اثر باکتری، اگزوپلی‌ساکارید باکتریایی و نانو ذرات سیلیکون بر جوانه زنی بذر گوجه فرنگی تحت تنش شوری

فرانک مشبکی اصفهانی[1]، آرزو طهمورث پور، مهران هودجی، میترا عطاآبادی و احمد محمدی

دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشگاه آزاد اسالمی اصفهان واحد خوراسگان؛ **Faranakmoshabaki@yahoo.com**

دانشیار میکروب شناسی گروه علوم پایه پزشکی دانشگاه آزاد اسالمی اصفهان واحد خوراسگان؛ **A.tahmoures.p@gmail.com**

استاد گروه علوم خاک دانشگاه آزاد اسالمی اصفهان واحد خوراسگان؛ **hoodaji1.Mehran @gmail com**

استادیار گروه علوم خاک دانشگاه آزاد اسالمی اصفهان واحد خوراسگان؛ **Mehran.hoodaji1@gmail.com**

دانشیار گروه علوم خاک دانشگاه آزاد اسالمی اصفهان واحد خوراسگان؛ **mghehsareh@yahoo.com**

دریافت: **96/8/6** و پذیرش: **96/12/22**

چکیده

شوری یکی از تنش‌های اصلی و شایع در جهان کنونی است که سبب کاهش تولیدات کشاورزی و نقصان رستنیهای طبیعی در نواحی وسیعی از سطح زمین می‌شود. درکشاورزی همواره سعی بر این بوده است که تحمل گیاهان زراعی نسبت به تنش‌های محیطی افزایش یابد. بنابراین این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر باکتری، اگزوپلی‌ساکارید باکتریایی و نانو ذرات سیلیکون در کاهش اثرات منفی تنش شوری بر بذر گوجه‌فرنگی (*سولانوم لیکوپرسیکوم*) طراحی و در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی با سه تکرار، در بهمن ماه 1395 در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان) اجرا شد. تیمارها شامل محلول اگزوپلی‌ساکارید 01/0 مولار)، مایه تلقیح جدایه باکتری با جمعیت 10^8× 1 سلول در میلی‌لیتر (1 میلی لیتر)، نانو ذرات سیلیکون (8 گرم در لیتر) بودند. بذور گوجه‌فرنگی رقم (PS) پس از ضد عفونی با تیمارهای مورد نظر تلقیح و در گلدان‌های خاک کاشته شدند و در طول مدت رشد، آبیاری با محلول کلرید سدیم با سطوح مختلف شوری (3/0، 2، 4، 6، 8 دسی زیمنس بر متر) انجام گرفت. پس از 15 روز تأثیر تیمارها بر درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی، میانگین زمان جوان زنی و شاخص ویگور (بنیه بذر) بررسی شد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تاثیر تیمارها در سطوح مختلف شوری بر درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی، شاخص بنیه بذر و میانگین زمان جوانه زنی معنی دار شد (در سطوح احتمال 5 و 1 درصد). بطوریکه با افزایش میزان شوری درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی و شاخص ویگور (بنیه بذر) کاهش و میانگین زمان جوانه زنی افزایش معنی داری یافت در حالی که کاربرد نانو ذرات سیلیکون، باکتری مقاوم به شوری و اگزوپلی‌ساکارید باکتریایی اثرات منفی شوری بر فاکتورهای جوانه زنی را کاهش داد بطوریکه کاربرد این تیمارها درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی و شاخص بنیه بذر را تحت تنش شوری بطور معنی دار افزایش و میانگین زمان جوانه زنی را بطور معنی‌داری کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: باکتری، *سولانوم لیکوپرسیکوم*، شوری

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: گروه علوم پایه پزشکی دانشگاه آزاد اصفهان واحد خوراسگان

مقدمه

شوری افزایش غلظت نمک‌های قابل حل و عناصر معدنی محلول در آب و خاک است که منجربه تجمع نمک در ناحیه ریشه شده، به حدی که مانع جذب آب و رشد بهینه گیاه می‌شود (تمرتاش و همکاران، 1389). در اکثر نقاط کره زمین کمبود آب و شوری منابع آب و خاک از جمله مهمترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان و تولید محصولات کشاورزی به شمار می‌روند. کمبود آب می‌تواند بسته به شدت و زمان تنش و مرحله نمو گیاه، بر فیزیولوژی رشد، حجم سلول، تقسیم سلولی، دیواره‌سازی سلول، وزن تر و خشک، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه تأثیر گذارد. از نظر مراحل استقرار گیاه، اولین مرحله جوانه زنی است. تنش شوری عموماً باعث تأخیر در جوانه زنی، کاهش درصد و سرعت جوانه زنی و نیز کاهش رشد گیاهچه می‌گردد (تمرتاش و همکاران، 1389). در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای بکار بردن روش‌های زیستی جهت کاهش تنش شوری صورت گرفته است. از جمله این روش‌ها استفاده از باکتری‌ها و تولیدات باکتریایی نظیر اگزوپلی‌ساکاریدها[1] است. در میکروارگانیسم‌ها به دلیل اندازه‌ی کوچک و در نتیجه نسبت سطح به حجم زیاد، سطح تماس با ترکیبات موجود در محیط پیرامون افزایش می‌یابد (زوبولیس و همکاران[2]، 2004). تعدادی از باکتری‌ها تحت عنوان شوردوست[3] و مقاوم به شوری[4]، شناخته شده که با شرایط محیط شور سازگاری یافته اند و مکانیسم‌های فیزیولوژی و بیوشیمی آنها برای پاسخ به شرایط شور توسعه پیدا کرده است (زنجیربند، 1385).

همچنین این باکتری‌ها می‌توانند با تأثیر بر ماده آلی خاک بر شاخص‌های میکروبی مؤثر باشند (ناهیدان و نوربخش، 1388). اگزوپلی‌ساکاریدها پلیمرهای طبیعی با وزن مولکولی بالا هستند که از واحدهای قندی تشکیل شده‌اند و بوسیله باکتری‌های مختلف مانند باکتری‌های *اسیدلاکتیک*[5]، *بیفیدیو باکتریوم‌ها*[6] و *باسیلوس‌ها*[7] تولید می‌شوند. مشخصات ساختاری آنها مانند وزن مولکولی، تعداد و اتصالات ساکاریدی، نقش مهمی در کاربرد وسیع آنها در صنایع مختلف دارد. در دهه‌های اخیر اگزوپلی‌ساکاریدهای میکروبی جایگزین پلی‌ساکاریدهای گیاهی شده‌اند که علاوه بر اینکه دارای خواص پلی‌ساکاریدهای گیاهی هستند، به مقدار فراوان و با درجه خلوص بالاتری نیز به دست می‌آیند (خدابخش و همکاران، 1391). یکی دیگر از روش‌های کار آمد جهت افزایش تحمل تنش شوری کاربرد نانو ذرات سیلیکون[8] می‌باشد. نانو ذرات با ابعادی بین 1 تا 100 نانومتر، دارای ویژگی‌های متفاوتی نسبت به فرم اولیه خود هستند که این خصوصیات می‌تواند بر نحوه عملکرد آنها مؤثر باشد. در این میان سیلیکون به عنوان جزء اصلی خاک است که به علت نداشتن سمیت به عنوان ماده پایه برای رشد باکتری‌ها استفاده می‌شود. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که نانو ذرات سیلیکون می‌تواند به عنوان جاذب برای حذف آلودگی‌های طبیعی و یوهای فلزی مطرح باشد (لو و همکاران[9]، 2009).

