Journal of Soil Management and Sustainable

Print ISSN: 2322-1267
Online ISSN: 2322-1275

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

The effect of *Bacillus safensis*, *Bacillus pumilus* and *Zhihengliuella halotolerance* isolated from rhizosphere of halophyte plants on yield, yield components and seed starch of wheat (var. Ghods) under salinity stress

Asghar Mosleh Arani[*1] | Alireza Amini Hajiabadi[2] | Somaye Ghasemi[3] | Mohammad Hadi Rad[4]

1. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Environmental Sciences, Yazd University. E-mail: amosleh@yazd.ac.ir
2. Ph.D. Student, Dept. of Arid Land and Desert Management, Yazd University. E-mail: amini.alireza@rocketmail.com
3. Associate Prof., Dept. of Soil Science, Yazd University. E-mail: s.ghasemi@yazd.ac.ir
4. Assistant Prof., Dept. of Forest and Rangeland, Yazd Agricultural and Natural Resource Research and Education Center. E-mail: mohammadhadirad@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 01.16.2021
Revised: 05.10.2021
Accepted: 05.17.2021

Keywords:
Atriplex,
Bacteria,
Cereals,
PGPR

ABSTRACT

Background and Objectives: The demand for wheat as the most important grain used by humans is increasing. Due to climate change and improper soil and water management, salinity stress reduces wheat yield. The use of plant growth promoting rhizobacteria is a nature-friendly way to reduce the effects of salinity stress on wheat yield. The objective of this study was to evaluate the effect of plant growth promoting bacteria isolated from the rhizosphere of several saline plants in Yazd province on total biomass and yield components of wheat (var. Ghods).

Materials and Methods: Plant growth promoting characteristics and salinity resistance of bacteria isolated from rhizosphere of *Atriplex lentiformis*, *Seidlitzea rosmarinus*, *Tamarix ramosissima* and *Halostachys belangeriana* were investigated. Wheat seeds were inoculated with superior bacteria including *Bacillus safensis*, *B. pumilus* and *Zhihengliuella halotolerans* and after planting in the pots in greenhouse conditions was irrigated with water with salinities of 4, 8, and 16 ds/m.

Results: All three bacteria were able to produce auxin. The highest amount of auxin production was measured in *B. safensis* (29.72 µg / ml). All three bacteria were able to produce hydrogen cyanide and the highest amount of hydrogen cyanide production was observed in *Z. halotolerans* with grade 5 (very high). All three bacteria were able to produce siderophore. ACC deaminase production was observed in all three bacteria and the highest amount was measured in *B. pumilus* at 8 µg / ml. Ability to dissolve phosphate in *Z. halotolerans* was more than twice that of *B. safensis*. Salinity reduced all the measured indices in wheat. In bacterial inoculated treatments at all salinity stress levels (4, 8 and 16 ds/m), the average of total biomass, amylose and amylopectin increased up to 52.5, 21.3 and 10.3%, respectively, compared to the average of these indices in control treatments (without bacteria) in the same salinity levels. Also, bacteria in these levels increased spike weight, seed weight and number of seeds up to a maximum of 22, 74.6 and 66.6%, respectively, compared to the control (without bacteria) of these salinity levels.

Conclusion: the plant growth promoting bacteria increased yield components of wheat under salinity stress, therefore to reduce the effects of

salinity on wheat under saline irrigation conditions; the bacteria studied in this experiment can be used. *Z. halotolerans* was more efficient than other two bacteria in all of the studied indices. Since the experiment was performed under greenhouse conditions, it is recommended that this experiment be performed in the field.

Cite this article: Mosleh Arani, Asghar, Amini Hajiabadi, Alireza, Ghasemi, Somaye, Hadi Rad, Mohammad. 2022. The effect of *Bacillus safensis*, *Bacillus pumilus* and *Zhihengliuella halotolerance* isolated from rhizosphere of halophyte plants on yield, yield components and seed starch of wheat (var. Ghods) under salinity stress. *Journal of Soil Management and Sustainable*, 11 (4), 121-140.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejsms.2022.18766.2005
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۱۲۶۷

شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۱۲۷۵

بررسی تأثیر سه باکتری *Bacillus safensis*، *Bacillus pumilus* و *Zhihengliuella halotolerans* جداسازی شده از ریزوسفر گیاهان شورپسند بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد نشاسته گندم رقم قدس تحت تنش شوری

اصغر مصلح آرانی*[۱] | علیرضا امینی حاجی‌آبادی[۲] | سمیه قاسمی[۳] | محمد هادی راد[٤]

