، رنگ‌ریزه‌های فتوسنتزی و میزان پرولین گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) نتایج نشان داد خشکی، کاربرد کود زیستی و اثر برهمکنش آن‌ها بر ارتفاع بوته، عملکرد گل، محتوی رنگ ریزه‌های فتوسنتزی، محتوی پرولین و درصد عصاره گل تأثیر معنی‌داری داشت. به‌طوری‌که بیشترین عملکرد گل و میزان عصاره در شرایط پتانسیل رطوبت خاک ۰/۵ اتمسفر (شاهد) حاصل شد. همچنین بیشترین ارتفاع بوته و محتوی رنگ ریزه‌های فتوسنتزی نیز در تنش ملایم (۳/۵ اتمسفر) حاصل شد و محتوی پرولین در تیمار آبیاری مطلوب (ظرفیت مزرعه)، ۴۷ درصد کمتر از خشکی نسبتاً شدید (۶/۵ اتمسفر) بود. بر اساس نتایج، بیشترین ارتفاع بوته، عملکرد

گل، محتوی پرولین و مقدار عصاره گل از کاربرد کود زیستی به‌صورت بذرمال حاصل شد. به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که گیاه دارویی همیشه‌بهار می‌تواند همگام با کاربرد دو لیتر کود زیستی نیتروکسین به‌صورت بذرمال، سطوح نسبتاً شدید خشکی (۶/۵ اتمسفر) را تحمل نماید (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۲).

در تولید گیاهان دارویی علاوه بر شرایط آب و هوایی، فاکتورهای خاکی نیز از اهمیت خاصی برخوردار هستند. یکی از شیوه‌های بیولوژیکی برای افزایش تولید در کشاورزی، استفاده بالقوه از میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی است که می‌توانند از روش‌های مختلفی باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه شوند. از جمله این موجودات می‌توان به ریزوباکترهای محرک رشد گیاه (PGPR)[1] اشاره کرد (وسی، ۲۰۰۳).

باکتری‌های جنس ازتوباکتر[2]، سودوموناس[3] و آزوسپیریلیوم[4] از مهم‌ترین باکتری‌های فعال افزاینده رشد گیاه در محیط اطراف ریشه (ریزوسفر) هستند که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن و محلول کردن فسفر خاک، با تولید مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای هورمون محرک رشد به‌ویژه انواع اکسین‌ها، ژیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها رشد، نمو عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند(Zahira *et al*., 2004).

در مطالعه‌ای که با موضوع بررسی تأثیر تنش خشکی (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) بر خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد سه گیاه دارویی شوید، گشنیز و رازیانه صورت گرفت، مشخص گردید که کاهش میزان آب در خاک از حد ظرفیت زراعی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد شاخه جانبی در بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته، وزن هزار دانه و شاخص برداشت دانه داشت. گیاه شوید در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بیشترین تعداد دانه در چتر (۱۴ عدد)، تعداد دانه در بوته (۲۷ عدد)، چتر در بوته (۴ عدد)، چترک در چتر (۱۰ عدد) وزن هزار دانه (۶/۵ گرم) را دارا بود، همچنین گیاه رازیانه در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی کمترین تعداد دانه در چتر (۲ عدد)، تعداد دانه در بوته (۲ عدد)، تعداد چتر در بوته (۰/۲۵ عدد)، چترک در چتر

[1]- Planth Growth Promoting Rhizobacteria
[2]- Azotobacter spp.
[3]- Pseudomonas spp.
[4]- Azospirillum spp.

(۰/۵ عدد) و وزن هزار دانه (۰/۱۵ گرم) دارا بود (امیری ده و همکاران، ۱۳۹۱).

نتایج تحقیقات محمدی البرزی و همکاران (۱۳۹۱)، با بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و برخی صفات مورفولوژیک گیاه دارویی آنیسون نشان دادند که تنش خشکی بر ارتفاع گیاه، قطر تاج پوشش کوچک، قطر تاج پوشش بزرگ، تعداد چتر، وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، عملکرد ماده خشک وزن هزار دانه معنی‌دار بود. در این تحقیق بیشترین ارتفاع گیاه (۴۸/۹۱ سانتی‌متر)، تعداد چتر (۸۱/۸۳ عدد در بوته)، وزن خشک ریشه (۹۱/۷۸ کیلوگرم در هکتار)، وزن خشک ساقه (۵۷۷/۷۲۵ کیلوگرم در هکتار)، وزن خشک برگ (۲۷۲/۷۲۴ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد ماده خشک (۹۴۲/۲۲۷ کیلوگرم در هکتار) وزن هزاردانه (۳/۲ گرم در بوته) در تیمار ۱۰ درصد تخلیه رطوبت بدست آمد. در تحقیق دیگری که به‌منظور بررسی اثر میکرو ارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات بر روی رشد و نمو گیاه کلزا تحت شرایط مزرعه‌ای انجام گرفت، مشخص شد که عملکرد وزن خشک کل و عملکرد دانه به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بهبود یافت اما جذب کل فسفر تحت تأثیر قرار نگرفت (Deferitas *et al*., 2007)

در مطالعه‌ای مصرف باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجب بهبود بارز ویژگی‌هایی مانند ارتفاع بوته، تعداد گل و عملکرد دانه در گیاه دارویی گل‌گاوزبان و نیز افزایش چشمگیر صفاتی چون ارتفاع بوته و عملکرد دانه در گیاه دارویی سیاهدانه گردید (Shaalan *et al*., 2010) نتایج تحقیق دیگر نیز مبین بهبود معنی‌دار عملکرد بیولوژیک و دانه بر اثر مصرف باکتری‌های حل‌کننده فسفات در یک گیاه دارویی از خانواده فرفیون به نام *Phyllanthus amarus* در مقایسه با تیمار شاهد بود (Annamali et al., 2010).

بر این اساس با هدف بررسی اثر استفاده از باکتری‌های محرک رشد بر کاهش اثرات سوء ناشی از تنش خشکی، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و نیل به‌سوی کشاورزی پایدار است این تحقیق انجام پذیرفت.