گوج‌فرنگی از گیاهان عالی گلدار، از راسته دو لپه ایها، از خانواده سولاناسه[10]، از جنس لیوپرسیکون[11] می‌باشد. گوجه‌فرنگی گیاهی است نیمه حساس به شوری، که در مرحله جوانه‌زنی به شرایط شور حساس می‌باشد. حد آستانه تحمل به شوری گوجه‌فرنگی در مرحله جوانه زنی 7/1 دسی زیمنس بر متر گزارش شده است (چادهو و راجندر[12]، 1995). همچنین گوجه‌فرنگی برای رشد و نمو سریع و تولید محصول، نیاز فراوانی به آب دارد. از علل دیگر مصرف آب زیاد در این گیاه می توان به تبخیر آب اشاره نمود، زیرا در اثر تهویه که برای پایین آوردن رطوبت محیط لازم است تبخیر شدت یافته و در نتیجه نیاز گیاه به آب افزایش می‌یابد (اطمینان و همکاران[13]، 2004). از طرف دیگر غلظت اسیدها و ویتامین‌های مختلف مختلف بویژه ویتامین C در گوجه‌رنگی می‌تواند تحت تأثیر عواملی مانند شوری قرار گیرد (ال- هربی و همکاران[14]، 2008).

شوری بعد از خشکی مهمترین تنش محیطی است که بر گیاهان تأثیر می‌گذارد و به شدت از رشد و نمو گیاهان حساس به شوری می‌کاهد و این تصور که بتوان مشکلات ناشی از شوری را با مدیریت صحیح آبیاری بطور کامل حل نمود، امری غیر ممکن است. بنابراین ضرورت تحقیق در مورد گیاهانی که قادر باشند در خاک‌های شور برویند محسوس می‌باشد. همچنین استفاده از علم بیوتکنولوژی و به کارگیری باکتری‌ها و تولیدات آنها و

1. Exopolysaccharides
2. Zouboulis et al.
3. Halophile
4. Halotolerant
5. *Lactic acid bacteria*
6. *Bifidobacterium*
7. *Bacillus*
8. Silicon nanoparticles
9. Lu et al.
10. Solanaceae
11. lyopersicon
12. Chadho and Rajender
13. Etminan et al.
14. Al-Harbi et al.

استفاده از نانو ذرات که موجب افزایش محصول دهی در شرایط تنش شوری می‌شوند، می‌تواند در مدیریت زمین‌های شور مفید واقع شود. لذا تحقیق حاضر به منظور شناسایی سویه‌های مقاوم به شوری تولید کننده اگزوپلی‌ساکارید و بررسی اثر باکتری مقاوم به شوری، اگزوپلی‌ساکارید باکتریایی و نانو ذرات سیلیکون بر جوانه‌زنی بذر گوجه فرنگی تحت تنش صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی با سه تکرار، در آزمایشگاه و گلخانه پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان)، از تیر ماه تا اسفند ماه 1394 انجام گردید. به منظور بررسی تأثیر باکتری و اگزوپلی‌ساکارید باکتریایی بر افزایش تحمل به شوری بذر گوجه‌فرنگی و جداسازی باکتری‌های مقاوم به شوری مولد اگزوپلی‌ساکارید ابتدا از خاک‌های شور منطقه رودشت اصفهان (طول جغرافیایی 52 درجه و 23 دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی 32 درجه و 18دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح آزاد دریا 1497 متر) به طور تصادفی نمونه‌برداری شد. پس از تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شمیایی خاک (جدول 1)، تعیین جمعیت باکتری‌ها و باکتری‌های تحمل کننده نمک مولد اگزوپلی‌ساکارید و غنی سازی، کلونی‌های مولد اگزوپلی‌ساکارید بر اساس آزمون تولید پلیمر (کلونی‌های موکوئیدی) جداسازی شدند (لی و همکاران[1]، 2008). پس از آن حداکثر غلظت قابل تحمل نمک[2] (MTC) سویه‌ها تعیین شد. سپس استخراج اگزوپلی‌ساکارید به روش آرورا و همکاران[3]، (2010) انجام گرفت و پس از تعیین میزان اگزوپلی‌ساکارید تولید شده توسط سویه‌ها به روش آنترون (مک کریدی و همکاران[4]، 1950)، سویه دارای بالاترین توان تولید اگزوپلی‌ساکارید به عنوان سویه برتر جهت انجام مراحل بعدی تحقیق انتخاب شد. سپس سویه مورد نظر بر اساس مرفولوژی و خصوصیات بیوشیمیایی (کاپوچینو و شرمن[5]، 1996) و همچنین بر اساس تعیین توالی ژن 16 S rDNA (مادئونو و همکاران[6]، 2011) شناسایی شد و پس از بررسی در پایگاه NCBI[7]، در GenBankمقایسه و ثبت گردید. در مرحله بعد بهینه سازی سطوح مؤثر اگزوپلی‌ساکارید انجام گرفت به این صورت که محلول‌های اگزوپلی‌ساکارید به غلظت‌های 01/0 تا 1/0 مولار تهیه شد و جوانه زنی بذرها در این محلول‌ها در سه تکرار بررسی شد. با توجه به بالاترین درصد جوانه زنی، غلظت 01/0 مولار به عنوان غلظت بهینه اگزوپلی‌ساکارید جهت تلقیح با بذور تعیین شد. سپس گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه 10 سانتیمتر و حاوی خاک استریل آماده شد (برخی خصوصیات فیزیکی و شیمایی خاک مورد استفاده جهت کشت در جدول (2) آورده شده است). 105 عدد بذر سالم گوجه‌فرنگی (*سولانوم لیکوپرسیکوم*[8]) رقم PS انتخاب و به مدت 30 ثانیه در الکل 96 درصد و سپس به مدت 2 – 5/1 دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم 5/0 درصد ضد عفونی و با آب مقطر استریل 8- 7 مرتبه شسته شد. مایه تلقیح جدایه باکتری با بالاترین توان تولید اگزوپلی‌ساکارید با جمعیت 1×10^8 سلول در میلی‌لیتر تهیه شد (آپادهیای و همکاران[9]، 2011). سپس ظروف پتری استریل حاوی نانو ذرات سیلیکون (با اندازه 50 نانومتر خریداری شده از گروه شیمی دانشگاه امیر کبیر تهران) با غلظت 8 گرم در لیتر تهیه شد (سیدیکویی و الوهیبی[10]، 2014). همچنین پلیت‌های استریل حاوی اگزوپلی‌ساکارید 01/0 مولار) و پلیت‌های حاوی نانو ذره سیلیکون (8گرم در لیتر) و اگزوپلی‌ساکارید 01/0 مولار) تهیه شد.