۱. نویسنده مسئول، دانشیار گروه محیط زیست، دانشگاه یزد. رایانامه: amosleh@yazd.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه یزد. رایانامه: amini.alireza@rocketmail.com

۳. دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه یزد. رایانامه: s.ghasemi@yazd.ac.ir

٤. استادیار گروه جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد. رایانامه: mohammadhadirad@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۷
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۰/۰۲/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۰۲/۲۷

واژه‌های کلیدی:
آتریپلکس،
باکتری،
صفات محرک رشد گیاه،
غلات

چکیده

سابقه و هدف: تقاضا برای گندم به‌عنوان مهم‌ترین غله مورد استفاده بشر رو به افزایش است. به‌دلیل تغییرات اقلیمی و مدیریت نادرست آب و خاک، تنش شوری موجب کاهش عملکرد گندم می‌گردد. استفاده از باکتری‌های محرک رشد، راهکاری سازگار با طبیعت برای کاهش اثرات تنش شوری بر عملکرد گندم است. این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه جداسازی شده از ریزوسفر چند گیاه شورپسند خودروی استان یزد بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد نشاسته گندم رقم قدس طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: صفات محرک رشد و مقاومت به شوری باکتری‌های جداسازی شده از ریزوسفر گیاهان آتریپلکس، اشنان، گز و سنبله نمکی بررسی گردید. در ادامه، بذر گندم با باکتری‌های برتر از لحاظ صفات محرک رشد گیاه و مقاوم به شوری شامل *Bacillus safensis*، *Bacillus pumilus* و *Zhihengliuella halotolerans* تلقیح شده و پس از کشت گلدانی در گلخانه با آب با شوری‌های ٤، ۸ و ۱٦ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری گردید. در پایان دوره رشد، شاخص‌های زیست توده کل، عملکرد و اجزای عملکرد و درصد آمیلوز و آمیلوپکتین بذر اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: هر سه باکتری مورد بررسی قادر به تولید ایندول استیک اسید بودند. بیش‌ترین مقدار تولید ایندول استیک اسید در باکتری *B. safensis* معادل ۲۹/۷۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد. هر سه باکتری قادر به تولید سیانید هیدروژن بودند و بیش‌ترین مقدار تولید سیانید هیدروژن در باکتری *Z. halotolerans* با درجه ۵ (بسیار بالا) مشاهده شد. هر سه باکتری قادر به تولید سیدروفور بودند. تولید ACC دآمیناز در هر سه باکتری مشاهده شد و

بیش‌ترین مقدار آن در باکتری *B. pumilus* به مقدار ۸ میکروگرم بر میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد. توانایی انحلال فسفات *Z. halotolerans* ۲/۳ برابر باکتری *B. safensis* بود. شوری باعث کاهش شاخص‌های مورد اندازه‌گیری در گندم شد. در تیمارهای تلقیح شده با باکتری در سطوح تنش شوری (٤، ٨ و ١٦ دسی‌زیمنس بر متر) زیست توده کل، آمیلوز و آمیلوپکتین به‌ترتیب تا ۵۲/۵، ۲۱/۳ و ۱۰/۳ درصد نسبت به متوسط این شاخص‌ها در تیمارهای شاهد (بدون باکتری) در همین سطوح شوری افزایش یافت. هم‌چنین باکتری‌ها در تمام سطوح شوری، وزن سنبله، وزن بذر و تعداد بذر را به‌ترتیب تا حداکثر ۲۲، ٧٤/٦ و ٦٦/٦ درصد نسبت به شاهد (بدون باکتری) افزایش دادند.

نتیجه‌گیری: باکتری‌های محرک رشد مورد بررسی باعث افزایش اجزای عملکرد گندم قدس تحت تنش شوری شده بنابراین برای کاهش اثرات شوری بر گندم در شرایط آبیاری با آب شور می‌توان از باکتری‌های مورد بررسی در این آزمایش استفاده کرد. *Z. halotolerans* در اغلب شاخص‌های مورد بررسی، کارآمدتر از دو باکتری دیگر بود. از آنجا که این آزمایش در شرایط گلخانه انجام شد، پیشنهاد می‌شود برای تکمیل یافته‌ها این آزمایش در شرایط مزرعه هم انجام گیرد.