## مواد روش‌ها

این آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در فروردین‌ماه سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی(ره) به اجرا در آمد. طول جغرافیایی محل آزمایش ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی آن ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی است. معدل میزان بارندگی ۲۳۱ میلی‌متر و معدل حداکثر و حداقل درجه حرارت در ایستگاه تهران به ترتیب ۲۲/۶، ۱۱/۷ و متوسط درجه حرارت ۱۷/۱، تعداد روزهای یخبندان ۴۹ روز و رطوبت نسبی در ساعت ۶:۳۰ و ۱۲:۳۰ به ترتیب ۴۸ و ۳۰ درصد بوده است. بر اساس این آمار، حداکثر بارندگی در یک روز طی ۳۰ سال، ۴۰ میلی‌متر و حداکثر و حداقل مطلق درجه حرارت به ترتیب ۴۴ و ۱/۴۸- و معدل حداکثر درجه حرارت در تیرماه ۳۶/۴ درجه سانتی‌گراد و کمترین معدل حداقل درجه حرارت در دی‌ماه ۱/۴- درجه سانتی‌گراد است.

بذر استفاده شده در این آزمایش، از سازمان تحقیقات کشاورزی با قوه نامیه ۹۸٪ تهیه گردید. همچنین جهت اعمال تیمار باکتری بعنوان عامل فرعی، از محلول نیتروکسین حاوی باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم (با جمعیت $10^8$ CFU گرم در هر میلی‌لیتر) استفاده شد.

تیمار تنش کم‌آبی بعنوان عامل اصلی توسط تشتک تبخیر کلاس A اندازه گیری، محاسبه و اعمال شد.

جهت آماده سازی زمین یک مرحله شخم عمیق زده شد و سپس در فروردین ماه سال ۱۳۹۳ زمین دیسک خورد و عملیات تسطیح و کرت بندی انجام پذیرفت. به همین منظور پشته‌هایی به فاصله۶۰ سانتی‌متر تهیه و روی هر پشته دو خط کاشت در نظر گرفته شد. هر کرت دارای ۳ پشته و ۶ خط کاشت ۴ متری بود. قبل و بعد از کاشت از نهاده‌های شیمیایی (کود، علف کش و غیره) استفاده نگردید. وجین علف‌های هرز در طول مدت رشد گیاه بصورت دستی و در ۴ مرحله صورت پذیرفت.

تیمار تنش کم‌آبی به دلیل جلوگیری از آسیب به گیاه بتدریج وقتی گیاهان بطور کامل مستقر شده و ارتفاع تقریبی آن‌ها به ۱۰ سانتی متر رسید اعمال شد.

به منظور اندازه‌گیری صفات رویشی مانند ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های فرعی، پس از رسیدن

کامل با نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب و صفات مورد نظر در آن‌ها اندازه‌گیری شد. جهت تعیین اجزای عملکرد سیاهدانه، تعداد ۷ بوته از هر کرت انتخاب و پس از جدا کردن کپسول‌ها تعداد کپسول در بوته و سپس با انتخاب ۵۰ کپسول، تعداد دانه در کپسول اندازه‌گیری گردید. درنهایت جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت اندام هوایی با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای مساحت ۱/۵ مترمربع در نظر گرفته شد. پس از کف بر کردن بوته‌ها و جدا کردن دانه‌ها ابتدا شاخص برداشت (HI) از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک ضرب‌در عدد ۱۰۰ محاسبه گردید و با خشک‌کردن نمونه‌ها، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه مورد سنجش قرار گرفت.

در نهایت پس از اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم افزار SAS (9.1) و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح ۵٪ انجام شد.

**جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش**

| عمق | شن | سیلت | رس | بافت | EC | PH | کربن آلی | نیتروژن | فسفر | پتاسیم |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cm | % | % | % | | (dS/m) | | % | % | (Mg/Kg) | (Mg/Kg) |
| ۳۰-۰ | ۳۸ | ۴۲ | ۲۲ | لومی-رسی | ۳/۴۵ | ۷/۸ | ۰/۳۳ | ۰/۰۷ | ۱۴ | ۴۴۷/۸ |

## نتایج و بحث

### ارتفاع بوته

اثر هر دو عامل تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد و اثر متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش کم آبی نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در دور آبیاری ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (۱۸/۹۹ سانتی‌متر) حاصل گردید. بین دو سطح دور آبیاری ۹۵ میلی‌متر تبخیر (۱۴/۴۲ سانتی‌متر) و ۱۳۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (۱۳/۵۳ سانتی‌متر) از نظر ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین ارتفاع بوته در دور آبیاری ۱۳۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به تیمار ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ۲۸/۷۵ درصد کاهش یافت. نتایج

مقایسه میانگین اثر روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد بیانگر آن بود که بیشترین ارتفاع بوته در کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌صورت بذرمال + آب آبیاری (۱۸/۷۱ سانتی‌متر) و کمترین آن از شاهد یعنی عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد (۱۲/۳۹ سانتی‌متر) حاصل گردید (جدول ۴). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار دور آبیاری ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به همراه کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌صورت بذرمال+ آب آبیاری (۲۴/۹ سانتی‌متر) و کمترین مقدار در تیمار دور آبیاری ۱۳۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به همراه عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد (۱۲/۳۹) حاصل شد (جدول ۶). گزارش‌های زیادی مبنی بر تأثیر کمبود آب از چند نوبت تا تنش‌های شدید در رابطه با مختل شدن فرآیندهای فیزیولوژی گیاهان و تغییر در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و نیتروژن، تغییر در ساختمان پروتئین‌ها و فعالیت آنزیم‌ها، تجمع پرولین و کاهش تشدیدکننده‌های رشد وجود دارد (Levitt, 2007). این تغییرات فیزیولوژی درنهایت منجر به تغییرات مورفولوژیکی در بذر، گیاهچه، برگ و ارتفاع گیاه و غیره می‌گردد (Kramer, 2003).