تیمارها بدین شرح بودند: شاهد: بذرهای بدون تلقیح (S)، بذرهای تلقیح شده با نانو ذرات سیلیکون (8 گرم در لیتر) (S.N)، بذرهای تلقیح شده با زادمایه جدایه باکتری با جمعیت (1×10^8 cells/ml) (S.B)، بذرهای تلقیح شده با اگزوپلی‌ساکارید (0/01 مولار) (S.E)، بذرهای تلقیح شده با باکتری و نانو ذره سیلیکون (S.B.N)، بذرهای تلقیح شده با اگزو پلی‌ساکارید و نانو ذرات سیلیکون (S.E.N)، بذرهای تلقیح شده با باکتری و اگزوپلی‌ساکارید و نانو ذرات سیلیکون (S.E.B.N)، پنج سطح شوری محلول کلرید سدیم (8 و 6، 4، 2، 3/0 دسی زیمنس بر متر).

آماده سازی تیمارها

به منظور آماده سازی تیمار شاهد، بذرها در یک سانتی‌متری سطح خاک قرار داده شدند (1 عدد بذر در هر گلدان) و سپس روی آن با خاک پوشانده شد. جهت اعمال تیمارهای بذر تلقیح شده با اگزوپلی‌ساکارید، بذر تلفیح شده با نانو ذرات سیلیکون و بذر تلفیح شده با اگزوپلی

1. Lee et al.
2. Maximum Tolarable Concentration
3. Arora et al.
4. McCready et al.
5. Cappuccino and Sherman
6. Madueno et al.
7. National Center for Biotechnological Information
8. *Solanum lycopersicum*
9. Upadhyay et al.
10. Siddiqui and Al-Whaibi

ساکارید و نانو ذرات سیلیکون، بذرها به مدت 2 ساعت در پلیت‌های استریل حاوی محلول‌های مذکور قرار داده شدند (15 عدد بذر برای هر تیمار با 3 تکرار در 5 سطح شوری استفاده شد). همچنین، برای تیمارهایی که نیاز به تلقیح باکتری به بذر داشتند، پس از قرار دادن بذرها در خاک، ۱ میلی لیتر از زادمایه جدایه باکتری با جمعیت 1×10^8 سلول در میلی‌لیتر بر روی آن ریخته شد (آپادهیای و همکاران، 2011). سپس آبیاری با محلول کلرید سدیم با سطوح شوری (dS/m 8 و 6، 4، 2، 3/0) انجام شد. در طول مدت رشد نیز آبیاری با محلول‌های فوق انجام گرفت. همه گلدان‌ها هنگام آبیاری به طور همزمان و به یک اندازه آبیاری شدند و بعد از آبیاری آب مازاد خارج شده از گلدان‌ها مجدداً به خاک همان گلدان اضافه شد. شمارش بذرهای جوانه زده در طول مدت 15 روز به منظور محاسبه درصد جوانه زنی[1]، سرعت جوانه زنی[2]، میانگین زمان جوانه زنی[3] انجام شد. (بذوری جوانه زده تلقی شدند که طول ریشه چه آنها حداقل 2 میلی‌متر بود).

تعیین فاکتورهای مورد بررسی

پس از سپری شدن 15 روز و شمارش بذرهای جوانه زده پارامترهای مربوط به جوانه‌زنی محاسبه شد.

تعیین درصد جوانه زنی (GP)

درصد جوانه زنی با استفاده از رابطه (1) محاسبه شد (ناصری و همکاران[4]، 2012). در این رابطه GP درصد جوانه زنی، N_i تعداد بذور جوانه زده در هر روز، S تعداد کل بذور کشت شده می‌باشد.

$$GP = \frac{Ni}{s} \times 100 \qquad (1)$$

تعیین سرعت جوانه زنی (GR)

با استفاده از رابطه (2) سرعت جوانه زنی بر حسب تعداد بذر جوانه زده در روز محاسبه شد (ناصری و همکاران، 2012). در این رابطه GR سرعت جوانه زنی، N_i تعداد بذور جوانه زده در هر روز، T_i تعداد روزهای سپری شده از شروع آزمایش می‌باشد.

$$GR = \sum \frac{Ni}{Ti} \qquad (2)$$

تعیین میانگین زمان جوانه زنی (MGT)

برای تعیین میانگین زمان جوانه زنی از رابطه (3) استفاده شد (متیوس و خواجه حسینی[5]، 2007). در این رابطه MGT میانگین زمان جوانه زنی، N تعداد بذوری که در D روز جوانه زده اند، D تعداد روزهای پس از شروع جوانه زنی، $\sum N$ تعداد کل بذرهای جوانه زده می‌باشد.

$$MGT = \frac{\sum(D \times N)}{\sum N} \qquad (3)$$

تعیین شاخص بنیه بذر (VI)

برای محاسبه شاخص ویگور از رابطه (4) استفاده شد (وشیست و نگاراجان[6]، 2010).

(4)

شاخص بنیه بذر = درصد جوانه زنی × طول گیاهچه (سانتیمتر)

پردازش داده‌ها

برای تحلیل داده‌ها از نرم افزار SPSS نسخه 20 استفاده شد. با استفاده از آزمون تحلیل واریانس معنی دار بودن میانگین‌ها (در سطح احتمال 5 درصد و 1 درصد) بین تیمارهای مختلف در سطوح مختلف شوری بررسی شد و از آزمون تعقیبی دانکن (دو دامنه) برای مقایسه میانگین‌ها بین تیمارهای مختلف استفاده شده است.

نتایج

خاک مورد استفاده در این تحقیق جهت جداسازی باکتری‌های مقاوم به شوری، دارای بافت لومی، پ هاش 8 و قابلیت هدایت الکتریکی 30/2 دسی زیمنس بر متر بود. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (1) ارائه شده است.

نتایج شمارش باکتری‌های هتروتروف و شمارش باکتری‌های نمک دوست نشان داد که جمعیت کل باکتری ها $6/05 \times 10^5$ CFU^7ml^{-1} بود که 6/54 % از این تعداد مولد اگزوپلی‌ساکارید بودند. همچنین جمعیت باکتری‌های نمک دوست $4/05 \times 10^5$ $CFUml^{-1}$ بود که از این تعداد 44/5 % تولید کننده‌ی اگزوپلی‌ساکارید بودند. از میان سویه‌های مقاوم به شوری مولد اگزو پلی ساکارید، یک سویه با تولید 0/168 گرم در لیتر اگزوپلی‌ساکارید در مدت زمان 24 ساعت و توان رشد در غلظت نمک (25-0 %) به عنوان سویه برتر تولید کننده‌ی اگزوپلی‌ساکارید و متحمل نمک، با تفاوت معنی‌دار ($P < 0/05$) از دیگر سویه‌ها انتخاب شد. نتایج حاصل از آزمون‌های بیوشیمیایی و مقایسه توالی ژن 16S rDNA بدست آمده از سویه‌ی مورد نظر با توالی‌های بانک ژن نشان داد که این سویه دارای بالاترین شباهت (99%) با سویه *سیتروباکتر فروندی*[8] بوده و با عنوان *سیتروباکتر فروندی* ATHM38 و شماره دسترسی[9]، KX553903 در پایگاه NCBI ثبت

1. Germination Percentage
2. Germinarion Rate
3. Mean Germination Time
4. Naseri et al.
5. Matthews and Khajeh-Hosseini
6. Vashisth and Nagarajan
7. Colony Forming Unit
8. *Citrobacter freundii*
9. Accession number

شد. خاک مورد استفاده جهت کشت گلخانهای دارای بافت سندی لوم و قابلیت هدایت الکتریکی 42/1 دسی زیمنس بر متر بود. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده جهت کشت در جدول (2) ارائه شده است.