استناد: مصلح آرانی، اصغر، امینی حاجی‌آبادی، علیرضا، قاسمی، سمیه، هادی راد، محمد (۱۴۰۰). بررسی تأثیر سه باکتری *Bacillus safensis*، *Bacillus pumilus* و *Zhihengliuella halotolerans* جداسازی شده از ریزوسفر گیاهان شورپسند بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد نشاسته گندم رقم قدس تحت تنش شوری. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۱ (۴)، ۱۴۰-۱۲۱.
DOI: 10.22069/ejsms.2022.18766.2005

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

پیش‌بینی می‌شود جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ میلادی به ۹/۱ میلیارد نفر برسد که برای تامین غذای آن‌ها باید تولید غلات اصلی از جمله گندم ۷۰ درصد نسبت به سال ۲۰۱۰ افزایش یابد. با این‌حال، تغییرات اقلیمی و تنش‌های محیطی، این افزایش تولید را با چالش روبرو نموده است (۱۲). شوری آب و خاک، از عوامل عمده محدودکننده تولید کشاورزی و امنیت غذایی در مناطق خشک و نیمه خشک بوده بطوری‌که باعث کاهش ۲۰ تا ۵۰ درصدی محصول غلات مهم شامل گندم، برنج و ذرت در سرتاسر جهان می‌باشد (۳۸). در این بین، گندم به‌عنوان منبع غذایی اصلی برای ٤۰ درصد مردم جهان، بیش‌ترین سطح زیر کشت در جهان را بخود اختصاص داده و در کشورهای در حال توسعه با تامین ٦۰ درصد کالری مورد نیاز روزانه، دارای جایگاه مرکزی در سبد تغذیه انسان است (۱۷). بررسی گستره اراضی متاثر از شوری در ایران، بیانگر افزایش سطح آن از ۱۵/۵ میلیون هکتار در سال ۱۹٦٤ به ۵۵/٦ میلیون هکتار در سال ۲۰۰۰ می‌باشد. علاوه بر خاک، حجم زیادی از آب‌های کشور (سطحی و زیرزمینی) نیز به‌خاطر عبور از تشکیلات زمین‌شناسی نمکی، دچار شوری است (۳۲). کاهش حاصلخیزی خاک، از دیگر عوامل محدودکننده رشد محصولات کشاورزی به‌شمار می‌رود. در دهه‌های گذشته، افزایش محصول عمدتاً با افزایش مصرف کودهای شیمیایی و بدون توجه به تأثیرات مخرب زیست‌محیطی آن‌ها حاصل شده به‌طوری‌که در فاصله زمانی ۲۰۰٤ تا ۲۰۱٤ میلادی، ۲۰ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی، ناشی از مصرف کودهای شیمیایی بوده است (۱۱). بر این اساس، استفاده از راهکارهای سازگار با طبیعت از الزامات حیاتی برای افزایش پایدار محصولات کشاورزی خواهد بود.

در سال‌های اخیر، استفاده از باکتری‌های محرک رشد ریزوسفری به‌عنوان یک راهکار برآمده از طبیعت و دارای منافع چندگانه مورد توجه پژوهشگران بخش کشاورزی قرار گرفته است. این باکتری‌ها با سازوکارهایی مانند تثبیت و قابل دسترس نمودن عناصر مغذی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آهن برای گیاه و تعدیل سطح هورمون‌های گیاهی، ضمن افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی مانند شوری، از میزان مصرف کودهای شیمیایی نیز می‌کاهند (۱۵).

تنش شوری با تاثیرات اسمزی، بر هم زدن توازن یونی سیتوپلاسم به‌ویژه نسبت پتاسیم به سدیم و افزایش تولید اشکال فعال اکسیژن، باعث اختلال در عملکرد آنزیم‌ها و کاهش عملکرد فتوسنتز در گیاهان می‌شود (۲٦ و ۲۸). این تأثیرات در گندم به شکل کاهش زیست توده گیاهی و کاهش عملکرد و اجزای عملکرد زایشی مانند طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد و وزن دانه ظاهر می‌شود (۱٦). از آنجا که حدود ۷۰ درصد وزن خشک دانه گندم را نشاسته تشکیل می‌دهد، بنابراین در شرایط تنش شوری، کاهش محتوای ساکارز قابل ذخیره به‌صورت نشاسته (۱) و کاهش فعالیت آنزیم‌های سازنده نشاسته به‌دلیل کاهش نسبت پتاسیم به سدیم (۵) از عوامل مؤثر در کاهش وزن دانه گندم گزارش شده است. در مقابل، باکتری‌های محرک رشد ریزوسفری با سازوکارهایی مانند انحلال فسفات معدنی و افزایش میزان پرولین، قندهای محلول، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، نسبت پتاسیم به سدیم و هورمون‌های ایندول استیک اسید و ACC دآمیناز در گندم، فشار تورگر و توازن عناصر مغذی را تامین نموده و با افزایش میزان فتوسنتز، زیست توده و عملکرد و اجزای عملکرد زایشی گندم را بهبود می‌بخشند (۸).