**تعداد شاخه فرعی در بوته**

اثرات اصلی تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد بر تعداد شاخه فرعی در بوته در سطح یک درصد معنی‌دار گردید، اما اثر متقابل تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش نشان داد که بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته در تیمار دور آبیاری ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (۵/۴) حاصل گردید. کمترین میزان آن مربوط به دور آبیاری ۱۳۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (۴/۱) بود. تعداد شاخه فرعی در بوته در تیمار دور آبیاری ۱۳۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به تیمار ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ۲۴/۰۷ درصد کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد بیانگر آن بود که بیشترین میزان تعداد شاخه فرعی در

بوته در کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌صورت بذرمال + آب آبیاری (۵/۹) و کمترین مقدار در تیمار شاهد یعنی عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد (۳/۶) حاصل شد. به‌طوری‌که کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌صورت بذرمال + آب آبیاری نسبت به تیمار شاهد منجر به افزایش ۶۳/۸۸ درصدی تعداد شاخه فرعی در بوته گردید (جدول ۴). نتایج تحقیق ضرابی و همکاران (۱۳۹۳) بیانگر آن بود که سطوح مختلف آبیاری تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی در بوته اسطوخدوس داشت. اثر هورمونی القاء شده در گیاه توسط تثبیت‌کننده‌های نیتروژن (ازتوباکتر و آزوسپریلوم)، ممکن است یا به‌طور مستقیم تغییراتی در مورفولوژی ساقه گیاهان تلقیح شده (قطور شدن ساقه، افزایش شاخ و برگ و تعداد سرشاخه‌های گل‌دار ایجاد کند) ایجاد کند و یا با ازدیاد رشد ریشه و به تبع آن افزایش زمینه دسترسی به آب و املاح، رشد بیشتر بخش هوایی گیاه را ممکن سازد (عموآقایی و مستأجران، ۱۳۸۶).

**تعداد کپسول در بوته**

بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش تنش خشکی منجر به کاهش ۴۵/۶۶ درصدی تعداد کپسول در بوته نسبت به شرایط بدون تنش گردید (جدول ۴). همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد نشان داد که بیشترین میزان تعداد کپسول در بوته در تیمار دور آبیاری ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به همراه کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌صورت بذرمال + آب آبیاری حاصل گردید (جدول ۶). در همین راستا مرادی و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک روی رازیانه دریافتند که از آنجایی که تیمار کود زیستی حاوی میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات و تثبیت‌کننده نیتروژن است و همچنین از آنجایی‌که سودوموناس، فسفر نامحلول خاک را حل می‌کند، فراهمی فسفر و سایر عناصر غذایی ممکن است، منجر به توسعه فاز زایشی و تعداد اندام‌زایشی در بوته گردد. نتایج بدست آمده از تحقیق درزی و همکاران (۱۳۸۷) نیز حاکی از آن

بود که تیمارهای مختلف کودهای زیستی و شاهد

**تعداد دانه در کپسول**

اثر اصلی تنش کم‌آبی در سطح یک درصد بر تعداد دانه در کپسول معنی‌دار گردید، اما اثر اصلی روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد و اثر متقابل تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش نشان داد که بیشترین تعداد دانه در کپسول در تیمار دور آبیاری ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (۶/۳ عدد) حاصل گردید. دو سطح دور آبیاری ۹۵ میلی‌متر تبخیر (۵ عدد) و ۱۳۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (۴/۹ عدد) از نظر تعداد دانه در کپسول اختلاف معنی‌دار وجود نداشتند. تعداد دانه در کپسول در تیمار دور آبیاری ۱۳۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به تیمار ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ۲۲/۲۹ درصد کاهش یافت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تنش خشکی منجر به کاهش ۲۲/۲۹ درصدی تعداد دانه در کپسول نسبت به شرایط بدون تنش گردید (جدول ۴). این موضوع با نتایج تحقیقات اثر معنی‌داری بر تعداد چتر در بوته داشتند. حیدری و جهان تیغی (۱۳۹۱) و نوروزپور و رضوانی مقدم (۱۳۸۴) در سیاهدانه مطابقت دارد.

**وزن هزاردانه**

نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که تنش خشکی منجر به کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه شد. به‌طوری‌که تنش خشکی منجر به کاهش ۱۸/۳۵ درصدی وزن هزار دانه گردید (جدول ۵). در تفسیر این موضوع می‌توان بیان کرد که تنش خشکی ظرفیت تولید مواد فتوسنتزی و نیز ذخیره آن‌ها در دانه را طی مرحله پر شدن دانه کاهش می‌دهد و این امر منجر به کاهش وزن هزار دانه می‌گردد(Hay & Gilbert, 2001). این موضوع با نتایج تحقیقات حیدری و جهان تیغی (۱۳۹۱) در سیاهدانه، نوروزپور و رضوانی مقدم (۱۳۸۴) در سیاهدانه، امیری ده و همکاران (۱۳۹۱) در سه گیاه دارویی شوید، گشنیز و رازیانه و محمدی البرزی و همکاران (۱۳۹۱) در گیاه دارویی آنیسون مطابقت دارد. در این آزمایش کاربرد باکتری محرک رشد تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نداشت. در همین راستا در پژوهشی که توسط درزی و همکاران

(۱۳۹۱) در گیاه گشنیز صورت گرفت، نتایج نشان داد که تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد تأثیر معنی‌داری بر وزن هزاردانه نداشت.

