"نشریه علوم و فناوری بذر ایران"
جلد نهم، شماره ٤، زمستان ۱۳۹۹
(ص ۲٦-۱۱)
مقاله پژوهشی

Iranian Journal of
Seed Science and Technology
Vol.: 9, No.: 4, Winter 2021
(pp: 11-26)
DOI: 10.22034/ijsst.2019.109182.1054
Research Article

تأثیر پیش‌تیمارهای زیستی بذر بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه زیره‌ی سبز (*Cuminum cyminum* L.) تحت تنش خشکی

رامین پیری[۱]، علی مرادی[۲*]، امین صالحی[۲]، حمیدرضا بلوچی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر
۲. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه یاسوج
۳. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه یاسوج
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۱۳)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تلقیح زیستی بذر بر برخی شاخص‌های جوانه‌زنی زیره‌ی سبز تحت تنش خشکی آزمایشی دو عاملی انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل پرایمینگ در ۹ سطح (۴ سویه باکتری *سودوموناس فلورسنس* (PF1، PF2، CHA0 و PF75)، ۴ سویه قارچ *تریکودرما هارزیانوم* (T29، T36 ، T39 و T40) و پرایم نشده) و تنش خشکی در سه سطح (صفر، ۳- و ۶- بار) بود. نتایج نشان داد که با افزایش پتانسیل اسمزی، شاخص‌های جوانه‌زنی بذر کاهش یافت. در هر سه سطح پتانسیل اسمزی، بذور تلقیح شده نسبت به بذور تلقیح نشده درصد جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه بالاتری داشتند. در سطح تنش۳- بار، بیشترین جوانه‌زنی (۸۶/۶۶ درصد) و شاخص وزنی بنیه گیاهچه (۱۱/۹۳) از تیمار T36 به‌دست آمد، این تیمار توانست جوانه‌زنی را بیش از ۳۵ درصد نسبت به بذر تلقیح نشده افزایش دهد. در تنش ۶- بار، بیشترین جوانه‌زنی (۷۶/۶۸ درصد) مربوط به تیمار T29 بود که تفاوت معنی‌داری با T36 (۷۵/۸۳ درصد) و T39 (۷۵/۸۳ درصد) نشان نداد و کمترین درصد جوانه‌زنی (۵۵ درصد) از تیمار پرایم نشده بدست آمد. در هر سه سطح تنش بیشترین شاخص طولی بنیه گیاهچه از بذرهای تلقیح شده با CHA0 به دست آمد. همچنین در سطوح تنش صفر و ۳- بار، بیشترین شاخص وزنی بنیه گیاهچه مربوط به قارچ T36 (۱۳/۰۸ و ۱۱/۹۳ به ترتیب در سطوح صفر و ۳- بار) و کمترین شاخص وزنی بنیه در هر سه سطح تنش از تیمار تلقیح نشده بدست آمد. با توجه به نتایج بدست آمده تیمار T36 مناسبترین سویه برای بهبود و کنترل اثرات تنش خشکی در زیره‌ی سبز بود.

کلمات کلیدی: پتانسیل اسمزی، پرایمینگ، شاخص‌های جوانه‌زنی، گیاه دارویی

Effect of seed biological pretreatments on germination and seedling growth of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress

R. Piri [1], A. Moradi[*2], A. Salehi[2], H.R. Balouchi[3]

1. MSc Student of Seed Science and Technology Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University, Yasouj-Iran.
2. Assistant professor Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University, Yasouj-Iran.
3. Associate Professor Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University, Yasouj-Iran.
(Received: Jan. 16, 2019 – Accepted: Nov. 04, 2019)

Abstract

In order to investigate the effect of seed bio-inoculation on some germination indices of Cumin under drought stress a two factors experiment was laid out. Experimental factors included priming in nine levels (bio- inoculation with 4 strains of PF1, PF2, PF75 and CHA0 of *Pseudomonas fluorescent*, and 4 strains T29, T36, T39 and T40 of *Trichoderma harzianum* and non-primed (control)) and three levels of drought stress (0, -3 and -6 bar imposed by PEG 6000). Results showed that by increasing the osmotic potential levels germination indices decreased. At all levels of stress, inoculated seeds had higher germination percentage and root length than non-inoculated seeds. In under stress level of -3 bar, highest germination percentage (86.66%) and seedling weight vigor index (11.93) was obtained from T36 strain that; this treatment was able increase germination by more than 35% than non-inoculated seed. Under -6 bar, the highest (76.68%) and lowest (55%) germination percentage was related to T29 that has no significant difference with T36 (75.83%) and T39 (75.83%) and the lowest amount was related to non-primed treatment (55%). Also at all stress level, the highest length seedling vigor index was related to CHA0 strain. The highest weight seedling vigor index was related to T36 strain (6.4, 5.49 and 4.7 respectively in 0, -3 and -6 abr) and the lowest (4.89) was related to non-inoculated (control) seeds. According to the results, T36 can be suggested as a suitable pretreatment in moderation of the negative effects of osmotic potential on germination of cumin seeds.

Key words: Osmotic potential, Priming, Germination indices, Medicinal plant

[*] Email: amoradi@yu.ac.ir

مقدمه

گیاهان دارویی از منابع ارزشمند در گستره وسیعی از منابع طبیعی ایران هستند که شناخت کشت و پرورش آن‌ها می‌تواند نقش مهمی در تأمین سلامت جامعه داشته باشد، این در حالی است که گسترش بیماری‌های نوین از یک طرف و گرایش روزافزون به طب سنتی گیاهی توسعه کشت گیاهان دارویی را توجیه‌پذیر می‌کند (Mousavi *et al.*, 2012). زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) از مهم‌ترین گیاهان صادراتی کشورهایی نظیر ایران، هند و دیگر کشورهای آسیایی می‌باشد و از نظر ارزش مالی پس از زعفران دومین گیاه صادراتی ایران است و هر ساله بر اهمیت و سطح زیر کشت آن افزوده می‌شود (Kafi, 2002). در میان مراحل رشد گیاه، جوانه‌زنی بذر و سبز شدن گیاهچه و استقرار آن از فرآیندهای کلیدی در بقا و رشدگیاه می‌باشد (Khodarahmpour, 2011). بروز تنش‌های محیطی مانند تنش خشکی در طی مرحله جوانه‌زنی می‌تواند از طریق محدود کردن جذب آب توسط بذر، تأثیر بر فراهمی مواد ذخیره‌ای بذر و یا با ایجاد اختلال در نقش ترکیبات ساختاری و تولید پروتئین‌ها در جنین در حال رشد، فرایند جوانه‌زنی را مختل می‌کنند (Voigt *et al.*, 2009). گزارش شده است که با افزایش پتانسیل اسمزی شاخص‌های جوانه‌زنی وگیاهچه‌ای مثل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه زیره‌ی سبز کاهش می‌یابند (Sohrabiani, 2016).

یکی از روش‌های تقویت کننده بذر، پیش تیمار زیستی (تلقیح زیستی بذر) می‌باشد. در این میان استفاده از ریزجانداران مفید مانند قارچ‌های گونه *Trichoderma harzianum* و باکتری‌های محرک رشد گیاهی گونه *Pseudomonas fluorescens* برای پرایمینگ بذر (پیش‌تیمار زیستی)، به‌جای تیمار شیمیایی بذر، می‌توانند سازگاری و پایداری گیاهان را افزایش دهند (Bennett and Whipps, 2008). این نوع تیمارها در حال جایگزینی تدریجی با تیمارهای شیمیایی می‌باشند (Bashan *et al.*, 2004). گزارش شده است که بذور گوجه‌فرنگی که با *T. harzianum* تیمارشده بودند، مقاومت بیشتری در شرایط خشکی را نشان دادند و میزان جوانه‌زنی بالاتری در پتانسیل اسمزی ۰/۳ مگاپاسکال داشتند (Harman and Shoresh, 2007). در پژوهشی بخیت و مرادی (Bakhit and Moradi, 2017) گزارش دادند که سویه‌های مختلف باکتری *سودوموناس فلورسنس* (PF1، PF2، CHA0 و PF75) و قارچ *تریکودرما هارزیانوم* (T29، T36، T39 و T40) باعث افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای بذر کتان شد. در یک مطالعه توسط وینال و همکاران (Vinale *et al.*, 2004) تلقیح بذور کاهو، گوجه‌فرنگی و فلفل با قارچ‌های *T. harzianum* و *T. atroviride* باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در رشد این گیاهان شد. ماستوری و همکاران (Mastouri *et al.*, 2010) گزارش نمودند که در اثر تلقیح بذور گوجه‌فرنگی با قارچ تریکودرما، جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای در شرایط تنش خشکی افزایش یافت. طی یک بررسی سهرابی و فاتح (Sohrabi and Fateh, 2013) اظهارداشتند بذور گندم تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد، مقاومت بهتری نسبت به سطوح بالای تنش خشکی داشتند.