با توجه به گستردگی منابع آب و خاک شور و نیز اهمیت راهبردی گندم در تامین امنیت غذایی کشور، پژوهش حاضر به بررسی تأثیر سه سویه باکتری جداسازی شده از ریزوسفر گیاهان شورپسند بومی استان یزد بر افزایش مقاومت به شوری گندم رقم قدس در قالب شاخص‌های زیست‌توده کل و اجزای عملکرد زایشی گندم پرداخته است. از آن‌جا که رقم قدس، حاصل عملیات به‌نژادی و مناسب برای کشت در مناطق معتدل کشور بوده (۳۵) ولی به شوری حساس است (۳٦) بنابراین افزایش مقاومت آن به شوری از طریق باکتری‌های محرک رشد ریزوسفری می‌تواند تأثیر مطلوبی در افزایش عملکرد محصول گندم در سطح کشور داشته باشد.

مواد و روش‌ها

باکتری‌های شورپسند از ریزوسفر چهار گونه شورپسند آتریپلکس (*Atriplex lentiformis* Torr. S. Watson)، گز (*Tamarix ramosissima* Ledeb)، اشنان (*Seidlitzia rosmarinus* Ehrenb. ex Bois) و سنبله نمکی (مارونگ) (*Halostachys belangeriana* (Moq.) Botsch) از رویشگاه این گیاهان در منطقه چاه‌افضل اردکان در ۷۰ کیلومتری شهر یزد در اردیبهشت ماه ۱۳۹۷ جداسازی شد. نمونه‌برداری خاک ریزوسفری (خاک یک تا دو میلی‌متری ریشه) از ریشه‌های باریک که در عمق حدود یک متری سطح زمین قرار داشتند از گونه‌های درختچه‌ای شورزی بیابانی مورد نظر صورت گرفت. برای جداسازی باکتری‌ها ۱۰ گرم از خاک ریزوسفری به ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۹۰ میلی‌لیتر محلول کلرید سدیم ۰/۹ درصد منتقل و به‌مدت ۳۰ دقیقه به‌وسیله شیکر با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد تکان داده شدند. سپس سری‌های رقت خاک تهیه و یک‌دهم میلی‌لیتر از رقت 10^{-4} آن بر روی ظروف پتری‌دیش حاوی محیط کشت آگار مغذی پخش گردید و در یخچال در دمای چهار درجه سلسیوس برای مطالعه بیش‌تر ذخیره شدند.

جهت جداسازی باکتری‌های مقاوم به شوری از نمونه‌های خاک ریزوسفری، عصاره‌های خاک روی محیط‌های کشت نوترینت آگار با سطوح شوری صفر (شاهد)، ٤، ۱٦، ۳۲، ٦٤، ۱۲۰، ۱٦۰ و ۲۰۰ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم در سه تکرار به‌صورت یکنواخت کشت و سپس پلیت‌ها به مدت یک هفته در انکوباتور در دمای ۲۸ درجه سلسیوس نگهداری شدند. بعد از گذشت یک هفته، باکتری‌های مقاوم (جدایه مقاوم به شوری جداسازی شده از ریزوسفر هر گیاه که قادر به رشد روی محیط‌های کشت نوترینت آگار با سطح شوری ۱٦۰ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم بودند) جداسازی شدند و خالص‌سازی آن‌ها با روش کشت خطی انجام شد (۲۳). فقط یک یا دو جدایه باکتری از هر گیاه و در مجموع ٦ جدایه باکتری روی محیط کشت نوترینت آگار با سطح شوری ۱٦۰ دسی‌زیمنس بر متر کلرید سدیم رشد کردند و در مرحله بعد صفات محرک رشد گیاه آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس از بین آن‌ها، جدایه‌های برتر از لحاظ صفات محرک رشد گیاه انتخاب گردید. با انجام شناسایی مولکولی جدایه‌های برتر، دو جدایه مشابه تشخیص داده شده و بنابراین در نهایت سه گونه باکتری با نام علمی *B. safensis* (MW295355) (از ریزوسفر آتریپلکس لنتی فورمیس)، *B. pumilus* (MW295357) (از ریزوسفر مارونگ و کوره‌گز) و *Zhihengliuella halotolerans* (MW295355) (از ریزوسفر اشنان) شناسایی گردید. شناسایی جدایه‌های باکتری بر اساس تعیین توالی ژن rRNA 16S (٤۲) انجام شد. تمام مراحل شناسایی جدایه باکتری‌ها توسط شرکت سلول کاوشگر ژن پژوه (شماره ثبت ۳٤۳۸۱) انجام شد.