**عملکرد دانه**

اثر اصلی تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد و اثر متقابل آن‌ها در سطح یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در تیمار دور آبیاری ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (۲۳۴/۷۹ کیلوگرم در هکتار) حاصل گردید. کمترین میزان آن مربوط به دور آبیاری ۱۳۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (۱۱۷/۵۳ کیلوگرم در هکتار) بود. میزان عملکرد دانه در تیمار دور آبیاری ۱۳۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به تیمار ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ۴۹/۹۴ درصد کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد بیانگر آن بود که بیشترین عملکرد دانه در شرایط کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌صورت بذرمال+ آب آبیاری (۲۰۴/۶۸ کیلوگرم در هکتار) و کمترین میزان آن در تیمار شاهد یعنی عدم مصرف باکتری‌های محرک رشد (۱۳۹/۹۶ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. حداکثر میزان عملکرد نسبت به تیمار شاهد ۴۶/۲۴ درصد افزایش یافت (جدول ۵). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه در تیمار دور آبیاری ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به همراه کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌صورت بذرمال+ آب آبیاری (۲۸۰ کیلوگرم در هکتار) حاصل گردید که میزان عملکرد دانه در این تیمار نسبت به شرایط عدم مصرف باکتری در دور آبیاری ۵۵ میلی‌متر تبخیر ۴۴/۱۳ درصد افزایش یافت (جدول ۶). همچنین استفاده از باکتری‌های محرک رشد به‌صورت بذرمال + آب آبیاری و کاربرد در آب آبیاری به‌تنهایی میزان عملکرد دانه را در شرایط تنش شدید نسبت به تیمار عدم مصرف باکتری‌های محرک رشد به‌طور معنی‌داری افزایش داد. گیاه تحت تأثیر شاخص‌های حداقل و مهم نسبت گلوسیدها به ترکیبات پروتئین (C/N)، ترشح هورمون فلوریژن و تأثیر درجه روزهای رشد (GDD) به گل می‌رود که تحت

تنش کمبود رطوبت، به دلیل کاهش محتوای نیتروژن محلول در ریزوسفر خاک، گیاه اجباراً در شرایط C/N بالا قرار گرفته و الزاماً باعث گلدهی گیاه در ارتفاع کم می‌شود. از طرفی طول دوره گلدهی و طول دوره رسیدن گیاه کوتاه گشته و در نتیجه عملکرد نهایی گیاه عموماً کاهش می‌یابد (امیدی و همکاران، ۱۳۹۱). بنابراین تنش خشکی به دلیل کاهش آب در خاک و فعال نمودن فرآیندهای مختلف در گیاه که با مصرف انرژی همراه می‌باشد، روی صفات کمی و کیفی گیاه تأثیر می‌گذارد (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۲). در واقع تأثیر تنش خشکی بر روی گیاهان پیچیده بوده و بستگی زیادی به مراحل رشد و نموی آن‌ها دارد. محدودیت رطوبت در خاک از طریق کاهش مقدار فتوسنتز، سطح برگ تولیدی، اختلال در جذب عناصر غذایی و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها بر عملکرد گیاهان تأثیر سوء می‌گذارد. در همین راستا نتایج آزمایش حیدری و جهان تیغی (۱۳۹۱) نشان داد که اعمال تنش خشکی در هر یک از مراحل رشدی گیاه منجر به کاهش عملکرد دانه در سیاهدانه شد. این موضوع با نتایج تحقیقات نوروزپور و رضوانی مقدم (۱۳۸۴) در سیاهدانه، جعفرزاده و همکاران (۱۳۸۹) در گیاه همیشه‌بهار، احمدیان و نورزاد (۱۳۹۳) در گشنیز، جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۲) در گیاه دارویی همیشه‌بهار، جمشیدی و همکاران (۱۳۹۱) در رازیانه، فرهودی و مکی زاده (۱۳۹۱) در گیاه بابونه و کوک و همکاران (۲۰۱۰) در گیاه فلفل مطابقت دارد. همچنین کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌صورت بذرمال + آب آبیاری منجر به افزایش ۴۶/۲۴ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم مصرف باکتری محرک رشد گردید. در مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد، بیشترین میزان عملکرد دانه در تیمار دور آبیاری ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به همراه کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌صورت بذرمال+ آب آبیاری حاصل گردید. افزایش عملکرد دانه به‌واسطه کاربرد کودهای زیستی می‌تواند به دلیل تثبیت نیتروژن، دفع آمونیاک، حل‌کنندگی فسفات، تولید سیدروفور، تولید هورمون رشد و تولید ترکیبات ضد قارچی باشد. به‌عنوان مثال تلقیح ازتوباکتر موجب تولید جیبرلیک اسید، ایندول ۳-استیک اسید و

سیتوکینین می‌شود که موجب تحریک جوانه‌زنی و رشد گیاه می‌گردد. وجود باکتری در محیط ریشه موجب ترشح تریپتوفان از ریشه و درنتیجه تولید ایندول ۳-استیک اسید می‌گردد. تولید هورمون‌های رشد گیاهی توسط کودهای زیستی در محیط ریشه موجب پاسخ‌های رشدی معنی‌دار در گیاه می‌گردد(Ridvan, 2008). بالاترین همیستگی عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک (۰/۹۹) و شاخص برداشت بود (۰/۹) بود (جدول ۷).

## عملکرد بیولوژیک

تنش خشکی منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گردید (جدول ۳). به‌طوری‌که با دور آبیاری ۱۳۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، کاهش ۴۳/۱۶ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به شرایط بدون تنش روی داد. همچنین کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌صورت بذرمال + آب آبیاری منجر به افزایش ۲۹/۹۳ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار عدم مصرف باکتری محرک رشد گردید (جدول ۵). در مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد نشان داد که بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک در تیمارهای دور آبیاری ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به همراه کاربرد باکتری‌های محرک رشد به صورت بذرمال + آب آبیاری و کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌صورت بذرمال بود (جدول ۶). کاهش عملکرد بیولوژیک بر اثر تنش خشکی با نتایج تحقیقات حیدری و جهان تیغی (۱۳۹۱) در گیاه سیاهدانه، نوروزپور و رضوانی مقدم (۱۳۸۴) در سیاهدانه، Koc *et al* (2010) در گیاه فلفل، شریف روحانی و همکاران (۱۳۹۳) در گیاه موسیر و محمدی البرزی و همکاران (۱۳۹۱) در گیاه دارویی آنیسون مطابقت دارد. از سوی دیگر مصرف کودهای زیستی می‌تواند کمبود عناصر غذایی را جبران کند و از طریق تولید تنظیم‌کننده‌های رشد توسط میکروب‌های موجود در محیط ریشه، باعث بهبود نمو گیاه شود، زیرا این میکروب‌ها موجب تحریک توسعه ریشه و درنتیجه جذب بهتر آب و مواد غذایی از خاک می‌شوند. به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای زیستی مطلوب، از طریق تأثیر مثبتی که بر روی فعالیت میکرو ارگانیزم‌های مفید در خاک می‌گذارد، امکان دسترسی مطلوب به عناصر

غذایی پرمصرف و کم‌مصرف را توسط گیاه دارویی سیاهدانه فراهم می‌آورد. نتایج بیشتر پژوهش‌ها گویای آن است که آزوسپیریلیوم با توان تثبیت زیستی نیتروژن، گسترش سطح ریشه، کمک به جذب بهینه آب و عناصر غذایی و تولید هورمون‌های رشد و برخی ویتامین‌ها، رشد کمی و کیفی را در گیاهان تقویت می‌کند (Sturz & Christie, 2003).