از آنجایی که گزارش شده است تیمارهای باکتریایی و قارچی باعث بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی گیاهان در شرایط تنش می‌شود، بنابراین ضرورت دارد که با استفاده از یک روش آزمایشگاهی تحت شرایط کنترل شده امکان ارزیابی سریع و نسبتاً دقیق، عکس‌العمل گیاه دارویی زیره‌ی سبز به تیمارهای تلقیح زیستی در شرایط تنش خشکی مورد بررسی قرار گیرد. در همین راستا، آزمایشی به‌منظور بررسی تأثیر پیش‌تیمار زیستی بذر بر برخی شاخص‌های جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای زیره‌ی سبز (*Cuminum cyminum* L.) تحت تنش خشکی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر تلقیح زیستی بر شاخص‌های جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای بذر زیره‌ی سبز (توده تولیدی از سبزوار) تحت تنش خشکی آزمایشی در سال ۱۳۹۴در آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج به صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل پیش تیمار بذر در۹ سطح [تلقیح زیستی با ۴ سویه باکتری *سودوموناس فلورسنس* (PF1، PF2، CHA0 و PF75)، ۴ سویه قارچ *تریکودرما هارزیانوم* (T29، T36 T39 و T40) و پرایم نشده)] و تنش خشکی در سه سطح (صفر، ۳- و ۶- بار) بود. جهت اعمال پتانسیل‌های اسمزی تنش خشکی از پلی اتیلن گلایکول۶۰۰۰ با کمک روش میشل و کافمن (Michel and Kaufmann, 1973) استفاده شد. تمام باکتری‌ها و قارچ‌ها از کلکسیون قارچ و باکتری‌های آزمایشگاه گیاهپزشکی دانشگاه یاسوج تهیه شدند و در همان آزمایشگاه تکثیر شدند. این جدایه ها قبلاً در آزمایشات دیگری مورد استفاده تأثیر مثبت آنها در کنترل بیماری (Naghed *et al*., 2016) و بهبود جوانه زنی بذر مورد تأیید قرار گرفته است (Bakhit and Moradi, 2017)؛ منشأ جدایه‌ها در جدول ۱ ذکر شده است.

به‌منظور انجام آزمایش، ابتدا بذور به مدت ۳۰ ثانیه با هیپوکلریت سدیم ۲ درصد ضدعفونی شده و سپس بذور استریل‌شده در دمای اتاق (۲۵-۲۰ درجه سانتی گراد)، به مدت ۲ ساعت در در آب مقطر (برای تیمار شاهد) یا سوسپانسیون باکتریایی یا قارچی (برای تیمارهای تلقیحی) فروبرده شدند. به منظور تهیه جمعیت قارچ مورد نیاز از محیط کشت PDA (Potato Dextrose Agar) در داخل پتری دیش تهیه گردید، سپس با استفاده از لوپ (لوله آزمایشگاهی) پرگنه‌های سویه‌های قارچ به‌صورت زیگزاگی برروی محیط کشت PDA کشت داده و درون انکوباتور (مدل Parsian TEB) در دمای ۲۷ درجه سانتیگراد قرار داده شدند. پس از رشد قارچ‌ها و اسپوردهی فراوان به مدت ۱۰ روز، اسپورها همراه محیط کشت داخل ارلن سترون ریخته شدند. سوسپانسیون قارچ‌ها با استفاده از لام هموسیتومتر (شمارش اسپورها) با غلظت مضربی 10^7 در آب مقطر سترون تهیه شد (Harman *et al*., 2008).

آزمایش جدول ۱- مشخصات سویه‌های قارچی و باکتریایی مورد استفاده در

Table1- Characteristics of fungal and bacterial strains used in the experiment

تیمارهای زیستی Biological treatments		محل نمونه‌برداری Sampling location
قارچ *تریکودرما هارزیانوم* *Trichoderma Harzianum* Fungi	T29	مازندران- لالیم Mazandaran - Lalim
	T36	گرگان- نصرآباد Gorgan- Nasrabad
	T39	مازندران- گلیداغ Mazandaran- Glidagh
	T40	مازندران- جویبار Mazandaran- Joybar
باکتری *سودوموناس فلورسنس* *Pseudomonas Fluorescens* Bactria	P.F 1	دانشگاه تربیت مدرس Trabiat Modares University
	P.F 2	دانشگاه تربیت مدرس Trabiat Modares University
	CHA0	دانشگاه شیراز Shiraz university
	P.F 75	محمدآباد- کهگیلویه و بویراحمد Mohammadabad- Kohgiluyeh and Boyerahmad

برای تکثیر باکتری، جدایه‌های باکتری را با لوله آزمایشگاهی(لوپ) روی محیط کشت NA به شکل زیگزاکی کشت کرده و پس از رشد باکتری به مدت ۴۸-۲۴ ساعت درون انکوباتور با دمای ۲۸ درجه سانتیگراد، سوسپانسیون باکتریایی با تراکم مایه تلقیح 10^8 واحد تشکیل‌دهنده کلونی بر میلی‌لیتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل UV/VIS Shimaozo 54a)، میزان جذب آن در طول موج ۶۰۰ نانومتر روی ۰/۵ تنظیم (معادل تقریبی 10^8واحد تشکیل‌دهنده کلونی بر میلی‌لیتر) و تهیه شد (Burd *et al.*, 1998). پس از بدست آوردن غلظت‌های تعیین شده باکتری و قارچ، و تهیه سوسپانسیون آنها (از هر باکتری و یا قارچ میزان ۲۰ میلی‌لیترسوسپانسیون جهت تلقیح با بذور تهیه گردید) ، بذور به مدت ۲ ساعت در تیمارهای تلقیحی قرار داده شدند. به منظور چسبیدن سوسپانسیون به بذور از صمغ عربی ۰/۱ درصد استفاده شد.

پس از انجام تلقیح، بذور در داخل پتری دیش کشت شدند. پس از انجام عمل تلقیح با سوسپانسیون‌های قارچی یا باکتریایی، بذور درون پتری‌دیش‌های یک‌بار مصرف به روش روی کاغذ (TP) کشت شدند و به هر پتری‌دیش متناسب با سطح تنش، آب مقطر (تنش صفر بار) و یا محلول‌های با پتانسیل اسمزی پلی اتیلن گلایکول اضافه شد.

رابطه۱

$$\Psi_S = -(1.8\times10^{-2})\,C - (1.8\times10^{-4})\,C^2 + (2.67\times10^{-4})\,CT + (8.39\times10^{-7})\,C^2$$

در این فرمول Ψ_S میزان فشار اسمزی بر حسب مگاپاسکال، C میزان مصرف PEG بر حسب گرم بر کیلوگرم آب و T دمای محیط جوانه زنی بر حسب درجه سلسیوس است.

پس از اضافه نمودن محلول‌های اسمزی، پتری‌دیش‌ها مطابق دستورالعمل ایستا (ISTA, 2010) به مدت ۱۴ روز درون ژرمیناتور با دمای متناوب ۳۰-۲۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و شاخص‌های مرتبط با جوانه‌زنی محاسبه شدند.

رابطه ۲: درصد جوانه‌زنی (Ikic *et el.*, 2012)

$$\text{درصد جوانه‌زنی} = \frac{\text{تعداد بذرهای جوانه زده}}{\text{تعداد کل بذرها}} \times ۱۰۰$$

رابطه ۳: سرعت جوانه‌زنی (Verma *et al.*, 2005)

$$GR=\Sigma\frac{Ni}{Ti}$$

Ni: تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز، Ti: روز از زمان شروع آزمایش

رابطه ۴: متوسط زمان جوانه‌زنی (MGT) (Ellis and Roberts, 1981)

$$MGT=\frac{\Sigma(NiTi)}{N}$$

N: تعداد کل بذرهای جوانه‌زده

رابطه ۵: ضریب سرعت جوانه‌زنی(CVG) (Maguire, 1962)

$$CVG = \frac{G_1+G_2+G_3+\ldots+G_n}{(1\times G_1)+(2\times G_2)+(3\times G_3)+\ldots+(n\times G_n)}$$

G_1-G_n = تعداد بذور جوانه‌زده از روز اول تا روز آخر

رابطه ۶: شاخص بنیه طولی گیاهچه (ISTA, 2010)

شاخص طولی بنیه گیاهچه = ۱۰۰/ (طول گیاهچه (سانتی‌متر) × جوانه‌زنی استاندارد)

رابطه ۷: شاخص بنیه وزنی گیاهچه (ISTA, 2010)

شاخص وزنی بنیه گیاهچه = ۱۰۰/ (وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم) × جوانه‌زنی استاندارد)

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (ویرایش ۹/۱) انجام شد، با معنی‌دار شدن برهمکنش تیمارهای تلقیح در سطوح مختلف تنش خشکی، مقایسه میانگین برش‌دهی با استفاده از رویه L.S.Means انجام و مقایسه میانگین‌اثرات ساده نیز با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد برهمکنش تلقیح زیستی و تنش خشکی برای شاخص‌های جوانه‌زنی شامل درصد جوانه‌زنی و شاخص وزنی بنیه گیاهچه در سطح احتمال ۵ درصد و برای صفات سرعت جوانه‌زنی، متوسط مدت زمان جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، ضریب آلومتریک (نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه) و شاخص طولی بنیه گیاهچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند (جدول ۲). باتوجه به معنی دار شدن برهمکنش برای برخی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر زیره سبز، تجزیه واریانس برش‌دهی انجام شد. نتایج تجزیه واریانس برش‌دهی نشان داد که اثر تلقیح زیستی در همه سطوح تنش خشکی برای صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، متوسط مدت زمان جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، ضریب آلومتریک، شاخص طولی بنیه گیاهچه و شاخص وزنی بنیه گیاهچه معنی‌دار شد (جدول۳).