اندازه‌گیری کمی تولید ایندول استیک اسید طبق روش بنت و همکاران (۲۰۰۱) (۹)، اندازه‌گیری انحلال فسفات معدنی طبق روش ژین و همکاران (۲۰۰۳) (۲۵)، ارزیابی تولید سیدروفور از روش الکساندر و زوبرر (۱۹۹۱) (۲)، توان تولید سیانید هیدروژن از روش دونیت کوریا و همکاران (۲۰۰٤) (۱۳) و سنجش فعالیت ACC دآمیناز از روش هانما و شیمورا (۱۹۷۸) (۲۱) تعیین شد.

بذر گندم رقم قدس از بخش تحقیقات غلات مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد تهیه شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با دو فاکتور شامل گونه باکتری در چهار سطح (بدون باکتری به‌عنوان شاهد و ۳ جدایه باکتری متحمل به شوری از گیاهان شورپسند منطقه)، تنش شوری در چهار سطح شوری (آب آبیاری با شوری ۰/۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان شاهد و شوری‌های ٤، ۸ و ۱٦ دسی‌زیمنس بر متر از طریق اضافه کردن کلرید سدیم به آب شاهد تهیه شد) و در سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. بذرها، با گونه‌های باکتری‌های مورد نظر با تراکم جمعیت ۳×۱۰^{۸} در هر میلی‌لیتر سوسپانسیون، به مدت ٤٥ دقیقه تلقیح شد. بذرها با استفاده از الکل ۷۰ درصد به‌مدت یک دقیقه و محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به‌مدت ۵ دقیقه استریل سطحی شده و به‌منظور حذف سمیت هیپوکلریت سدیم، بذرها با استفاده از آب مقطر استریل ده بار آبکشی شدند.

برای تلقیح بذرها، به ازای هر سویه باکتری، یک ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی لیتر محیط کشت نوترینت براث تهیه گردید. برای تهیه مایه تلقیح، یک کلنی خالص از هر باکتری برداشته و تحت شرایط استریل به یک ارلن حاوی محیط کشت اضافه گردید. ارلن هر باکتری روی شیکر با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه و دمای ۲۸ درجه سلسیوس قرار داده شدند. پس از ٤۸ ساعت مایه تلقیح سویه‌ها با جمعیت تقریبی ۳×۱۰^{۸} (تنظیم جمعیت باکتری با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر صورت گرفت تا تمام سویه‌های باکتری دارای جمعیت یکسان باشند) آماده مصرف شدند. سپس بذرهای استریل سطحی شده به ارلن‌های حاوی مایه تلقیح باکتری‌های مورد مطالعه اضافه و به‌مدت ٤٥ دقیقه روی شیکر با دور ۱۲۰ و دمای ۲۸ درجه سلسیوس قرار داده شد. علاوه بر این، بعد از کشت بذرها در گلدان، به هر بذر ۳ میلی‌لیتر مایع تلقیح اضافه شد. پس از تهیه خاک مناسب و تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن (جدول ۱) خاک‌ها به مدت یک ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۵ اتمسفر دراتوکلاو استریل شدند. برای کاشت بذرها از گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۲۱ سانتی متر و قطر دهانه ۱٦ سانتی‌متر استفاده و به هر گلدان ۲ کیلوگرم خاک اضافه شد. بذور تلقیح شده با باکتری روی کاغذ صافی‌های استریل و مرطوب در داخل انکوباتور جوانه‌دار شدند. در هر گلدان ۸ بذرجوانه زده در عمق ۲ سانتی‌متری و با فاصله‌های یکسان کاشته شدند. دقت شد تا از بذوری استفاده شوند که اندازه ریشه‌چه آن‌ها برابر بودند. در طول دوره رشد گیاه در گلخانه، درجه حرارت روز و شب به‌ترتیب برابر با ۳۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. آبیاری گیاهان تا آغاز مرحله سه برگی با آب شاهد بوده و پس از مرحله سه‌برگی، ضمن تنک کردن گیاهان، چهار گیاه انتخاب شد که دارای اندازه برابر بودند. گیاهان در مرحله سه‌برگی فقط در دو مرحله محلول هوگلند دریافت کردند (۱۹). برای جلوگیری از وارد شدن شوک به گیاهان، تیمارهای شوری به‌صورت تدریجی اعمال شد. هم‌چنین به‌منظور اطمینان از رسیدن به شوری

مورد نظر هر هفته یک بار هدایت الکتریکی زه‌آب گلدان‌ها اندازه‌گیری شده و در صورت افزایش بیش از شوری تیمار، آبشویی با آب شاهد انجام گردید.