اثر تیمارهای مورد آزمایش بر جوانه زنی بذر گوجه-فرنگی تحت تنش شوری

بررسی اثر تیمارها بر درصد جوانه زنی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس جدول (3) اثر تیمارها بر درصد جوانه زنی در سطوح مختلف شوری، در سطح 5 درصد معنی دار شده است.

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده جهت جداسازی باکتری مقاوم به شوری

بافت	رس %	سیلت %	شن %	Na^+ (meq/l)	K (a.v.a) mg/kg	P (a.v.a) mg/kg	N %	گچ %	آهک %	اسیدیته	کربن آلی %	درصد اشباع	هدایت الکتریکی (dS/m)
لوم	11	40	49	760	348	13/4	06/0	5/7	31	8	0/59	47	30/2

جدول 2- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای

بافت	N	P	K	EC (dS/m)	کربن آلی (%)	تخلخل (%)	آهک (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol/kg)	اسیدیته	وزن مخصوص ظاهری (g/cm^3)	وزن مخصوص حقیقی (g/cm^3)
	(mg/kg)										
Sandy loam	0/08	28	153	1/42	1/7	56	42	1/9	8/22	1/5	2/6

جدول 3- اثر تیمارهای مورد آزمایش بر درصد جوانه زنی در سطوح مختلف شوری

سطح شوری (dS/m)	0/3	2	4	6	8
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین‌مربعات			
تیمار	6	46/429*	71/429*	413/095*	517/857*	402/007*
خطای آزمایش	14	17/857	135/714	701/190	867/857	243/129
ضریب تغییرات	-	0/053	0/116	0/333	0/537	0/676

* و ** و ns: به ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن اثر عامل آزمایشی در سطوح احتمال 5% و 1% و معنی دار نبودن

جدول (4) مقایسه میانگین اثر تیمارها در سطوح مختلف شوری بر درصد جوانه زنی بذر را در طی مدت 15 روز نشان داده است. بر اساس نتایج بدست آمده در سطح شوری (dS/m) 3/0، تیمارهای S.E، S.B و S.B.N دارای درصد جوانه زنی مشابه تیمار شاهد (100٪) بوده‌اند، در سطح شوری (dS/m) 2، تیمار S.B.N در سطح شوری (dS/m) 4، تیمارهای S.B، S.E.N، S.B.N و S.E.B.N و در سطح شوری (dS/m) 6، تیمارهای S.E، S.E.N، S.B.N و S.E.B.N درصد جوانه زنی را بطور معنی‌دار در مقایسه با شاهد افزایش داده‌اند و در سطح شوری (dS/m) 8، تیمار S.E حذف شده است و سایر تیمارها تاثیر مثبت و معنی داری بر درصد جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد نداشته‌اند.

بررسی اثر تیمارها بر سرعت جوانه زنی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس جدول (5) اثر تیمارها بر سرعت جوانه زنی در سطوح مختلف شوری، در سطح 1 درصد معنی دار شده است.

جدول 4- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر درصد جوانه زنی در سطوح مختلف شوری

تیمار	سطح شوری (dS/m)				
	0/3	2	4	6	8
S	100/0^{a}	95/0^{b}	65/0^{b}	40/0^{c}	40/0^{a}
S.N	95/0^{b}	85/0^{c}	60/0^{b}	40/0^{c}	20/0^{b}
S.E	100/0^{a}	95/0^{b}	60/0^{b}	60/0^{b}	0/0^{c}
S.B	100/0^{a}	90/0^{c}	80/0^{a}	40/0^{c}	20/0^{b}
S.E.N	95/0^{b}	90/0^{c}	85/0^{a}	50/0^{b}	15/0^{b}
S.B.N	100/0^{a}	100/0^{a}	85/0^{a}	75/0^{a}	35/0^{a}
S.E.B.N	90/0^{c}	95/0^{b}	85/0^{a}	55/0^{b}	40/0^{a}

حروف یکسان عدم وجود تفاوت معنی دار بین میانگین ها را نشان می‌دهد.

جدول 5- اثر تیمارهای مورد آزمایش بر سرعت جوانه زنی (بذر/ روز) در سطوح مختلف شوری

سطح شوری (dS/m)		0/3	2	4	6	8
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین‌مربعات				
تیمار	6	8/187**	1/390**	3/826**	1/460**	1/996**
خطای آزمایش	14	0/021	0/001	0/001	0/001	0/011
ضریب تغییرات	-	0/156	0/076	0/231	0/223	0/498

* و ** و ns، به ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن اثر عامل آزمایشی در سطوح احتمال 5% و 1% و معنی دار نبودن

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارها (جدول 6) نشان میدهد، در سطح شوری (dS/m) 4، تیمارهای S.B، S.E.N، S.B.N و S.E.B.N، در سطح شوری (dS/m) 6، تیمارهای S.N، S.E، S.B، S.E.N و S.E.B.N بطور معنی داری سرعت جوانه زنی را در مقایسه با شاهد افزایش داده‌اند و در این سطوح شوری تیمار S.E.N دارای بیشترین سرعت جوانه‌زنی و تفاوت معنی‌دار با شاهد می‌باشد. در سطح شوری (dS/m) 8، تیمار S.E.B.N دارای افزایش معنی‌دار در مقایسه با شاهد می‌باشد و در این سطح شوری تیمار S.E حذف شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تیمار اگزوپلی‌ساکارید همراه با نانو ذرات سیلیکون، همچنین تیمار اگزوپلی‌سااکارید همراه با نانو ذرات سیلیکون و باکتری سرعت جوانه زنی را در سطوح مختلف شوری افزایش داده‌اند و کاربرد این تیمارها توانسته در مقابله با تنش شوری مؤثر واقع شوند.

بررسی اثر تیمارها بر میانگین زمان جوانه‌زنی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس جدول (7) اثر تیمارها بر میانگین زمان جوانه‌نی در سطوح شوری مختلف، در سطح 1درصد معنی‌دار شده است.