درصد جوانه‌زنی

نتایج مقایسه میانگین برش‌دهی برهمکنش تلقیح زیستی و تنش خشکی بر درصد جوانه زنی بذور زیره‌ی سبز نشان داد که در صفر بار، بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۱/۶۶ درصد) مربوط به قارچ T36 بود که با باکتری CHA0 و قارچ T39 اختلاف معنی‌داری نداشت. در سایر سطوح تنش خشکی نیز تیمارهای تلقیح بذور درصد جوانه‌زنی بیشتری نسبت به تیمار پرایم نشده داشتند. مشابه آنچه که در صفر بار مشاهده شد در سطح ۳- بار نیز بیشترین جوانه‌زنی (۸۶/۶۶ درصد) مربوط به قارچ T36 بود که حدود ۲۰ درصد جوانه‌زنی بیشتری نسبت به بذر تلقیح نشده نشان داد. این در حالی است که در سطح تنش ۶- بار، بیشترین درصد جوانه‌زنی (۷۶/۶۸ درصد) متعلق به قارچ T29 بود که با تیمارهای T36 و T39 اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تلقیح زیستی و پتانسیل اسمزی برای برخی شاخص‌های جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای بذر زیره‌ی سبز

Table 2- Analysis of variance of the effect of seed bio- inoculation and drought stress for some germination and seedling growth indices of cumin seed

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	متوسط مدت زمان جوانه‌زنی Mean germination time	طول ریشه‌چه Root length	طول ساقه‌چه Shoot length	ضریب آلومتریک Allometric coefficient	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling length vigor index	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling weight vigor index
تلقیح زیستی Bio-inoculation (A)	8	439.14**	0.82**	1.66**	2.07**	5.32**	0.743**	30.21**	6.09**	40.10**
پتانسیل اسمزی Osmotic potential(B)	2	2256.89**	4.62**	0.13ns	1.73**	5.66**	1.058*	9.89**	34.03**	69.19**
A*B	16	13.25*	0.15**	1.02**	0.13**	0.21**	0.035**	0.08ns	0.27**	0.25*
خطای آزمایش Error	81	7.03	0.06	0.39	0.03	0.06	0.015	0.05	0.05	0.12
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)	-	3.37	8.46	6.90	7.19	7.44	16.00	1.93	5.03	3.61

** ، *و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌داری است.

**, * and ns are significant at 1 and 5 percent probability levels and non-significant, respectively.

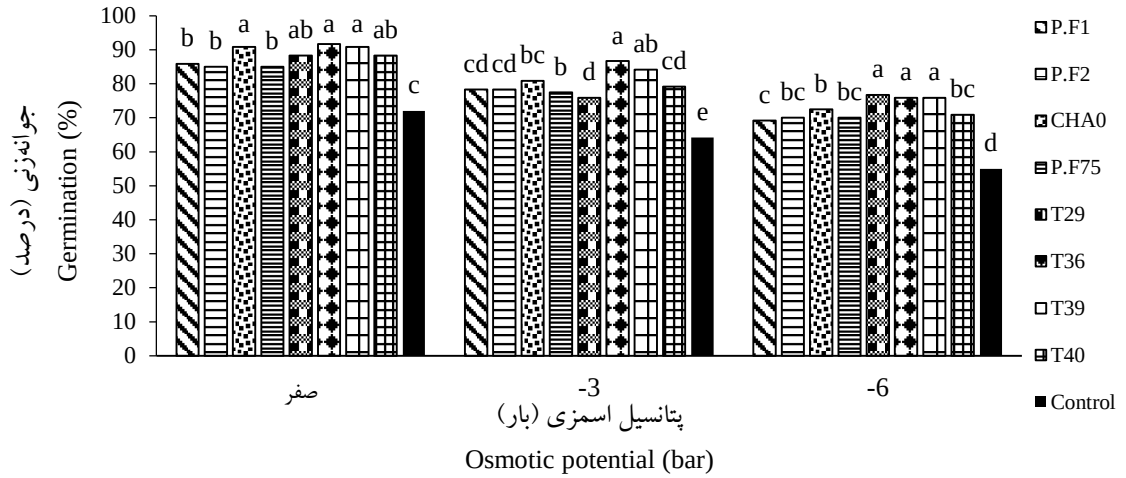
جدول ۳- تجزیه واریانس برش‌دهی اثر تلقیح زیستی برای برخی صفات جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای اندازه‌گیری شده زیره‌ی سبز در سطوح مختلف پتانسیل اسمزی

Table 3- Slicing analysis of variance of the effect of bio- inoculation for some germination and seedling growth characteristics of cumin seed under different levels of osmotic potential

سطوح پتانسیل اسمزی تنش خشکی (بار) Osmotic potential (bar)	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	متوسط مدت زمان جوانه‌زنی Mean germination time	طول ریشه‌چه Root Length	طول ساقه‌چه Shoot length	ضریب آلومتریک Allometric coefficient	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling length vigor index	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling weight vigor index
0	8	135.95**	0.432**	1.22**	0.965**	0.806**	0.128**	2.02**	14.59**
-3	8	159.02**	0.283**	0.727*	0.736**	1.87**	0.240**	2.51**	13.47**
-6	8	170.67**	0.426**	1.72**	0.322**	2.45**	0.243**	2.10**	12.55**

** significant at 1 percent probability level

**معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد



شکل۱- مقایسه میانگین برش دهی اثر تیمارهای تلقیح زیستی برای صفت درصد جوانه‌زنی زیره‌ی سبز در سطوح مختلف تنش خشکی.

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده‌ی عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

P.F1، P.F2، CHA0 و P.F75 سویه‌های باکتری *سودوموناس فلورسنس* و T29، T36، T39 و T40 سویه‌های قارچ *تریکودرما هارزیانوم* هستند.

Figure1- Slicing mean comparison of the effect of seed bio- inoculation treatments for germination percentage of cumin at different levels of drought stress.

In each column, at least one same letter representing no significant difference at 5% statistical level based on LSD test. PF1, PF2, PF75 and CHA0 are strains of *Pseudomonas fluorescent* and T29, T36, T39 and T40 are strains of *Trichoderma harzianum*.

مشابه با آنچه که در آزمایش حاضر مشاهده شد گزارش شده است که تلقیح با قارچ *تریکودرما هارزیانوم* باعث افزایش درصد جوانه‌زنی بذرهای تیمار شده نخود نسبت به بذور تیمار نشده شد (Ghorbani *et al*, 2011). در مطالعه‌ای که توسط مدینا و همکاران (Medina *et al*., 2014) انجام شد، افزایش سطح ایندول استیک اسید توسط قارچ‌های تریکودرما را در افزایش و تسریع در رشد گیاهان گزارش دادند.

سرعت جوانه‌زنی

نتایج مقایسه میانگین سرعت جوانه‌زنی حاکی از آن بود که در سطح تنش خشکی صفر بار، بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۳/۸۴ بذر در روز) مربوط به باکتری P.F1 بود. این در حالی است که در تنش ۳- بار، قارچ T29 بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۳/۱۹ بذر در روز) را داشت که با قارچ‌های T36 و T40 و باکتری‌های P.F1 و P.F75 اختلاف معنی‌داری نداشت، میزان افزایش سرعت جوانه‌زنی در این تیمار ۲۵ درصد بیشتر از تیمار تلقیح نشده بود. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی (r=۰/۷۳۳**) مشاهده شد (جدول ۵). طبق گزارش دی و کار(De and Kar, 2004) اگر به‌واسطه خشکی جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردد و یا جذب به‌آرامی صورت گیرد، فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به‌کندی انجام خواهند شد و در نتیجه مدت زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر افزایش یافته و سرعت جوانه‌زنی بذر و به تبع آن درصد نهایی جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. در یک بررسی گلپایگانی و همکاران (Golpayeghani *et al*. 2010) اظهار داشتند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد *سودوموناس فلورسنس* و *پوتیدا* در گیاهان دارویی گل ختمی و خردل، سرعت جوانه‌زنی بذور را نسبت به شاهد افزایش داد.