بعد از مرحله رشد کامل بوته‌ها، زیست توده خشک کل (وزن خشک ریشه + وزن خشک بخش هوایی)، برخی پارامترهای اجزای عملکرد زایشی شامل طول سنبله، وزن خشک سنبله، تعداد سنبلچه، تعداد گلچه، تعداد بذر و وزن خشک بذر بر پایه گندم، درصد آمیلوز و درصد آمیلوپکتین نشاسته بذر طبق روش هو و همکاران (۲۰۱۲) (۲۲) اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و مقایسه میانگین‌ها نیز به روش دانکن در سطح ۰/۰۵ انجام شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در آزمون گلخانه‌ای.

Table 1. Selected physical and chemical characteristics of the greenhouse experiment soil.

بافت	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	مس Cu	سدیم Na	منیزیم Mg	درصد اشباع SP	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC
	(%)	(%)	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(%)	(1:2)	(dSm^{-1})
لوم شنی	8	19	73	0.72	10	204	31	7.24	2.9

ادامه جدول ۱-

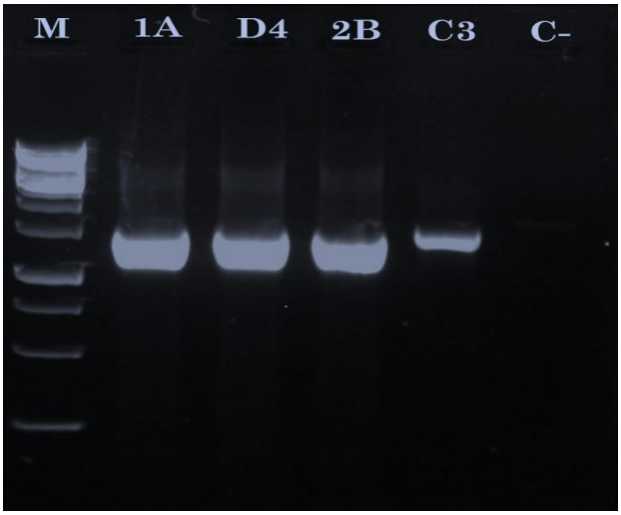
Continue of Table 1.

کلسیم Ca	سدیم قابل‌جذب SAR	کربن C	منگنز Mn	آهن Fe	روی Zn	پتاسیم قابل‌جذب K	درصد مواد خنثی‌شونده	فسفر قابل‌جذب P	نیتروژن N
(mg/kg)		(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)		(mg/kg))	(%)
312.6	2.9	0.42	10.42	8.5	1.04	168	29.6	15.8	0.035

نتایج و بحث

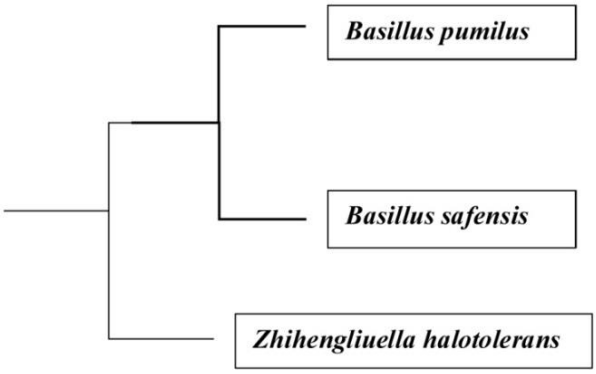
جدایه‌ها و شناسایی مولکولی و صفات محرک رشد گیاه آن‌ها:

نتایج شناسایی مولکولی نشان داد که دو گونه برتر باکتری متعلق به جنس باسیلوس به‌نام‌های *B. safensis* (MW295355) (از ریزوسفر آتریپلکس لنتی‌فورمیس) و *B. pumilus* (MW295357) (از ریزوسفر مارونگ و کوره‌گز) بود. گونه دیگر به‌نام *Z. halotolerans* (MW295355) (از ریزوسفر اشنان) شناسایی گردید. شکل ۱ محصول PCR به همراه کنترل منفی روی ژل آگار ۱ درصد را نشان می‌دهد. درخت فیلوژنی حاصل از توالی‌های 16S rRNA سویه‌ها نشان داد که سه باکتری در سه گونه متفاوت طبقه‌بندی شدند (شکل ۲).