جدول 6- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر سرعت جوانه زنی (بذر/ روز) در سطوح مختلف شوری

تیمار	سطح شوری (dS/m)				
	0/3	2	4	6	8
S	12/6^{a}	9/5^{a}	5/0^{d}	2/3^{e}	2/5^{b}
S.N	8/8^{f}	7/6^{g}	2/8^{f}	2/8^{c}	1/4^{e}
S.E	9/7^{d}	7/7^{f}	3/2^{e}	3/5^{b}	0/0^{g}
S.B	10/7^{c}	8/7^{c}	5/2^{b}	2/7^{d}	1/4^{d}
S.E.N	11/5^{b}	8/0^{e}	5/7^{a}	4/2^{a}	0/7^{f}
S.B.N	8/1^{g}	8/7^{d}	5/1^{c}	2/2^{f}	1/6^{c}
S.E.B.N	8/8^{e}	8/8^{b}	5/0^{d}	2/7^{d}	2/8^{a}

حروف یکسان عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها را نشان می‌دهد.

جدول 7- اثر تیمارهای مورد آزمایش بر میانگین زمان جوانه‌زنی (روز) در سطوح مختلف شوری

سطح شوری (dS/m)		0/3	2	4	6	8
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین‌مربعات				
تیمار	6	1/308**	0/644**	0/980**	3/330**	3/780**
خطای آزمایش	14	0/001	0/004	0/002	0/001	0/008
ضریب تغییرات	-	0/351	0/106	0/142	0/321	0/461

* و ** و ns: به ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن اثر عامل آزمایشی در سطوح احتمال 5% و 1% و معنی دار نبودن

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (8)، با افزایش شوری میانگین زمان جوانه‌زنی افزایش یافته است و کاربرد تیمارها توانسته در سطوح مختلف شوری میانگین زمان جوانه‌زنی را کاهش دهد، بطوری که در سطح شوری (dS/m) 3/0، تیمارهای S.B، S.E.N و S.E.B.N، در سطح شوری (dS/m) 2، تیمارهای S.B و S.E.B.N، در سطح شوری (dS/m) 6 ، تیمارهای S.N و S.B و در سطح شوری (dS/m) 8، تیمارهای S.N، S.B و S.E.B.Nباعث کاهش معنی دار میانگین زمان جوانه زنی نسبت به تیمار شاهد شده‌اند و در این سطح شوری تیمار S.E حذف شده است.

بررسی اثر تیمارها بر شاخص بنیه بذر

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمارها بر میانگین شاخص بنیه بذر در سطوح شوری مختلف، در سطح 1 درصد معنی‌دار شده است (جدول 8).

جدول 8- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر میانگین زمان جوانه زنی (روز) در سطوح مختلف شوری

تیمار	سطح شوری (dS/m)				
	0/3	2	4	6	8
S	8/150^{d}	8/158^{e}	9/230^{g}	10/0^{c}	10/0^{c}
S.N	8/50^{b}	8/647^{b}	10/538^{c}	9/50^{d}	9/0^{e}
S.E	8/30^{c}	9/315^{a}	10/666^{b}	11/266^{b}	0/0^{f}
S.B	7/60^{f}	8/111^{f}	9/625^{f}	9/250^{e}	9/0^{e}
S.E.N	6/738^{g}	8/333^{c}	10/058^{e}	10/0^{c}	11/0^{a}
S.B.N	8/70^{a}	8/20^{d}	10/764^{a}	12/166^{a}	10/571^{b}
S.E.B.N	7/888^{e}	7/947^{g}	10/352^{d}	11/0^{a}	9/250^{d}

حروف یکسان عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین ها را نشان می‌دهد.

جدول 9- اثر تیمارهای مورد آزمایش بر شاخص بنیه بذر در سطوح مختلف شوری

سطح شوری (dS/m)		0/3	2	4	6	8
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین‌مربعات				
تیمار	6	0/651**	1/474**	3/789**	3/299**	3/243**
خطای آزمایش	14	0/029	0/001	0/001	0/001	0/001
ضریب تغییرات	-	0/044	0/078	0/172	0/264	0/588

* و ** و ns: به ترتیب نشانگر معنی دار بودن اثر عامل آزمایشی در سطوح احتمال 5% و 1% و معنی دار نبودن

بر اساس نتایج جدول (10)، در سطح شوری (dS/m) 3/0، تیمارهای S.B و S.B.N، در سطح شوری (dS/m) 2، تأثیر تیمارهای S.E، S.E.N، S.B.N و S.E.B.N، در سطح شوری (dS/m) 4، تیمارهای S.B،S.N ، S.E.N، S.B.N و S.E.B.N باعث افزایش معنی‌دار شاخص ویگور نسبت به شاهد شده‌اند. در سطح شوری (dS/m) 6، همه تیمارها نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری ایجاد کرده‌اند و در سطح شوری (dS/m) 8، بیشترین تأثیر مثبت معنی‌دار در مقایسه با شاهد مربوط به تیمار S.E.B.N می‌باشد.

جدول 10- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر شاخص بنیه بذر در سطوح مختلف شوری

تیمار	سطح شوری (dS/m)				
	0/3	2	4	6	8
S	10/6^{c}	8/1^{d}	5/2^{f}	2/6^{g}	2/7^{b}
S.N	10/2^{de}	7/6^{e}	5/3^{e}	2/8^{f}	1/3^{d}
S.E	10/3^{cde}	8/5^{c}	4/6^{g}	3/8^{d}	0/0^{f}
S.B	10/9^{b}	8/1^{d}	6/7^{c}	2/9^{e}	1/3^{d}
S.E.N	10/4^{cd}	9/8^{a}	6/6^{d}	4/7^{b}	1/0^{e}
S.B.N	11/3^{a}	8/5^{c}	7/5^{a}	5/4^{a}	2/3^{c}
S.E.B.N	10/0^{e}	9/0^{b}	7/3^{b}	4/0^{c}	2/9^{a}

حروف یکسان عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین ها را نشان می‌دهد

بحث

شوری خاک در تمام دنیا رو به گسترش بوده و یکی از مهم ترین چالش‌ها برای کشاورزی در جهان محسوب می‌شود. دامنه تحمل گیاهان نسبت به شوری متفاوت است لذا انتخاب گیاه برای کشت در زمین‌های شور، باید از دیدگاه‌های مختلف بررسی گردد (خان و گلزار[1]، 2003). اگرچه تنش شوری در تمام مراحل رشد گیاه می‌تواند رخ دهد، اما با توجه به اینکه شرایط استقرار اولیه گیاه، در عملکرد نهایی تأثیر زیادی دارد، لذا تنش شوری در مرحله گیاهچه‌ای، می‌تواند برای گیاه بسیار مضر باشد (رئوف و همکاران[2]، 2007). بررسی اثر شوری بر سرعت و درصد جوانه زنی در بسیاری از گیاهان زراعی نشان داده است که تنش شوری در مرحله جوانه زنی یک آزمون قابل اطمینان، در ارزیابی تحمل بسیاری از گونه‌ها است. زیرا این مرحله به شدت تحت تأثیر میزان املاح قرار می‌گیرد و شوری باعث کاهش درصد و سرعت جوانه زنی می‌گردد (مانس[3]، 2002). مکانسیم تأثیر شوری بر جوانه زنی بذر توسط اشرف و فولاد[4] (2005) مورد مطالعه قرار گرفته است. به نظر این محققان نمک موجب کاهش جذب آب توسط بذور و افزایش جذب یون‌ها تا حد مسمومیت می‌شود، بدین ترتیب جوانه زنی و ظهور بذرها کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، با افزایش شوری، درصد جوانه زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر کاهش یافته و میانگین زمان جوانه‌زنی افزایش یافته است در حالیکه تیمارهای S.E.N، S.B.N و S.E.B.N در سطوح مختلف شوری درصد جوانه زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر را در مقایسه با شاهد بطور معنی‌داری افزایش داده‌اند. همچنین، میانگین زمان جوانه زنی تحت تأثیر تیمارهای S.B، S.N و S.E.B.N در سطوح مختلف شوری در مقایسه با تیمار شاهد بطور معنی‌دار کاهش یافته است.