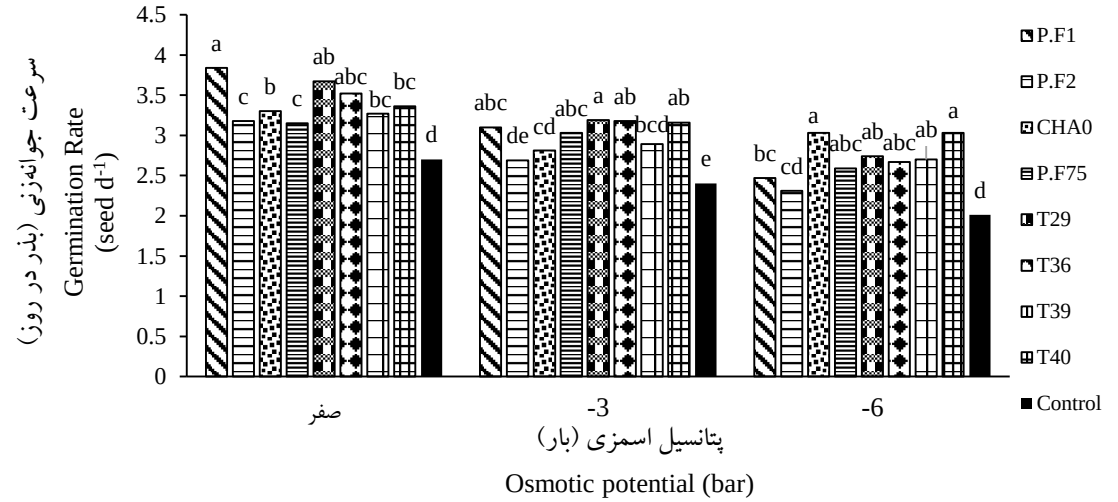
علت تسریع در جوانه‌زنی بذور تیمار شده می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده مثل آلفاآمیلاز، افزایش سطح شارژ انرژی زیستی در قالب افزایش مقدار ATP، افزایش سنتز RNA و DNA، افزایش تعداد و در عین حال ارتقای عملکرد میتوکندری‌ها باشد (Afzal *et al*., 2002).

متوسط زمان جوانه‌زنی

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها برش‌دهی داده‌ها، در سطح صفر بار، بیشترین متوسط زمان جوانه‌زنی از تیمار پرایم نشده (۹/۵۳ روز) بدست آمد و بذور تلقیح شده با P.F2 توانستند به طور تقریبی دو روز زودتر جوانه بزنند (۷/۸ روز) که با قارچ T29 اختلاف معنی‌داری نداشت. در تنش ۳- بار، کمترین متوسط زمان جوانه‌زنی (به‌ترتیب ۸/۵ روز) مربوط به قارچ T29 بود که با باکتری‌های P.F75، P.F1 و قارچ T40 اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین در تنش ۶- بار، کمترین متوسط زمان جوانه‌زنی (۸/۲۲ روز) مربوط به باکتری‌های CHA0 بود که با قارچ T40 و باکتری P.F75 اختلاف معنی‌داری نداشت و تیمار پرایم نشده بیشترین متوسط زمان جوانه‌زنی (۱۰/۰۳ روز) را به خود اختصاص داد که با باکتری‌های P.F2، P.F1، P.F75 و قارچ‌های T29، T36، T39 و T40 اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل۳). متوسط مدت زمان جوانه‌زنی همبستگی منفی و معنی‌داری با سرعت جوانه‌زنی (r=-۰/۵۱۴**) داشت (جدول ۵). بدین صورت که هرچه متوسط مدت زمان جوانه‌زنی برای بذر بیشتر باشد، بذور در مدت زمان بیشتری آب جذب کرده و سرعت جوانه‌زنی کمتری خواهند داشت. احتمالاً کاهش جذب آب توسط بذر تحت شرایط خشکی باعث کاهش ترشح هورمون جیبرلین و آنزیم‌ها از جمله آلفا آمیلاز و در نتیجه اختلال در رشد گیاهچه می‌گردد. به نظر می‌رسد دلیل کاهش متوسط زمان جوانه‌زنی توسط تیمارهای باکتریایی تولید هورمون جیبرلین و فعال کننده آنزیم آلفا آمیلاز در تجزیه مواد آندوسپرمی برای جنین، افزایش جذب آب و تسریع در فرایند آبنوشی بذر و در نتیجه به دنبال آن افزایش سرعت جوانه‌زنی بذر باشد (Mirshekari and Baser, 2009).

طول ریشه‌چه

مشاهدات حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها (جدول۴) نشان داد که در سطح صفر بار، بیشترین طول ریشه‌چه (۳/۴۵ سانتی‌متر) به سویه قارچ T36 اختصاص داشت، این تیمار توانست ۱/۶۳ سانتی‌متر طول ریشه‌چه را نسبت به تیمار پرایم نشده افزایش دهد. در این شرایط تلقیح بذر با سویه‌های باکتری سودوموناس از نظر طول ریشه‌چه اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند و به طور میانگین ۵ تا ۱ سانتی‌متر ریشه‌چه کوتاهتری نسبت به بذور تلقیح شده با تریکودرما داشتند.



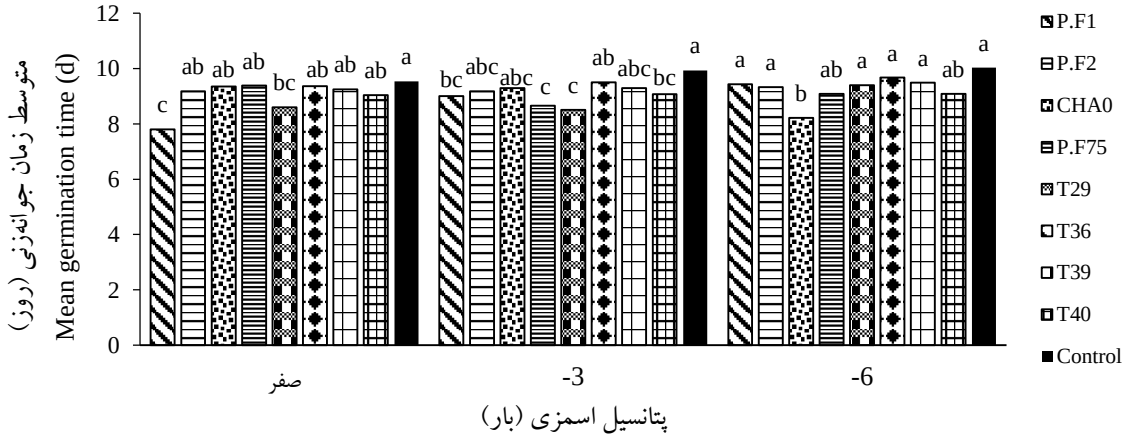
شکل ۲- مقایسه میانگین برش‌دهی اثر تیمارهای تلقیح زیستی برای صفت سرعت جوانه‌زنی زیره‌ی سبز در سطوح مختلف تنش خشکی.

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده‌ی عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد..

P.F1، P.F2، CHA0 و P.F75 سویه‌های باکتری *سودوموناس فلورسنس* و T29، T36، T39 و T40 سویه‌های قارچ *تریکودرما هارزیانوم* هستند.

Figure 2- Slicing mean comparison the effect of the bio- inoculation treatments for germination rate trait of cumin seed in different levels of drought stress.

There is at least one common letter in each column represents the lack of a statistically significant difference (LSD) test is based on the level of 5%. Strains of PF1, PF2, PF75 and CHA0 of *Pseudomonas fluorescent*, T29, T36, T39 and T40 of *Trichoderma harzianum.*



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای تلقیح زیستی برای صفت متوسط زمان جوانه‌زنی زیره‌ی سبز در سطوح مختلف تنش خشکی.

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده‌ی عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

P.F1، P.F2، CHA0 و P.F75 سویه‌های باکتری *سودوموناس فلورسنس* و T29، T36، T39 و T40 سویه‌های قارچ *تریکودرما هارزیانوم* هستند.

Figure3- Slicing mean comparison of the effect of the bio- inoculation treatments for mean germination time trait of cumin seed in different levels of drought stress.

There is at least one common letter in each column represents the lack of a statistically significant difference (LSD) test is based on the level of 5%. Strains of PF1, PF2, PF75 and CHA0 of *Pseudomonas fluorescent*, T29, T36, T39 and T40 of *Trichoderma harzianum*

جدول۴- مقایسه میانگین برش‌دهی اثر تیمارهای تلقیح زیستی بر برخی صفات جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای زیره‌ی سبز در سطوح مختلف تنش خشکی.

Table 4- Slicing mean comparison of the effect of the bio- inoculation treatments on some seed germination and seedling indices of cumin seed in different levels of drought stress.