شکل ۱- باندهای محصول PCR به همراه کنترل منفی روی ژل آگار ۱ درصد.

Figure 1. PCR product bands with negative control on 1% agar gel.



شکل ۲- درخت فیلوژنیک گونه‌ها.

Figure 2. Phylogenetic tree species.

نتایج نشان داد که هر سه باکتری مورد بررسی قادر به تولید ایندول استیک اسید بودند. بیش‌ترین مقدار تولید ایندول استیک اسید در باکتری *B. safensis* معادل ۲۹/۷۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد. هر سه باکتری قادر به تولید سیانید هیدروژن بودند و بیش‌ترین مقدار تولید سیانید هیدروژن بر اساس تغییر رنگ کاغذ صافی در باکتری *Z. halotolerans* با درجه ۵ (بسیار بالا) مشاهده شد. مقدار تولید سیدروفور با اندازه‌گیری قطر هاله نارنجی رنگ اطراف کلونی گونه‌ها ارزیابی شد. نتایج حاصل از بررسی توانایی تولید سیدروفور نشان داد هر سه باکتری قادر به تولید سیدروفور بودند. فعالیت آنزیم ACC دآمیناز در هر سه باکتری مشاهده شد و بیش‌ترین مقدار آن در باکتری *B. pumilus* به مقدار ۸ میکرومول آلفا-کتوبوتیرات بر ساعت بر میلی‌گرم پروتئین اندازه‌گیری شد. ارزیابی توانایی انحلال تری کلسیم فسفات در محیط مایع توسط باکتری‌ها نشان داد که هر سه باکتری قادر به انحلال آن بودند. توانایی انحلال فسفات در باکتری *Z. halotolerans* (۱۶۲ $\mu g\ ml^{-1}$) بیش‌تر از ۲/۳ برابر باکتری *B. safensis* بود (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین تولید ایندول ۳ استیک اسید (ایندول استیک اسید)، سیانید هیدروژن، سیدرفور، ACC دآمیناز و توان انحلال فسفات باکتری‌های مورد مطالعه.

Table 2. Mean production of Indole 3 Acetic Acid, Hydrogen Cyanide, Siderophore, ACC-deaminase activity and phosphate solubilization ability by studied Bacteria.

انحلال فسفات Phosphate Solubilization ($\mu g\ ml^{-1}$)	ACC دآمیناز ACC deaminase (μmol of α-ketobutyrate $h^{-1}\ mg^{-1}$ protein)	سیدروفور Siderophore (halo to colony diameter, cm)	سیانید هیدروژن Hydrogen Cyanide (colour degree)	ایندول ۳ استیک اسید Indole 3 Acetic Acid ($\mu g\ ml^{-1}$)	باکتری‌ها Bacteria
70.33	6^{b}	1.50^{a}	3^{b}	29.72^{a}	*B. safensis*
116.33	8^{a}	0.50^{b}	3^{b}	22.57^{b}	*B. pumilus*
162.08	6^{b}	0.14^{c}	5^{a}	26.82^{a}	*Z. halotolerans*

نتایج جدول آنالیز واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر باکتری بر همه صفات به‌جز طول سنبله معنی‌دار بود. اثر شوری بر زیست‌توده، وزن سنبله/پایه، وزن هزاردانه، محتوای آمیلوز و محتوای آمیلوپکتین معنی‌دار بود. اثر متقابل شوری × باکتری بر مقدار کلیه صفات مورد نظر بجز طول سنبله، تعداد سنبلچه و تعداد گلچه گیاه معنی‌دار بود.

جدول ۳- میانگین مربعات صفات زیست توده کل و اجزای عملکرد زایشی گندم تیمار شده با گونه‌های مختلف باکتری در سطوح مختلف شوری.

Table 3. Mean square total biomass and yield components traits of wheat treated with different strains of bacteria at different levels of salinity.