ازتوباکتر با میکروارگانیسم‌های مختلف دارای رابطه هم‌افزایی است. به‌طوری‌که در آزمایشی اثرات تلقیح توأم ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم روی مقدار ماده خشک زعفران و همیشه‌بهار مثبت گزارش‌شده است (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۲). یافته‌های درزی و همکاران (۱۳۹۱) در گشنیز نیز بیانگر همین مطلب است. افزایش عملکرد بیولوژیک بر اثر مصرف کودهای زیستی با نتایج تحقیقات Chezhiyan *et al* (2003) در ریحان (*Ocimum gratissimum*)، Annamali *et al* (2004) در گیاه دارویی *Phyllanthus amarus* و گروسی و همکاران (۱۳۹۲) در گیاه دارویی زوفا مطابقت دارد.

**شاخص برداشت**

در این آزمایش شاخص برداشت نیز که تابعی از عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در این گیاه است، با افزایش خشکی کاهش یافت. به نحوی که اثر عامل اصلی تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد در سطح یک درصد و اثر متقابل تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد در سطح پنج درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش نشان داد که بیشترین شاخص برداشت در تیمار دور آبیاری ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (۳۷/۴۲ درصد) حاصل گردید. کمترین میزان آن (۲۳/۹۳ درصد) مربوط به دور آبیاری ۱۳۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر بود. شاخص برداشت در تیمار دور آبیاری ۱۳۵ میلی‌متر تبخیر نسبت به تیمار ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ۱۲ درصد کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد بیانگر آن بود که بیشترین میزان شاخص برداشت در کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌صورت بذرمال+ آب آبیاری (۳۷/۲۷ درصد)

بدست آمد. کمترین میزان آن در تیمار عدم مصرف باکتری (۳۳/۲۸ درصد) حاصل شد. به‌طوری‌که میزان شاخص برداشت در تیمار کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌صورت بذرمال+ آب آبیاری نسبت به عدم مصرف باکتری ۱۱/۹۹ درصد افزایش یافت (جدول ۵). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد نشان داد که بیشترین میزان شاخص برداشت در تیمار دور آبیاری ۵۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به همراه کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌صورت بذرمال + آب آبیاری (۴۰/۱ درصد) حاصل گردید که میزان شاخص برداشت در این تیمار نسبت به شرایط عدم مصرف باکتری در دور آبیاری ۵۵ میلی‌متر تبخیر ۱۲/۳۹ درصد افزایش یافت (جدول ۶).

این نتایج با نتایج بسیاری از محققان روی گیاهان مختلف مطابقت دارد (پورتقی، ۱۳۸۹؛ صیدی، ۱۳۸۷؛ قهرمانی، ۱۳۸۸). آن‌ها نیز به این نتیجه رسیدند که در اثر تنش و کمبود آب قابل‌دسترس گیاه، مسلماً انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های هوایی کاهش و درنهایت اجزای عملکرد نیز کاهش می‌یابد. در واقع با کاهش این اجزا، میزان شاخص برداشت نیز کاهش خواهد داشت (داوودی فرد و همکاران، ۱۳۸۹). کاهش شاخص برداشت بر اثر تنش خشکی با نتایج تحقیقات شریف روحانی و همکاران (۱۳۹۳) در گیاه موسیر و امیری ده و همکاران (۱۳۹۱) در سه گیاه دارویی شوید، گشنیز و رازیانه مطابقت دارد.

**جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد بر اجزای عملکرد سیاهدانه**

| | | میانگین مربعات | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| منابع تغییرات (S.O.V) | درجه آزادی (df) | ارتفاع بوته | تعداد شاخه فرعی در بوته | تعداد کپسول در بوته | تعداد دانه در کپسول |
| تکرار | ۲ | ۳۶/۵۵ ** | ۲/۳ ns | ۰/۶۳ ns | ۲/۲۷ ns |
| تنش کم‌آبی(D) | ۲ | ۹۷/۲** | ۵/۷۶** | ۹/۶۲** | ۷/۰۳** |
| خطای اصلی | ۴ | ۶/۱۶ | ۰/۶۸ | ۰/۶ | ۳/۹۶ |
| روش‌های مصرف باکتری (B) | ۳ | ۶۰/۱۱ ** | ۸/۶۶ ** | ۵/۴۲ ** | ۲/۴۶ ns |
| D × B | ۶ | ۱۸/۶۸** | ۰/۸۳ns | ۳/۲۵* | ۲/۰۴ns |
| خطای فرعی | ۱۸ | ۴/۹۶ | ۰/۷۴ | ۰/۹۷ | ۰/۸۶ |
| ضریب تغییرات (٪) | - | ۱۴/۲۸ | ۱۸/۲۵ | ۱۹/۶۷ | ۵/۰۶ |

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

**جدول ۳- تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد سیاهدانه**

| | | میانگین مربعات | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| منابع تغییرات (S.O.V) | درجه آزادی (df) | وزن هزار دانه | عملکرد دانه | عملکرد بیولوژیک | شاخص برداشت |
| تکرار | ۲ | ۰/۱۷ * | ۳۸۲/۹۳ ns | ۳۱۵۲/۸۱ ns | ۱/۰۴ ns |
| تنش کم‌آبی (D) | ۲ | ۰/۴۸** | ۴۲۰۸۱/۹۳** | ۲۲۳۹۰۹/۰۵** | ۶۰/۴۶** |
| خطای اصلی | ۴ | ۰/۰۲ | ۲۸۰/۴۷ | ۲۹۴۹/۶۱ | ۷/۴ |
| روش‌های مصرف باکتری (B) | ۳ | ۰/۱ ns | ۶۳۱۱/۴۶ ** | ۲۳۸۵۵/۰۱ ** | ۲۴/۰۱ ** |
| D × B | ۶ | ۰/۰۴ns | ۹۲۷/۷۸** | ۴۲۸۸/۷۲* | ۸/۱۱* |
| خطا فرعی | ۱۸ | ۰/۰۴ | ۱۲۷/۷۱ | ۱۳۶۸/۱۳ | ۲/۸۲ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۱۰/۲۹ | ۶/۵۹ | ۷/۷ | ۴/۷۷ |

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد.