این نتایج اشاره به تأثیر مثبت باکتری‌ها، اگزوپلی‌ساکارید و نانو ذرات سیلیکون بر فاکتورهای جوانه زنی بذر گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری دارد. نتایج این بررسی با یافته‌های کایا و اپیک[5] (2003) در تحقیقی بر گلرنگ و شهید و همکاران[6] (2011) در مورد نخود فرنگی مطابقت داشت. نتایج آنها نیز نشان داد که درصد جوانه زنی با افزایش تنش شوری کاهش یافته است. اثرات

1. Khan and Gulzar
2. Rauf et al.
3. Munns
4. Ashraf and Foolad
5. Kaya and Ipek
6. Shahid et al.

بازدارندگی کلرید سدیم بر روی جوانه زنی بذر می‌تواند به دلیل تأثیر مستقیم آن بر روی رشد جنین باشد. از طرف دیگر کلرید سدیم به دلیل اثر بازدارندگی در جذب آب به وسیله بذر، تعداد بذور جوانه زده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین علت افزایش میانگین زمان جوانه‌زنی با افزایش شوری را می‌توان به کاهش دسترسی بذر به آب در شرایط تنش اسمزی نسبت داد. در این شرایط دسترسی بذر به آب کاهش یافته و مدت زمان بیشتری طول می‌کشد تا بذر بتواند آب مورد نیاز خود را به مقدار کافی بدست آورد در نتیجه میانگین زمان جوانه زنی بیشتر می‌شود. در تحقیق حاضر با مشاهده تأثیر مثبت تیمارها بر میانگین زمان جوانه زنی در شرایط تنش شوری می‌توان نتیجه گرفت که باکتری با تولید اگزوپلی‌ساکارید توانسته بر دانه بندی خاک اطراف ریشه اثر گذاشته و آب قابل دسترس گیاه را افزایش دهد. نانو ذرات سیلیکون نیز به دلایل مختلف مانند سطح جذب بالا، نفوذ سریع‌تر و راحت‌تر به درون غشای سلولی تأثیر بسیار زیادی بر جوانه زنی بذر داشته و میانگین زمان جوانه زنی را کاهش و جوانه زنی را در خاک شور افزایش داده‌اند. عظیمی و همکاران[1] (2014) نیز در تحقیقی کاربرد نانو ذرات سیلیکون بر جوانه زنی گندم را بررسی کردند و مشاهده کردند که کاربرد نانو ذرات سیلیکون درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی، شاخص ویگور را افزایش و میانگین زمان جوانه زنی را کاهش داده است. مطالعه‌ای که طالبی و همکاران (1390) در رابطه با تأثیر باکتری‌های مقاوم به شوری مولد پلی‌ساکارید بر رشد گندم در تنش‌های خشکی و شوری انجام دادند نشان داد که با افزایش شوری از 2 به 16 دسی‌زیمنس بر متر و کاهش آب قابل استفاده، درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت در حالیکه تیمارهای تلقیح شده با جدایه باکتری باعث افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی گردیدند.

این موضوع را احتمالاً می‌توان به تولید پلی‌ساکارید بیشتر در شوری‌های بالاتر و تنش رطوبتی، توسط جدایه باکتری‌ها نسبت داد، این پلی‌ساکاریدها با تشکیل کمپلکس با عناصر در خاک شور و کاهش اثر سمیت آنها و همچنین افزایش جذب و نگهداری آب سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای تلقیح شده با باکتری شده‌اند. با توجه به نتایج، در گیاهچه‌های 15 روزه، تیمار S.E در سطح شوری (dS/m) 8 حذف شده است. دلیل آن را می‌توان چنین بیان کرد که اگزوپلی‌ساکاریدها دارای خواص فیزیکی و شیمیایی چون تعلیق، ضخامت و ژله‌ای بودن و قابلیت نگهداری آب می‌باشند و ممکن است با افزایش شوری خاصیت تعلیق و ژله‌ای اگزوپلی‌ساکاریدها و در نتیجه قابلیت نگهداری آب آنها کاهش یابد (ریچرت و همکاران[2]، 2005). همچنین خاصیت جذب نمک و حذف آن توسط اگزوپلی‌ساکارید برخی سویه‌ها در محیط‌های آبی بیشتر می‌باشد و شور شدن محیط می‌تواند باعث کاهش کارایی آنها شود (آرورا و همکاران، 2010). اگرچه کارایی خاص و نقش دقیق اگزوپلی‌ساکاریدها به واحدهای ساختاری آنها و ویژگیهای محیط زیست میکروارگانیسم میزبان بستگی دارد که در این رابطه نیاز به تحقیق و مطالعه بیشتر می‌باشد (میشرا و همکاران[3]، 2011). در واقع افزایش مقاومت به شوری از تولید اگزوپلی‌ساکارید و تشکیل بایوفیلم ناشی می‌شود (دیمکپا و همکاران[4]، 2009). زیرا برای محافظت باکتری‌ها از شرایط نامساعد محیطی تشکیل بایوفیلم و اگزوپلی‌ساکارید هر دو لازم می‌باشد بطوری که در شرایط تنش، بایوفیلم که اجتماعی از باکتری‌ها روی سطوح زنده و غیر زنده می‌باشد تشکیل می‌گردد، این اجتماع باکتری‌ها باعث تولید اگزوپلی‌ساکاریدها می‌شود. از طرفی اگزوپلی‌ساکاریدهای تولید شده در شرایط تنش با حفظ لایه‌های آب در اطراف سلول‌ها منجر به توسعه بهتر بایوفیلم می‌شوند. بایوفیلم تشکیل شده با بهبود دانه‌بندی خاک و حفظ رطوبت، از سلول‌های باکتریایی در شرایط تنش محافظت می‌کند (کیوراشی و صبری[5]، 2012). این باکتری‌ها با تولید مواد تنظیم کننده و محرک رشد گیاه، تثبیت نیتروژن و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی مختلف، ویتامین‌ها و همچنین با تولید آنتی بیوتیک‌ها و آنزیم‌های تجزیه کننده دیواره سلولی قارچ‌های بیماریزای گیاهی، با گونه‌های مضر رقابت کرده و با ایجاد مقاومت سیستمیک و افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های غیر زنده دارای تأثیر مثبت بر جوانه زنی و رشد گیاه تحت تنش شوری می‌باشند (محمودی قادی و همکاران، 1390).