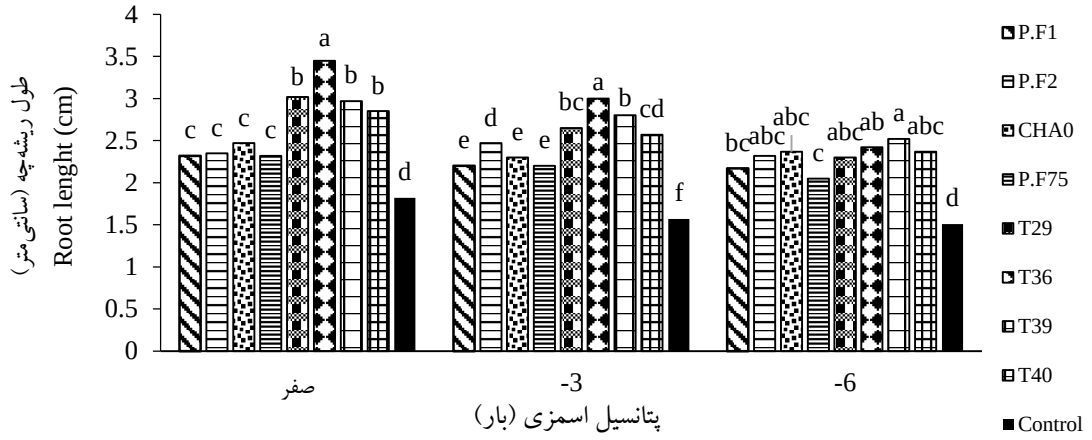
پتانسیل اسمزی (بار) Osmotic potential (bar)	سطوح تلقیح زیستی Priming levels	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Shoot length (Cm)	ضریب آلومتریک Allometric coefficient	شاخص طولی بنیه گیاهچه seedling length vigor index	شاخص وزنی بنیه گیاهچه seedling weight vigor index
0	P.F1	4.2^{bc}	0.55^{d}	5.6^{b}	9.61^{d}
	P.F2	4.4^{ab}	0.53^{d}	5.73^{b}	11.67^{c}
	CHA0	4.57^{a}	0.54^{d}	6.4^{a}	12.9^{a}
	P.F75	4.15^{c}	0.56^{d}	5.5^{b}	9.63^{d}
	T29	3.5^{e}	0.86^{b}	5.76^{b}	12.18^{bc}
	T36	3.47^{e}	0.99^{a}	6.35^{a}	13.08^{a}
	T39	3.8^{d}	0.82^{bc}	6.15^{a}	12.71^{ab}
	T40	3.47^{e}	0.78^{c}	5.56^{b}	12.01^{c}
	Control	3.45^{e}	0.53^{d}	4^{c}	7.5^{e}
-3	P.F1	4^{a}	0.55^{c}	4.85^{b}	8.26^{d}
	P.F2	4.32^{a}	0.55^{c}	5.07^{b}	10.2^{c}
	CHA0	4.17^{a}	0.54^{c}	5.49^{a}	11.13^{b}
	P.F75	3.95^{a}	0.55^{c}	4.76^{b}	8.55^{d}
	T29	2.82^{bc}	1.01^{ab}	4.26^{c}	10.27^{c}
	T36	2.82^{bc}	1.08^{a}	5.04^{b}	11.93^{a}
	T39	3.2^{b}	1.04^{ab}	4.91^{b}	11.57^{ab}
	T40	2.9^{bc}	0.84^{b}	4.07^{c}	10.33^{c}
	Control	2.57^{c}	0.52^{c}	2.81^{d}	6.21^{e}
-6	P.F1	3.7^{b}	0.58^{b}	4.06^{c}	6.86^{e}
	P.F2	3.92^{ab}	0.59^{b}	4.37^{b}	8.65^{c}
	CHA0	4.07^{a}	0.58^{b}	4.67^{a}	9.53^{b}
	P.F75	3.62^{b}	0.56^{b}	3.97^{c}	7.41^{d}
	T29	2.25^{de}	0.89^{a}	3.58^{d}	9.85^{ab}
	T36	2.85^{c}	1.09^{a}	4.07^{c}	10.06^{a}
	T39	2.58^{cd}	1.1^{a}	3.37^{de}	10.12^{a}
	T40	2.25^{de}	1.06^{a}	3.27^{e}	8.97^{c}
	Control	2.15^{e}	0.61^{b}	2.22^{f}	4.89^{f}

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده‌ی عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

P.F1، P.F2، CHA0 و P.F75 سویه‌های باکتری *سودوموناس فلورسنس* و T29، T36، T39 و T40 سویه‌های قارچ *تریکودرما هارزیانوم* هستند.

There is at least one common letter in each column represents the lack of a statistically significant difference (LSD) test is based on the level of 5%. Strains of PF1, PF2, PF75 and CHA0 of *Pseudomonas fluorescent*, T29, T36, T39 and T40 of *Trichoderma harzianum*.

در سطح تنش ۳- بار نیز سویه T36 طول ریشه چه (۳ سانتی‌متر) را به طور تقریبی به دو برابر بذر تلقیح نشده (۱/۵۷ سانتی‌متر) افزایش داد. در سطح تنش ۶- بار سویه T39 بیشترین طول ریشه‌چه (۲/۵۲) را دارا بود که با سویه‌های T36، T40، CHA0، T29 و P.F2 اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین طول ریشه‌چه (۱/۵۱ سانتی‌متر) نیز به تیمار پرایم نشده اختصاص داشت (شکل ۴). صفت طول ریشه‌چه با درصد جوانه‌زنی (r=۰/۶۴۲**) سرعت جوانه‌زنی (r=۰/۵۱۵**) همبستگی بالایی داشت ولی با متوسط مدت زمان جوانه‌زنی (r= -۰/۰۱۴ns) همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). احتمالاً یکی از علل کاهش طول ریشه‌چه در اثر افزایش تنش خشکی، تجزیه نشدن مواد آندوسپرم و در نتیجه کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از بافت‌های ذخیره ای بذر به جنین است (Masoumi zavarian *et al*., 2012). در پژوهشی حمزی و همکاران (Hamzi *et al*., 2012) با عنوان تأثیر باکتری‌های محرک رشد بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه اسفرزه در دماهای متفاوت به افزایش طول ریشه‌چه در تلقیح این بذر با سویه‌های مختلف *سودوموناس فلورسنس*، ازتوباکتر و آزوسپریلیوم اشاره کردند. افزایش طول ریشه‌چه در خیار و کدو تلخ در اثر تلقیح با قارچ‌های محرک رشد نسبت به شاهد تحت تنش خشکی گزارش شده است (Chaur and Lin, 2002).



شکل۴- مقایسه میانگین برش‌دهی اثر تیمارهای تلقیح زیستی برای صفت طول ریشه‌چه زیره‌ی سبز در سطوح مختلف تنش خشکی.
در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده‌ی عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.
P.F1، P.F2، CHA0 و P.F75 سویه‌های باکتری *سودوموناس فلورسنس* و T29، T36، T39 و T40 سویه‌های قارچ *تریکودرما هارزیانوم* هستند.

Figure 4- Slicing mean comparison of the effect of the bio- inoculation treatments for root lenght trait of cumin seed in different levels of drought stress.
There is at least one common letter in each column represents the lack of a statistically significant difference (LSD) test is based on the level of 5%. Strains of PF1, PF2, PF75 and CHA0 of *Pseudomonas fluorescent*, T29, T36, T39 and T40 of *Trichoderma harzianum*.

طول ساقه‌چه

نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از برش‌دهی نشان داد در سطح صفر بار، حداکثر طول ساقه‌چه در تلقیح بذر با سویه CHA0 با مقدار ۴/۵۷ سانتی‌متر مشاهده شد که با سویه P.F2 اختلاف معنی‌داری نداشت. تلقیح بذر با سویه CHA0 توانست ۱/۱۲ سانتی‌متر طول ساقه‌چه را نسبت به تیمار پرایم نشده افزایش دهد.در سطح تنش ۳- بار، باکتری P.F2 بیشترین طول ساقه‌چه (۳/۹۲ سانتی‌متر) را دارا بود که با باکتری‌های P.F1، CHA0، P.F75 اختلاف معنی‌داری نداشت. افزایش طول ساقه‌چه در تلقیح