**جدول۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد بر اجزای عملکرد سیاهدانه**

| سطوح تیماری | ارتفاع بوته (سانتی‌متر) | تعداد شاخه فرعی در بوته | تعداد کپسول در بوته | تعداد دانه در کپسول |
|---|---|---|---|---|
| دور آبیاری | | | | |
| ۵۵ میلی‌متر تبخیر | ۱۸/۹۹ a | ۵/۴۴ a | ۵/۹۸ a | ۱۹/۲۳ a |
| ۹۵ میلی‌متر تبخیر | ۱۴/۴۲b | ۴/۶۴ ab | ۴/۸۸b | ۱۷/۹۴ b |
| ۱۳۵ میلی‌متر تبخیر | ۱۳/۵۳ b | ۴/۰۶ b | ۴/۲ b | ۱۷/۸۷ b |
| روش های مصرف باکتری | | | | |
| عدم مصرف | ۱۲/۳۹ c | ۳/۵۷ c | ۳/۸۹ b | ۱۸/۹۶ a |
| بذرمال | ۱۵/۸۳b | ۴/۴۲ b | ۵/۳a | ۱۸/۲۹ a |
| آب آبیاری | ۱۵/۴۷ b | ۴/۹۷ b | ۵/۲۳ a | ۱۸/۹۵ a |
| بذرمال + آب آبیاری | ۱۸/۷۱ a | ۵/۹ a | ۵/۶۶ a | ۱۷/۶۹ a |

در هر ستون و برای هر عامل، حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین تیمارها می‌باشند.

**جدول ۵ - مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد بر وزن هزاردانه، عملکرد وشاخص برداشت سیاهدانه**

| سطوح تیماری | وزن هزار دانه (گرم) | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) | عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) | شاخص برداشت (درصد) |
|---|---|---|---|---|
| تنش خشکی | | | | |
| ۵۵ mm | ۲/۱۸ a | ۲۳۴/۷۹ a | ۶۲۶/۵۸ a | ۳۷/۴۲ a |
| ۹۵ mm | ۱/۹۹۴b | ۱۶۱/۷۷ b | ۴۵۷/۹۵ b | ۳۵/۱۶ ab |
| ۱۳۵ mm | ۱/۷۸ c | ۱۱۷/۵۳ c | ۳۵۶/۱۲ c | ۳۲/۹۳ b |
| روش های مصرف باکتری | | | | |
| عدم مصرف | ۱/۸۶ a | ۱۳۹/۹۶ c | ۴۱۷/۲۳ c | ۳۳/۲۸ c |
| بذرمال | ۲/۰۲a | ۱۶۸/۷۲ b | ۴۷۲/۰۱b | ۳۵/۰۵ b |
| آب آبیاری | ۱/۹۱ a | ۱۷۲/۱ b | ۴۸۹/۵ b | ۳۵/۰۸ b |
| بذرمال + آب آبیاری | ۲/۱ a | ۲۰۴/۶۸ a | ۵۴۲/۱۱ a | ۳۷/۲۷ a |

در هر ستون و برای هر عامل، حروف مشابه نشانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین تیمارها می‌باشند.

**جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی و روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد بر صفات مورد مطالعه سیاهدانه**

| تنش خشکی | روش‌های مصرف باکتری | سطوح تیماری | ارتفاع بوته (سانتی‌متر) | تعداد کپسول در بوته | عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) | عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) | شاخص برداشت (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۵۵ mm | عدم مصرف | | ۱۴cd | ۴/۴cd | ۱۹۴/۲۷cd | ۵۴۵/۶۵bc | ۳۵/۶۸bcd |
| | بذرمال | | ۲۰/۵b | ۶/۴ab | ۲۵۲/۱b | ۶۶۵/۲۲a | ۳۸/۰۶ab |
| | آب آبیاری | | ۱۵/۹c | ۵/۲bcd | ۲۱۲/۸c | ۵۹۶/۷۱b | ۳۵/۸۳bcd |
| | بذرمال + آب آبیاری | | ۲۴/۹a | ۷/۹a | ۲۸۰a | ۶۹۸/۷۲a | ۴۰/۱a |
| ۹۵ mm | عدم مصرف | | ۱۳/۱cd | ۳/۹cd | ۱۳۱/۴h | ۴۲۰/۸e | ۳۱/۱۶e |
| | بذرمال | | ۱۴cd | ۵/۴bc | ۱۵۶/۲fg | ۴۴۳/۷۱de | ۳۵/۲bcd |
| | آب آبیاری | | ۱۵/۸c | ۵/۴bc | ۱۷۰/۵ef | ۴۶۹/۶۷de | ۳۶/۳bc |
| | بذرمال + آب آبیاری | | ۱۴/۸c | ۴/۸bcd | ۱۸۹ef | ۴۹۷/۶۲cd | ۳۸ab |
| ۱۳۵ mm | عدم مصرف | | ۱۰/۱d | ۳/۳d | ۹۴/۲i | ۲۸۵/۲۵f | ۳۳de |
| | بذرمال | | ۱۲/۹cd | ۴/۱cd | ۹۷/۸۷i | ۳۰۷/۱f | ۳۱/۹e |
| | آب آبیاری | | ۱۴/۷c | ۵/۱bcd | ۱۳۳h | ۴۰۲/۱۲e | ۳۳/۱cde |
| | بذرمال + آب آبیاری | | ۱۶/۴c | ۴/۳cd | ۱۴۵/۰۳gh | ۴۳۰ed | ۳۳/۷cde |

مشابه در هر ستون نشانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین تیمارها می‌باشند.

**جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه بر اثر تیمارهای مختلف آزمایشی**

| | ارتفاع بوته | تعداد شاخه فرعی در بوته | تعداد کپسول در بوته | تعداد دانه در کپسول | وزن هزار دانه | عملکرد دانه | عملکرد بیولوژیک | شاخص برداشت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ارتفاع بوته | ۱ | | | | | | | |
| تعداد شاخه فرعی در بوته | ۰/۵۹$^{ns}$ | ۱ | | | | | | |
| تعداد کپسول در بوته | ۰/۹۳$^{**}$ | ۰/۶۶$^{*}$ | ۱ | | | | | |
| تعداد دانه در کپسول | -۰/۴۱$^{ns}$ | -۰/۲$^{ns}$ | -۰/۲۴$^{ns}$ | ۱ | | | | |
| وزن هزار دانه | ۰/۷۹$^{**}$ | ۰/۷۸$^{**}$ | ۰/۸۱$^{**}$ | -۰/۲۷$^{ns}$ | ۱ | | | |
| عملکرد دانه | ۰/۸۸$^{**}$ | ۰/۷۶$^{**}$ | ۰/۸۶$^{**}$ | -۰/۲۵$^{ns}$ | ۰/۹۱$^{**}$ | ۱ | | |
| عملکرد بیولوژیک | ۰/۸۵$^{**}$ | ۰/۷۱$^{**}$ | ۰/۸۳$^{**}$ | -۰/۱۷$^{ns}$ | ۰/۸۷$^{**}$ | ۰/۹۹$^{**}$ | ۱ | |
| شاخص برداشت | ۰/۷۸$^{**}$ | ۰/۷۹$^{**}$ | ۰/۸۲$^{**}$ | -۰/۳۵$^{ns}$ | ۰/۹$^{**}$ | ۰/۹$^{**}$ | ۰/۸۴$^{**}$ | ۱ |

## نتیجه گیری

تمامی صفات مورد مطالعه در این آزمایش تحت تأثیر تنش کم آبی در سطح ۱٪ معنی‌دار شدند. روش‌های مصرف باکتری‌های محرک رشد بر اکثر صفات مورد مطالعه به جز صفات (تعداد دانه در کپسول، وزن هزاردانه) در سطح ۱٪ معنی‌دار گردید. در زمان تنش کم آبی، مصرف باکتری محرک رشد تا حدودی اثرات مخرب این تنش را کاهش می دهد. ارتفاع بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک در زمان تنش کم آبی توأم با باکتری-های محرک رشد دارای تغییر مثبت بودند و در سطح ۱٪ معنی‌دار شدند. همچنین اثرات متقابل تنش خشکی و مصرف باکتری‌های محرک رشد بر روی صفاتی مانند تعداد دانه در کپسول و شاخص برداشت در سطح ۵٪ معنی‌دار شد. بیشترین اثر منفی تنش کم آبی بر روی صفات مورفولوژیکی گیاه مشاهده شد که دلیل این امر اختلال در مکانیسم‌های داخلی و سوخت و ساز گیاه می‌باشد.

## منابع

**احمدیان، ا، و س. نورزاد.** ۱۳۹۳. بررسی تاثیر تنش کم آبی و مراحل برداشت بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum L*) در شرایط تربت حیدریه. بوم شناسی کشاورزی. ۶ (۱): ۱۴۱-۱۳۰.

**امیری ده احمدی، س.ر. پ. رضوانی مقدم، و ح. احیایی.** ۱۳۹۱. تأثیر تنش خشکی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد سه گیاه دارویی شوید (*Anethum graveolens*)، گشنیز (*Coriandrum sativum*) و رازیانه (*Foeniculum vulgare*) در شرایط گلخانه. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۰ (۱): ۱۲۴-۱۱۶.

**پورتقی، ع. ۱۳۸۹.** بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک آفتابگردان به تنش کم آبی. رساله دکتری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات. ۱۹۵ ص.

**جعفرزاده چیمه، ل.، ح. امیدی، و ع.ا. بستانی.** ۱۳۹۲. تاثیر تنش خشکی و کود زیستی بر عملکرد گل، رنگریزه‌های فتوسنتزی و محتوی پرولین گیاه دارویی همیشه بهار

(*Calendula officinalis* L.). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۹(۳) (پیاپی ۶۱): ۶۸۰-۶۶۶.

**جمشیدی، ا.، ا. قلاوند.، ف. سفیدکن، و ا. محمدی گل تپه.** ۱۳۹۱. تاثیر سیستم های مختلف تغذیه بر صفات کمی و کیفی گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare Mill.*) تحت تاثیر تنش کم آبی. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۸(۲) (پیاپی ۵۶): ۳۲۳-۳۰۹.

**حیدری، م. و ح. جهان تیغی.۱۳۹۱.** تاثیر تنش خشکی و مقادیر کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه، درصد اسانس و میزان تیموکینون گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۵ (۱). ۳۵-۲۲.

**درزی، م.ت.، ا. قلاوند، ف. سفیدکن، و ف. رجالی، ۱۳۸۷.** تأثیر کاربرد میکوریزا، ورمی-کمپوست و کود فسفات زیستی بر کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی رازیانه، فصلنامه علمی- پژوهش تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۴(۴): ۳۹۶-۴۱۳.

دوازده امامی، س و ن. مجنون حسینی .۱۳۸۷. زراعت و تولید برخی گیاهان دارویی و ادویه‌ای. انتشارات دانشگاه تهران. ص ۹۸-۹۳.

**داوودی فرد، م.، د. حبیبی، ف. پاکنژاد، ف. فاضلی، و پ. فرهانی پاد. ۱۳۸۹.** بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد و محلول پاشی اسیدهای آمینه و اسید سیلیسیک بر روی فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان تحت شرایط تنش خشکی در گیاه گندم. مجله زراعت و اصلاح نباتات. ۶(۴): ۱۱-۳۶.