نتیجه‌گیری

یکی از دستاوردهای تحقیق حاضر جداسازی *سیترو باکتر فروندی* ATHM38 با توانایی رشد در غلظت‌های بالای نمک (25%)، استخراج اگزو پلی ساکارید و بهبود جوانه زنی بذر گوجه‌فرنگی تحت تأثیر تلقیح بذر با باکتری، اگزو پلی‌ساکارید باکتریایی و نانو ذرات سیلیکو نمی‌باشد. با توجه به یافته‌های این تحقیق

1. Azimi et al.

2. Richert et al.

3. Mishra et al.

4. Dimkpa et al.

5. Qurashi and Sabri

می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که سویه‌های باکتریایی مقاوم به تنش‌های آبی با افزایش پلی‌ساکاریدهای برون یاخته‌ای، تجمع برخی از آنزیم‌ها مانند آمینو پپتیداز، تجمع اسید آمینه گلوتامات و بتائین به منظور تعدیل فشار اسمزی در سلول‌ها، شرایط نامساعد را تحمل کرده و به رشد خود ادامه می‌دهند و از طریق حفظ چرخه غذایی و تجزیه مواد آلی، ساختمان خاک را بهبود می‌بخشند. اگزوپلی‌ساکاریدها با افزایش دسترسی آب، کاهش جذب سدیم و افزایش جذب عناصر غذایی و همچنین از طریق ارتقا دانه‌بندی ساختمان خاک، نفوذ پذیری و هدایت هیدرولیکی خاک را بهبود بخشیده و رشد ریشه را ارتقا می‌دهند و در نتیجه افزایش جوانه زنی را در خاک تحت تنش شوری به دنبال دارند. تأثیر مثبت نانو ذرات سیلیکون نیز می‌تواند به دلیل افزایش جذب و نگهداری آب در سطح بذر باشد. همچنین دلیل افزایش جوانه‌زنی را می‌توان به نفوذ پذیری بالای نانو ذرات به دورن پوسته بذر و در نتیجه افزایش جذب نور و فعالیت آنزیم روبیسکو نسبت داد، در واقع دلیل تأثیر نانو ذرات بر افزایش سرعت جوانه‌زنی بذر، نفوذ این ذرات به داخل بذرهاست. جوانه‌زنی سریع باعث می‌شود که بذرها سریعتر استقرار یافته و قبل از آنکه لایه‌های فوقانی خاک خشک شوند تولید سیستم ریشه‌ای عمیق نموده و در نتیجه مدت زمان کمتری در معرض آفات و امراض و پاتوژن‌های خاکزی قرار گیرد. در مناطق مختلف افزایش سطح کیفیت زندگی باعث کاربرد گسترده مواد شیمیایی در کشاورزی و اثرات منفی بر تولیدات غذایی و محیط زیست شده است. بنابراین علوم کشاورزی به سمت عوامل تأثیر گذار بیولوژیکی و کاربرد فناوریهای زیستی و نانو و تلفیق آنها سوق پیدا کرده است. نتایج حاصل از کاربرد باکتری، اگزوپلی ساکارید باکتریایی و نانو ذرات سیلیکون حاکی از اثرات مفید آنها بر فرایندهای متابولیکی گیاه و نیز خاک می‌باشد که شامل افزایش سرعت واکنش-های بیولوژیکی، افزایش قدرت جذب آب و مواد معدنی توسط ریشه و افزایش جوانه زنی بذور می‌باشد. بنابراین می‌توان از تیمارهای کاربردی به عنوان راهکاری در جهت مقابله با تنش شوری و افزایش تحمل گیاهان به شرایط تنش استفاده کرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از کلیه مسئولین محترم بخش خاک و بیوتکنولوژی دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (واحد خوراسگان) و سر کار خانم مهندس ایمانه امینی به دلیل فراهم آوردن امکانات لازم برای انجام این تحقیق، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود.

فهرست منابع:

1. تمرتاش؛ ر، شکریان، ف. و کارگر، م. 1389. بررسی تأثیر تنش شوری و خشکی بر ویژگی‌های جوانه زنی بذر شبدر برسیم. مجله علمی پژوهشی مرتع. ج 4، ش 2، ص 288-297.
2. خدابخش؛ م، تاج آبادی ابراهیمی، م. و هاشمی، م. 1391. تولید اگزوپلی‌ساکارید از لاکتوباسیل‌های جدا شده از کشک منطقه لیقوان. فصلنامه بیوتکنولوژی و میکروبیولوژی. ش 1، ص 83-100.
3. زنجیر بند، م. 1385. جداسازی و شناسایی بعضی از باکتری‌های نمک دوست و بررسی اثر برخی عوامل مؤثر بر رشد آنها. پایان نامه کارشناسی ارشد میکروبیولوژی، دانشگاه اصفهان.
4. طالبی اتویی؛ م، پوربابایی، ع. و شرفا، م. 1392. تأثیر باکتری‌های شورزی مولد پلی‌ساکارید بر رشد گندم در تنش‌های خشکی و شوری. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). ج 27، ش 1، ص 97-106.
5. محمودی قادی؛ پ، تاج علیپور، ز. و کاشی، ع. 1390. تأثیر باکتری تیوباسیلوس بر رشد و عملکرد گوجه‌فرنگی تحت شرایط شوری. مجله نمک. ج 1، ش 3، ص 63-70.
6. ناهیدان، ص. و ف. نوربخش. 1388. تأثیر تاریخچه مدیریت کربن آلی بر برخی از خصوصیات بیولوژیکی خاک. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران. گرگان. 23-21 تیر. صفحه 86-85.