بذر با سویه‌های قارچ T40، T36 و T29 نیز مشاهده شد که با تیمار پرایم نشده اختلاف معنی‌داری نشان نداد. همچنین در سطح تنش ۶- بار، بیشترین طول ساقه‌چه (۴/۰۷ سانتی‌متر) از تلقیح بذر با سویه باکتری CHA0 بدست آمد که با سویه P.F2 اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). ماتریس ضریب همبستگی صفات (جدول ۵) مبین این بود که طول ساقه‌چه با درصد جوانه‌زنی (r=۰/۲۹۰**) و سرعت جوانه‌زنی (r=۰/۱۶۵**) همبستگی معنی‌داری را نشان داد. طی یک بررسی باسیلیو و همکاران (Bacilio *et al.*, 2003) با تیمار کردن بذور گندم با باکتری‌های جنس *سودوموناس* و *آزوسپریلیوم* نتیجه گرفتند که تلقیح با این باکتری‌ها طول ساقه‌چه گندم را حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. باکتری‌های محرک رشد وقتی به سطح بذر می‌چسبند در پاسخ به ترشح اسیدهای آمینه ترشح شده از بذر، ایندول استیک اسید سنتز می‌کنند که این اسید باعث تحریک سلول‌های گیاه و طویل شدن آن‌ها می‌شود (Gholami *et al.*, 2009). در پژوهشی حسن‌زاده دلویی (Hasanzadeh delouei *et al.*, 2015) با بررسی اثر تلقیح زیستی بذر بر خصوصیات جوانه‌زنی بالنگوی شیرازی (*Royleana lallemantia* L.) گزارش دادند که تلقیح بذر بالنگوی شیرازی با باکتری *سودوموناس فلورسنس* طول ساقه‌چه بالنگو را افزایش داد و افزایش طول ساقه‌چه در تلقیح بذر با *تریکودرما* اختلاف معنی‌داری با تیمار پرایم‌نشده نداشت. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل افزایش طول ساقه‌چه بخاطر افزایش در رشد و تقسیمات سلولی از طریق تأثیر بر سنتز و فعالیت هورمون اکسین و سیتوکینین باشد و احتمالاً نسبت پایین اکسین به سیتوکینین در تیمارهای باکتریایی می‌تواند دلیل افزایش طول ساقه‌چه در اثر تلقیح با تیمارهای باکتریایی نسبت تیمارهای قارچی باشد.

جدول ۵- ماتریس ضرایب همبستگی اثر تلقیح زیستی برای برخی صفات جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای اندازه‌گیری شده زیره‌ی سبز در سطح مختلف تنش خشکی

Table 5- The correlation coefficients variance the effect of bio- inoculation for the measured germination and seedling some traits of cumin seed under different levels of drought stress

صفات اندازه‌گیری شده Measured traits	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(7)	(8)	(9)	(10)
درصد جوانه‌زنی (۱) Germination Percentage(1)	1								
سرعت جوانه‌زنی (۲) Germination Rate (2)	0.733**	1							
متوسط زمان جوانه‌زنی (۳) Mean germination time (3)	0.69 ns	-0.514**	1						
طول ریشه‌چه (۴) Root length (4)	0.642**	0.515**	-0.014 ns	1					
طول ساقه‌چه (۵) Shoot length (5)	0.290**	0.165**	-0.092 ns	0.165 ns	1				
شاخص طولی بنیه گیاهچه (۶) seedling Length vigor index (6)	0.862**	0.643**	0.073 ns	0.517**	0.663**	1			
وزن خشک گیاهچه (۷) Seedling dry weight (7)	0.721**	0.553**	0.069 ns	0.758**	0.296**	0.635**	1		
شاخص وزنی بنیه گیاهچه (۸) seedling weight vigor index (6)	0.870**	0.634**	0.096 ns	0.784**	0.263**	0.724**	0.951**	1	
ضریب آلومتریک (۹) Allometric coefficient (9)	0.211*	0.241*	-0.081 ns	0.741**	-0.678**	0.415**	0.416 ns	-0.219 ns	1

ns، * و** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **:, means non-significant and significant at 5 and 1 % respectively.

ضریب آلومتریک (نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه)

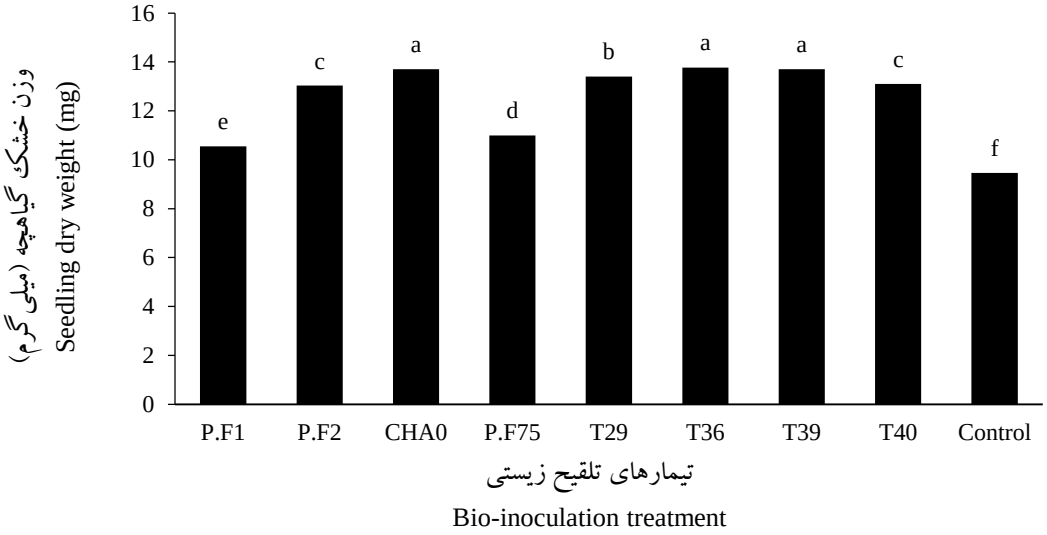
نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های حاصل از برش‌دهی تیمارهای تلقیح زیستی در هر سطح تنش خشکی نشان داد که در همه سطوح تنش خشکی بیشترین ضریب آلومتریک (نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه) از تلقیح بذر با سویه‌های قارچ *تریکودرما هارزیانوم* بدست آمد و سویه‌های باکتری *سودوموناس فلورسنس* اختلاف معنی‌داری با تیمار پرایم نشده نداشتند. در سطح پتانسیل اسمزی صفر بار، سویه قارچ T36 بیشترین ضریب آلومتریک (۰/۹۹) را دارا بود. مشابه آنچه که در سطح تنش ۳- بار مشاهده شد، سویه قارچ T36 نسبت طول ریشه‌چه با ساقه‌چه ۲ برابر تیمار پرایم نشده بود. شرایط پتانسیل اسمزی صفر بار مشاهده شد در سطح تنش ۶- بار، بیشترین نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه از تلقیح بذر با سویه قارچ T39 بدست آمد که با قارچ‌های T36 و T40 اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). طبق مشاهدات انجام شده توسط یزدانی و همکاران (Yazdani *et al.*, 2008) گزارش نمودند که تلقیح بذر سویا با قارچ *Tricoderma virida* سبب افزایش نسبت ریشه به ساقه شد. افزایش ضریب آلومتریک بذور رقم خزر و توده بومی هاشمی برنج در اثر تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* نیز گزارش شده است (Ehteshami and Amin deldar, 2012). دلیل افزایش ضریب آلومتریک در تیمارهای قارچی را می‌توان به تأثیر بیشتر آن‌ها بر ریشه نسبت به ساقه توجیه نمود که با افزایش سطح تنش، ریشه‌چه بذور در اثر تلقیح با تیمارهای قارچی حساسیت کمتری به تنش خشکی داشتند.

وزن خشک گیاهچه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی تلقیح زیستی و تنش خشکی بر وزن خشک گیاهچه معنی‌دار شد، در حالی که برهمکنش این تیمارها تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۲). مشابه آنچه که در صفت طول ریشه چه مشاهده شد، نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی تلقیح زیستی بر وزن خشک گیاهچه زیره‌ی سبز نشان داد که در بین تیمارهای تلقیح زیستی، بیشترین وزن خشک گیاهچه مربوط به تیمارهای تلقیحی با قارچ بود. در این شرایط بیشترین وزن خشک گیاهچه متعلق به T36 (۱۳/۷۷ میلی‌گرم درگیاهچه) بود که با قارچ T39 و باکتری CHA0 اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین وزن خشک گیاهچه (۹/۴۶ میلی‌گرم) مربوط به تیمار پرایم نشده بود (شکل ۵). با افزایش پتانسیل اسمزی نیز وزن خشک گیاهچه کاهش یافت و یک رابطه عکس بین تنش خشکی و وزن خشک گیاهچه زیره‌ی سبز مشاهده شد، به‌طوری‌که بیشترین وزن خشک گیاهچه (۱۲/۱۶ میلی‌گرم) مربوط به سطح صفر بار بود و کمترین وزن خشک گیاهچه (۱۰/۹۸ میلی‌گرم) نیز از سطح تنش ۶- بار بدست آمد (شکل ۶). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفت وزن خشک گیاهچه با درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و شاخص طولی بنیه گیاهچه مشاهده شد (جدول ۵). از جمله دلایل افزایش وزن خشک گیاهچه می‌توان به تولید هورمون‌های سیتوکینین و اکسین در تقسیم سلولی و گسترش دیواره سلولی در گیاهچه اشاره کرد (Mirshekari and Baser, 2009). در یک بررسی چپسرگون و همکاران (Chepsergon *et al.*, 2013) اظهار داشتند که قارچ‌های تریکودرما باعث افزایش وزن خشک گیاهچه ارزن تحت تنش خشکی نسبت به تیمار پرایم نشده شدند. افزایش رشد ریشه و ساقه بوته‌های گوجه‌فرنگی تحت تأثیر قارچ‌های تریکودرما به واسطه تولید هورمون‌های رشد مانند ایندول استیک اسید گزارش شده است (Gravel *at al.*, 2007).