**شریف روحانی، م.، م. کافی، و ا. نظامی.۱۳۹۳.** تاثیر رژیم آبیاری و عمق کاشت بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه دارویی و صنعتی موسیر (*Allium altissimum* Regel.) در شرایط آب و هوایی مشهد. بوم شناسی کشاورزی. ۶ (۲): ۲۱۹-۲۲۸.

**صیدی، ف.** ۱۳۸۷. اثر سایکوسل و برخی عناصر ریز مغذی بر مقاومت به خشکی گندم. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک. ۱۷۸ ص.

**عموآقایی، ر. و ا. مستاجران. ۱۳۸۶**، همزیستی (سیستم‌های همیاری گیاه و باکتری)، انتشارات دانشگاه اصفهان. ۱۸۹ ص.

**قهرمانی، ع.** ۱۳۸۸. بررسی محلول پاشی اسیدهای آمینه و اسید سیلیسیک بر رشد و عملکرد آفتابگردان تحت تنش خشکی. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک ۱۸۶ ص.

**محمدی البرزی، م.، ف. صفی خانی، ج. مسعود سینکی، و ب. عباس زاده. ۱۳۹۱.** تأثیر خشکی بر عملکرد و برخی صفات مورفولوژیک گیاه دارویی انیسون (*Pimpinella anisum* L.). اکوفیزیولوژی گیاهی. ۴ (۱۰): ۲۵-۱۴.

**مرادی، م.، ح. مدنی، م.ع. ملبوبی، و ر. پیله وری خمامی. ۱۳۸۸.** مقایسه کارایی فسفر بیولوژیک و شیمیایی در زراعت آفتابگردان روغنی در شرایط آب و هوایی اراک، یافته‌های نوین کشاورزی. ۲: ۷۸-۹۴.

**نوروزپور، ق، و پ. رضوانی مقدم** .۱۳۸۴. اثر دوره‌های مختلف آبیاری و تراکم بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی سیاهدانه ( *Nigella sativa*)، پژوهش‌های زراعی ایران. ۳ (۲): ۳۱۵-۳۰۵.

**Annamali, A., P.T.V. Lakshmi, D. Lalithakumari, and K. Murugesan. 2010.** Optimization of biofertilizers on growth, biomass and seed yield of phyllanthus amarus (Bhumyamalaki) in sandy loam soil. Jornal of Medicinal and Aromatic Plants Sciences. 26(4):86-95.

**Chezhiyan, N., S. Saraswathy, and R. Vasumathi. 2003.** Studies on organic manures, biofertilizers and plant density on growth, yield and alkaloid content of bhumyamalaki (*Phyllanthus amarus* Schum. And Thonn.). South Indian Horticulture. 51: 96-101.

**Defreitas, J. R., M.R. Banerjee, and J. J. Germida. 2007.** Phosphate solobilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not the phosphorus uptake of canola. Biol Fert Soil. 24:358- 364.

**Hay, R.K.M. and R.A. Gilbert. 2001.** Variation in the harvest index of tropical maize: evaluation of recent evidence from Mexico to Malawi. Annals of Applied Biology. 138: 103 – 109.

**Koc, E., C. İslek, and A.S. Üstun. 2010.** Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. Gazi University J. Sci. 23: 1-6.

**Kramer, P. J. 2003**. Plant and soil water relationship: Amodern synthesis. Mc Grew Hill, Inc., New York.

borage plants (*Borago officinalis* L.). Egyptian Journal of Agricultural Research. 83(1): 271-284.

**Sturz, A.V. and B.R. Christie. 2003.** Beneficial microbial alleloplathies in the root zone: the management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. *Soil and Tillage Research*. 72:197-123.

**Vessey, J. K. 2003**. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil.
255: 571-586.

**Zahira, A.Z., M. Arshad, and W.F. Frankenberger. 2004** plant growth rhizobacteria: Application and perspective. Advances in Agronomy. 81:97-168.

**Levitt, J. 2007.** Stress terminology. In: N. C. Tuner and Kramer P. J. (eds), Adaptation of plants to water and high tempreture stress. Willey, New York. PP 437-439.

**Liu, H., Y. Wang and J. Guo. 1989.** Mechanism of low temperature effect on injury of cell membratie system plant. Acta Bot. Aus Scientia. 5: 31-38.

**Ridvan, K. 2008.** Yield response and nitrogen concentration of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococum* strains. *Ecological Engineerng*. 33: 150-156.

**Shaalan, M.N. 2010a**. Effect of compost and different sources of biofertilizers, on

# Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPRs) on yield and yield components of Black cumin under drought stress conditions in Shahr-e-Rey region

M.A. Akbari[1], A.R Pazoki[2*]

1. M.Sc. Graduate, Department of Agronomy, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahre-rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Associate professor, Department of Agronomy, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahre-rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract

In order to study the effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of Black cumin (*Nigella sativa* L.) under drought stress conditions in Shahr-e-Rey region, an experiment was done as split plot based on completely randomized block design with three replications in research farm of Islamic Azad University Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahre-rey Branch during 2015. In this experiment, irrigation as a major factor in three levels (55, 95, 135 mm evaporation from class A evaporation pan ) and methods of PGPRs application as a sub in four levels (seed inoculation, using in irrigation water, seed inoculation + using in irrigation water) were considered. The results showed that drought stress had significant effect on all traits at %1 level of probability, so that the highest plant height (99/18 cm), number of branches per plant (4.5), capsules number per plant (6), number of seeds per capsule (2.19), 1000 grain weight (18.2 g), grain yield (234.79 kg/ha), biological yield (626.58 kg/ha), harvest index (%42.37) were conducted in irrigation at 55 mm evaporation from class A evaporation pan. The use of PGPRs on plant height, number of branches per plant, number of capsules per plant, grain yield, biological yield and harvest index were significant at 1% level of probability. The highest amounts of traits were observed in seed inoculation + using in irrigation water. So it can be stated that the PGPRs application can reduce destructive effects of drought in black cumin. The seed inoculation + using in irrigation water were the best recommended treatment in water deficit stress conditions.

**Key words**: Medicinal plants, Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPRs), Stress, Yield

* Corresponding author (alireza.pazoki@ut.ac.ir)