7. Al-Harbi, A.R., Wahb-Allah, M.A. and Abu-Moriefah, S.S. 2008. Salinity and nitrogen level affects germination, emergence and seedling growth of tomato. International Journal of Vegetable Science. 14(4): 380-392.
8. Arora, M., Kaushik, A., Rani, N. and Kaushik C.P. 2010. Effect of cyanobacterial exopolysaccharides on salt stress alleviation and seed germination. Journal of Environmental Biology. 31(5): 701-704.
9. Ashraf, M. and Foolad, M.R. 2005. Pre-sowing seed treatment a shotgun approach to improve germination, plant growth and crop yield under saline and non saline conditions. Advances in Agronomy. 88: 223-271.
10. Azimi, R., Borzelabad, M.J., Feizi, H. and Azimi, A. 2014. Interaction of Sio2 nanoparticles with seed prechiling on germination and early seedling growth of tall wheatgrass (*Agropyron elongatum* L.). Polish Journal of Chemical Technology. 16 (3): 25-29.
11. Cappuccino, J. and Sherman, N. 1996. Microbiology (a laboratory manual). 1st Edn, New York: Benjamin, Cumming Publishing Company INC, 477 p.
12. Chadho, K. and Rajender, G. 1995. Advance in Horticulture Medicinal and Aromatic Plants. 11th edn, New Delhi: Malhotra Publishing House, 935 p.
13. Dimkpa, C., Weinand, T. and Arch, F. 2009. Plant-rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. Plant, Cell & Environment. 32(12): 1682-1694.
14. Etminan, M., Takkouche, B. and Caamano-Isorna, F. 2004. The role of tomato products and lycopene in the prevention of prostate cancer: a meta-analysis of observational studies. Cancer Epidemiol Biomarkers and Prevention. 13 (3):340-345.
15. Kaya, M. and Ipek, D.A. 2003. Effects of different soil salinity levels on germination and seedling growth of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 27: 221-227.
16. Khan, M.A. and Gulzar, S. 2003. Germination responses of *Sporobolus ioclados*: A saline desert grass. Journal of Arid Environments. 55: 453–464.
17. Lee, S.H., Lee, W.S., Lee, C.H. and Jeong-Gyu, K. 2008. Degradation of phenanthrene and pyrene in rhizosphere of grasses and legumes. Journal of Hazardous Materials. 153: 892-898.
18. Lu, J., Li, Y., Yan, X., Shi, B., Wang, D. and Tang, H. 2009. Sorption of atrazine onto humic acids (HAs) coated nanoparticles. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 347(1-3):90–96.
19. Madueno, L., Coppootelli, B.M., Alvarez, H.M. and Morelli, I.S. 2011. Isolation and characterization of indigenous soil bacteria for bioaugmentation of PAH contaminated soil of semiarid Patagonia, Argentina. International Biodeterioration and Biodegradation. 65: 345-351.
20. Matthews, S. and Khajeh-Hosseini, M. 2007. Length of the lag period of germination and metabolic repair explain vigour differences in seed lots of maize (*Zea mays*). Seed Science and Technology. 35: 200-212.
21. McCready R.M., Guggolz, J., Silviera, V. and Owens, H.S. 1950. Determination of starch and amylase in vegetables. Analytical chemistry. 22: 1156-1158.
22. Mishra, A., Kavita, K. and Jha, B. 2011. Characterization of extracellular polymeric substances produced by micro-algae *Dunaliella salina*. Carbohydrate Polymers. 83:852–857.
23. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell and Environment. 25: 239-250.
24. Naseri, R., Emami, T., Mirzaei, A. and Soleymanifard, A. 2012. Effect of salinity (sodium chloride) on germination and seedling growth of barley (*Hordeum Vulgare* L.) cultivars. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 4: 911-917.

25. Qurashi, A.W. and Sabri, A.N. 2012. Bacterial exopolysaccharide and biofilm formation stimulate chickpea growth and soil aggregation under salt stress, Brazilian Journal of Microbiology. 43(3): 1183–1191.
26. Rauf, M., Afzal, M. and Munir, M. 2007. Performance of wheat genotypes under osmotic stress at germination and early seedling growth stage. African Journal of Biotechnology. 6: 971-975.
27. Richert, L., Golubic, S., Le Guedes, R., Ratiskol, J., Payri, C. and Guezennec, J. 2005. Characterization of exopolysaccharides produced by cyanobacteria isolated from Polynesian microbial mats. Current Microbiology. 51: 379-384.
28. Shahid, M., Pervez, M.A. and Ashraf, M.Y. 2011. Characterization of salt tolerant and salt sensitive pea (*Pisum sativum L.*) genotypes under saline regime. Pakistan Journal of Life and Social Science. 9: 201-208.
29. Siddiqui H.M. and Al-Whaibi, M.H. 2014. Role of nano-Sio_2 in germination of tmato (*Lipopersicum esculentum* seeds Mill.). Saudi Journal of Biological Sciences. 21:13- 17.
30. Upadhyay, S.K., Singh, J.S. and Singh, D.P. 2011. Exopolysaccharide producing plant growth promoting Rhizobacteria under salinity condition. Soil Science Society of China. 21 (2):214-222.
31. Vashisth, A. and Nagarajan, S. 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. Journal of Plant Physiology. 167 (2): 149–156.

Eeffect of Bacterial Inoculation, Bacterial Exopolysaccharide and Nano SiO_2 Particles on Seed Germination of S*olanum Lycopersicum n*nder Salinity Stress

F. Moshabaki Isfahani[1], A. Tahmoorespour, M. Hoodaji, M. Ataabadi and A. Mohamadi

PhD, Department of Soil Science, Islamic Azad University of Isfahan, Khorasgan Branch; E-mail: Faranakmoshabaki@yahoo.com

Associate Professor of Microbiology, Department of Basic Medical Sciences, Isfahan Islamic Azad University Khorasgan Branch; E-mail: A.tahmoures.p@gmail.com

Professor, Department of Soil Science, Isfahan Islamic Azad University Khorasgan Branch; E-mail: Mehran.hoodaji1@gmail.com

Assistant Professor, Department of Soil Science, Isfahan Islamic Azad University Khorasgan Branch; E-mail: Mitra_ataabadi@yahoo.com

Associate Professor, Department of Soil Science, Isfahan Islamic Azad University Khorasgan Branch; E-mail: mghehsareh@yahoo.com

Received: October, 2017 & Accepted: March, 2018

Abstract

Salinity is a major abiotic stress which is limiting growth and productivity of plants. Salinity affect plant growth differently in all growth stages. Looking at different mechanisms for increasing plant tolerance has been noticed to overcome the problem of salinity. Present study was designed to evaluate the effects of bacterial inoculation, bacterial exopolysaccharides and nano silicon particles on reducing salinity stress in seed germination of *Solanum lycopersicum*. This study was carried out in the greenhouse condition in Islamic Azad University of Isfahan. It was done through a completely randomized design with three replications, in February 2016. Treatments were: Exopolysaccharide solution (0.01 M), 1 ml of bacterial suspension (1×10^8 $CFU.ml^{-1}$), nano silicon particles (8 $g.L^{-1}$). Tomato seeds (cultivar PS) were sterilized and inoculated with treatments then planted in pots. Irrigation was carried out during the experiment, with the saline water (0.3, 2, 4, 6, 8 $dS.m^{-1}$). After 15 days the effect of treatments on germination percentage, germination rate and mean germination time and vigor index were assessed. Based on the results, the effect of treatments at different salinity levels, on the germination percentage, germination rate, vigor index and mean germination time, (0.01 and 0.05 probability levels) was statistically significant. So that germination percentage, germination rate, vigor index were decreased with increasing salinity and mean germination time was increased significantly, while the use of nanoparticles silicon, inoculation of salt tolerant bacteria and bacterial exopolysaccharides reduced the negative effects of salinity on seed germination factors. Seed germination, germination rate, vigor index increased in all treatments and mean germination time reduced significantly under salinity stress.

Keywords: *Solanum lycopersicum,* Salinity, Mean germination time

[1.] Corresponding author: Isfahan, Isfahan Islamic Azad University Khorasgan Branch