شاخص طولی بنیه گیاهچه

همانگونه که در جدول (۴) آمده است، مقایسه میانگین برش‌دهی داده‌ها نشان داد که در سطح صفر بار، بیشترین شاخص طولی بنیه گیاهچه (۶/۴) مربوط به باکتری CHA0 بود که با قارچ‌های T36 و T39 اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین شاخص طولی بنیه گیاهچه (۴) از تیمار پرایم نشده بدست آمد. همین تیمار در تنش‌های ۳- و ۶- بار بیشترین شاخص طولی بنیه گیاهچه (به ترتیب ۵/۴۹ و ۴/۶۷) را به خود اختصاص داد.



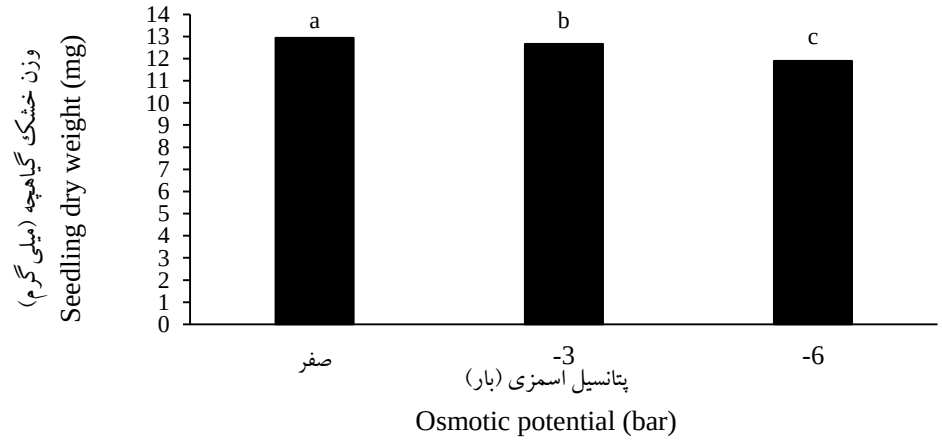
شکل۵- مقایسه میانگین اثر تلقیح زیستی برای صفت وزن خشک گیاهچه زیره‌ی سبز.

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده‌ی عدم تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

P.F1، P.F2، CHA0 و P.F75 سویه‌های باکتری *سودوموناس فلورسنس* و T29، T36، T39 و T40 سویه‌های قارچ *تریکودرما هارزیانوم* هستند.

Figure 5- Mean comparison of the effect of the bio- inoculation treatments for Seedling dry weight trait of cumin seed.

There is at least one common letter in each column represents the lack of a statistically significant difference (LSD) test is based on the level of 5%. Strains of PF1, PF2, PF75 and CHA0 of *Pseudomonas fluorescent*, T29, T36, T39 and T40 of *Trichoderma harzianum*



شکل۶- مقایسه میانگین اثر پتانسیل اسمزی تنش خشکی برای وزن خشک گیاهچه زیره‌ی سبز.

Figure 6- Mean comparison of the effect of drought stress on Seedling dry weight of cumin seed.

ماتریس ضرایب همبستگی صفات (جدول ۵) نشان داد که شاخص طولی بنیه گیاهچه با درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک گیاهچه و شاخص وزنی بنیه گیاهچه همبستگی مثبت و معنی‌داری را دارد و بدین معنی است بذوری که درصد جوانه‌زنی بالاتر و گیاهچه طویل‌تری داشتند، از شاخص بنیه بالاتری برخوردار بودند. افزایش طول گیاهچه و شاخص طولی بنیه گیاهچه در کنگر فرنگی توسط باکتری‌های

محرک رشد ازتوباکتر، آزیسپریلیوم و *سودوموناس پوتیدا* گزارش شده است (Jahanian *et al*., 2012). طبق مشاهدات انجام شده توسط انجی و همکاران (Ng *et al*., 2012) گزارش شد که باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش شاخص طولی بنیه گیاهچه برنج شدند. طی یک بررسی اسدالزمان و همکاران (Asaduzzaman *et al*., 2010) با بررسی تأثیر قارچ‌های تریکودرما بر شاخص‌های جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای فلفل نتیجه گرفتند که این قارچ‌ها باعث افزایش شاخص طولی بنیه گیاهچه در این گیاه تحت تنش خشکی شدند.

شاخص وزنی بنیه گیاهچه

نتایج مقایسه میانگین برش‌دهی داده‌ها نشان داد که بیشترین شاخص وزنی بنیه گیاهچه در سطوح صفر، ۳- و ۶- بار به ترتیب به میزان ۱۳/۸، ۱۱/۹۳ و ۱۰/۱۲ از قارچ T36 بدست آمد وکمترین شاخص وزنی بنیه گیاهچه در همه سطوح پتانسیل اسمزی از تیمار پرایم نشده بدست آمد (جدول ۴). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص وزنی بنیه گیاهچه با درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن خشک گیاهچه مشاهده شد که نشان می‌دهد بذور با درصد جوانه‌زنی بالا و وزن خشک گیاهچه بیشتر دارای شاخص وزنی بالاتری بودند (جدول ۵). در تحقیقی رمضانیان (Ramezanian, 2005) با بررسی نقش باکتری‌های محرک رشد در گیاه گندم نشان داد که گندم تلقیح شده با این سویه‌ها، دارای وزن خشک گیاهچه بیشتری بود و همچنین شاخص وزنی بنیه گیاهچه بیشتری نسبت به شاهد داشت. تحقیقات اخیر نشان داده است که تشکیل کلنی در ریشه‌های گیاه توسط تریکودرما باعث افزایش رشد ریشه‌ها و گسترش آنها و افزایش مقاومت در برابر تنش‌های غیر زنده گیاه می‌شود (Harman *et al*., 2004).

نتیجه‌گیری

براساس نتایج بدست آمده می‌توان اظهار داشت با افزایش پتانسیل اسمزی شاخص‌های جوانه‌زنی زیره‌ی سبز کاهش یافتند. تلقیح زیستی با باکتری *سودوموناس فلورسنس* توانست ۸۵ درصد شاخص طولی بنیه گیاهچه و ۶۰ درصد طول ساقه‌چه را نسبت به بذور تلقیح نشده افزایش دهد. قارچ *تریکودرما هارزیانوم* نیز توانست با افزایش سرعت جوانه‌زنی و کاهش میانگین زمان جوانه‌زنی به ترتیب ۲۰ درصد جوانه‌زنی، ۸۰ درصد طول ریشه‌چه و ۹۰ درصد ضریب آلومتریک را نسبت به تیمار شاهد افزایش دهد و اثرات اسمزی ناشی از تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی این گیاه را تعدیل نموده و باعث بهبود این شاخص‌ها تحت شرایط بدون تنش نیز شوند. در بین تیمارهای تلقیح زیستی قارچ T36 بهترین تیمار استفاده شده بودکه باعث بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای بذر زیره‌ی سبز تحت تنش خشکی شدند. مجموع نتایج حاکی از نقش مؤثرتر تیمارهای قارچی نسبت به تیمارهای باکتریایی بودند.

منابع

Reference

Afzal, I., S.M.A. Basra, R. Ahmad, and A. Iqbal. 2002. Effect of different seed vigor enhancement techniques on hybrid maize (*Zea mays* L.). Pak. J. Agric. Sci. 39: 109-112.

Asaduzzaman, M., M.J. Alam, and M.M. Islam. 2010. Effect of *Trichoderma* on seed germination and seedling parameters of Chili. J. Sci. Found. 8(2): 141-150

Bacilio, M., P. Vazquez, and Y. Bashan. 2003. Alleviation of noxious effects of cattle ranch composts on wheat seed germination by inoculation with *Azospirillum* spp. Biol. Fertil. Soils. 38: 261–266.

Bakhit, M., and A. Moradi. 2017. The effect of bio-priming on germination and deteriora tion control of flax seeds (*Linum usitatissimum*). Seed Sci. Technol. 45(2): 1-13.

Bashan, Y., G. Holguin, and L. De-Bashan. 2004. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances. Can. J. Microbiol. 50: 521– 577.

Bennett, A.J, and J.M. Whipps. 2008. Dual application of beneficial micro-organisms to seed during drum priming. Appl. Soil Ecol. 38: 83–89.

Burd, G.I., D.G. Dixon, and B.R. Glick. 1998. A plant growth-promoting bacterium that decreases nickel toxicity in seedlings. J. Appl. Environ. Microbiol. 64: 3663-3668.

Chaur, T.L., and Ch.Y. Lin. 2002. Screening Strains of *Trichoderma* spp for plant growth enhancement in Taiwan. Plant Pathol. 11(4): 215-220.

Chepsergon, J., L. Mwamburi, and M. Kipkemboi Kassim. 2012. Mechanism of drought tolerance in plants using *Trichoderma* spp. Int. J. Sci. Res. 3: 353-358.

De, R., and R.K. Kar. 1994. Seed germination and seedling growth of mung bean (*Vigna radiata*) under water stress induced by PEG-6000. Seed Sci. Technol. 23: 301-308.

Ehteshami, M.R., and Z. Amin deldar. 2012. The effect of different strains of *Pseudomonas fluorescens* on some seedling germination and growth of rice Khazar variety and Hashemi landraces. Seed Sci. Technol of Iran. 1: 115-125. (In Persian)

Ellis, R.H., and E.H. Roberts. 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. Seed Sci. Technol. 9: 373-409.

Gholami, A., S. Shahsavani, and S. Nezarat. 2009. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. World Acad. Sci. Eng. Technol. 49: 19-24.

Ghorbani, T., Z. Norouzi, and S. Galeshi. 2011. Effect of priming by fungi *Trichoderma* on seed germination pea (*Cicer arietinum*). Nat.l Con. Mod. Agric. Sci. Technol. Univ. Zanjan. 10-12 Sep. (In Persian)

Golpayeghani, A., M. Heydari, H. Gholami, and M. Sadeghi. 2010. Sustainable production and improving growing herbs basil (*Ocimum basilicum* L.) in response to the inoculated bacteria growth promoting (PGPR). New ideas fifth natl conf. Agr islamic azad Khorasgan University (Isfahan), 28-27 Feb, Iran, 2010. (In Persian)

Gravel, V., H. Antoun, and R.J. Tweddell. 2007. Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: Possible role of indole acetic acid (IAA). Soil Biol. Biochem. 39: 1968-1977.

Hamzi, S., A. Soroushzadeh, A. Asgarzadeh, and H. Naghdi abadi. 2012. The effect of PGPR on germination and seedling growth of Plantago ovate at different temperatures. J. Medicinal Plants. 11(2): 104-115. (In Persian)

Harman, G.E., and M. Shoresh. 2007. The mechanisms and applications of opportunistic plant symbionts. InM Vurro, J Gressel, eds. Novel Biotechnol for Biocontrol Agent Enhancement and Manage. Springer, Amsterdam. 131–157.

Harman, G.E., C.R. Howell, A. Viterbo, I. Chet, and M. Lorito. 2004. *Trichoderma* species opportunistic, virulent plant symbionts. Microbiol. 2: 43-56.

Harman, G.E., T. Björkman, K. Ondik, and M. Shoresh. 2008. Changing paradigms on the mode of action and uses of *Trichoderma* spp. For Biocontrol. *Outlooks Pest Manage*. 19: 24-9.

Hasanzadeh delouei, H., H. Asadi, A. Saeidizadeh, and N. Rahimi, 2015. The effect of seed bio-priming on germination characteristics Balangu Shirazi (*Royleana lallemantia* L.). Third. Natl Conf. Environ. Agric. Res. Iran, 13 Aug., Hamedan Univercity, Iran, pp 1-11. (In Persian)

Ikic, I., M. Maricevic, S. Tomasovic, J. Gunjaca, Z.S. Atovic, and H.S. Arcevic 2012. The effect of germination temperature on seed dormancy in Croatian-grown winter wheats. Euphytica. 188: 25-34.

ISTA. 2010. International rules for seed testing, (ISTA), Bassersdorf, Switzerland.

Jahanian, A., M. R. Chaichi, K. Rezaei, K. Rezayazdi, and K. Khavazi. 2012. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination and primary growth of Artichoke (*Cynara scolymus*). Int. J. Agric. Crop Sci. 4(14): 923-929.

Kafi, M. 2002. Cumin (*Cuminum cyminum*) Production and Processing of Mashhad University pub, Mashhad, Iran. (In Persian)

Kaymak, H.A., I. Guvenc, F. Yarali, and M.F. Denmez. 2009. The effects of bio-priming with PGPR on germination of radish (*Raphanus sativus* L.) seeds under saline conditions. Turkish. J. Agric. 33: 173-179.

Khodarahmpour, Z. 2011. Effect of drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) on germination indices in corn (*Zea mays* L.) hybrids. Afr. J. Biotechnol. 10: 1822-1827.

Khoshvaghti, H., M. Akrami, M. Yusefi, S. Baserkouchehbagh, and M. Hoseini. 2013. Influence of seed inoculation with biological fertilizer on fennel (*Foeniculum vulgare*) and coriander (*Coriandrum Sativum*) germination. Int. J. Biol. sci. 3(11): 108-114.

Maguire, J.D. 1962. Seed of germination - aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop. Sci. 2: 176-177.

Masoumi zavarian, A., M. Asgari, and M. Gharekhani. 2013. Effects of drought stress on germination and biochemical of medicinal plants. First. Natl. Con. Med. Sustain. Agr, Hamedan city. 11 Jun. (In Persian)

Mastouri, F., Th. Biorkman, and G. E. Harman. 2012. *Trichoderma harzianum* enhances antioxidant defense of tomato seedlings and resistance to water deficit. Mol. Plant-Microbe In. 25(9): 1264-1271.

Medina, M.A., M.D.M. Alguacil, J. Pascual, and S.C. Wees. 2014. Phytohormone profiles induced by *Trichoderma* isolates correspond with their biocontrol and plant growth-promoting activity on melon plants. J. Chem. Ecol. 40(7): 804-815.

Michel, B.E., and M.R. Kaufmann.1973. Theosmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiol. 51: 914-916.

Mirshekari, B., and S. Baser. 2009. The effects of seed inoculation with nitragin on germination and early growth of oilseed rape (*Brassica napus* L.), sesame (*Sesamum indicum*) and sunflower (*Helianthus annus* L.). New J. Agric. 5(17), 91-100. (In Persian)

Mousavi, Gh.R., M.J. Seghat Alislami, and M. Puyan. 2012. The effect of planting date and plant density on yield and its components Fleawort (*Plantago psyllium* L.) plants. Iranian. J. Med. Aromatic. Plants. Res. 27(4): 681-699.

Naghed, H., M. Sadravi, and S. Kazemi. 2016. Biological control of chickpea blight with some isolates of three species of *Trichoderma*. Biologic. Con. Pests Plants Dis. 5(1): 123-127.

Ng, L.C., M. Sariah, O. Sariam, O. Radziah, and M.A. Zainal Abidin. 2012. Rice seed bacterization for promoting germination and seedling growth under Aerobic cultivation system. Aust. J. Crop Sci. 6: 170-175.

Prathibha, K.S., and K.G. Siddalingeshwara. 2013. Effect of plant growth promoting *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescence* as Rhizobacteria on seed quality of sorghum. Int. J. Current. Microb. Appl. Sci. 2(2): 11-18.

Ramezanian, A. 2005. The role of ACC deaminase enzyme-producing rhizobacteria in modulating adverse effects of stress ethylene in wheat. Master's thesis. Univ. Tehran. Iran. (In Persian)

Sohrabi, S.S., and E. Fateh. 2012. The effect of plant growth promoting rhizobactria on wheat (*Triticum aestivum*) seed germination indices under drought stress. First. Natl. Con. Plant abiotic stress. Esfahan city. 30-31 Oct. (In Persian)

Sohrabiani, S. 2016. Effect of priming on germination indices and some enzymes of cumin seeds (*Cuminum cyminum* L.) with different longevity under drought and salinity stresses. Master's thesis. Univ. of Yasouj. Iran.

Verma, S.K., G.C. Bjpai, S.K. Tewari, and J. Singh. 2005. Seedling index and yield as influenced by seed size in pigeon pea. Legume Res. 28(2): 143-145.

Vinale, F., D. Ambrosio, G. Abadi, F. KScala, R. Marra, D. Turra, S.L. Woo, and M. Lorito. 2004. Application of *Trichoderma harzianum* (T22) and *Trichoderma atroviride* (P1) as plant growth promoters and their compatibility with copper oxychloride. J. Zhejiang. Univ. Sci. 30: 2-8.

Voigt, E.L., T.D. Almeida, R.M. Chagas, L.F.A. Ponte, R.A. Viegas, and J.A.G. Silveira. 2009. Source – sink regulation of cotyledonary reserve mobilization during cashew (*Anacardium occidentale*) seedling establishment under NaCl salinity. J. Plant. Physiol. 166: 80–89.

Yazdani, M., H. Pirdashti, M.A. Tajik, and M.A. Bahmanyar. 2008. The effect of *Trichoderma* (*Trichoderma* spp) and different types of organic fertilizers on the growth of soybean [*Glycine max* (L). Merril]. Electron. J. Crop Prod. 1(3): 65-82. (In Persian)