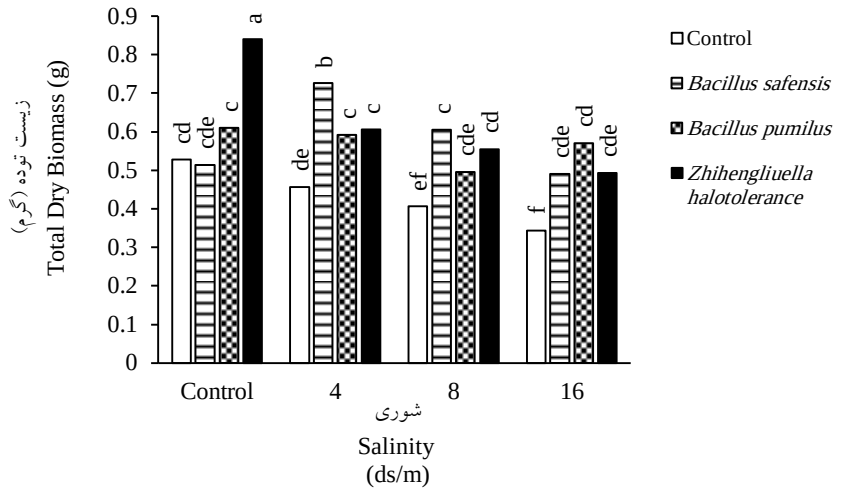
محتوای آمیلوپکتین Amylopectine	محتوای آمیلوز Amylose	وزن هزاردانه 1000 - grain Weight	تعداد گلچه/پایه Floret Number $Plant^{-1}$	تعداد سنبلچه/پایه Spikelet Number $plant^{-1}$	وزن سنبله Spike Weight	طول سنبله Spike Length	زیست توده Biomass	درجه آزادی df	منبع تغییر Source of variation
62.8^{**}	40.0^{**}	385^{**}	48.0^{ns}	0.8^{ns}	0.01^{**}	0.73^{ns}	0.06^{**}	3	شوری Salinity
17.5^{**}	9.8^{**}	221^{**}	126.0^{*}	17.0^{**}	0.03^{**}	1.01^{ns}	0.08^{**}	3	باکتری‌ها Bacteria
4.8^{**}	3.1^{**}	44^{**}	66.0^{ns}	2.0^{ns}	0.05^{*}	0.76^{ns}	0.024^{**}	9	شوری× باکتری Salinity×Bacteria
0.6	0.04	14	32.0	1.0	0.002	0.38	0.004	32	خطا Error
2.17	1.48	15.18	13.47	8.60	9.05	8.60	11.46		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

^{ns}، ** و * به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح یک درصد و پنج درصد

**, *, ^{ns}, Significant at $P\leq0.01$, significant at $P\leq0.05$, non - significant respectively

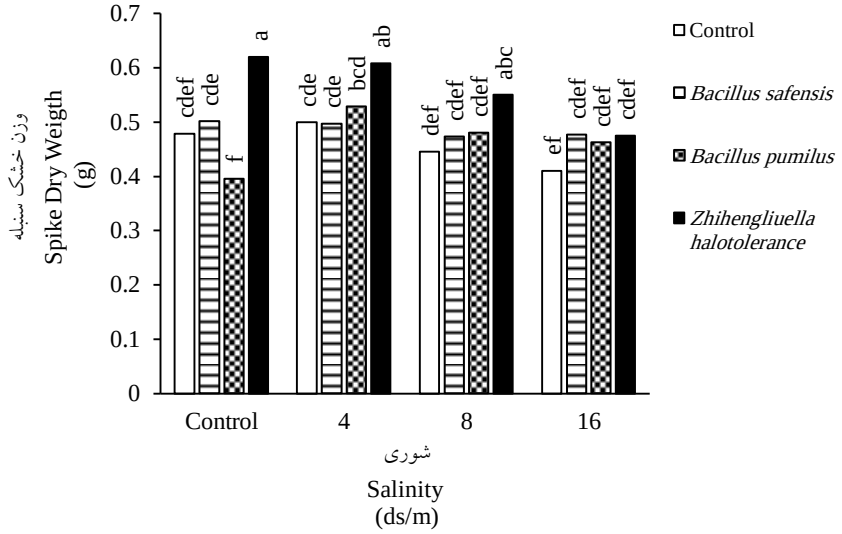
نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد در تیمار بدون باکتری با افزایش شوری زیست توده کل کاهش یافت، به‌طوری‌که مقدار آن در شوری ۱٦ دسی‌زیمنس بر متر ۳٦ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. در سطح شوری ۱٦ دسی‌زیمنس بر متر باکتری‌های *B. safensis*، *B. pumilus* و *Z. halotolerans*

به‌ترتیب باعث افزایش ۲۹/۸، ۳۹/٦ و ۳۰ درصدی زیست‌توده نسبت به تیمار بدون باکتری در سطح شوری ١٦ شدند (شکل ۳). نتایج هم‌چنین نشان داد در تیمار بدون باکتری، تیمار سطح شوری ٤ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر فقط باکتری *Z. halotolerans* باعث افزایش وزن خشک سنبله شد، به‌طوری‌که این باکتری در سطح شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش معنی‌دار ۱۸ درصدی وزن سنبله نسبت به تیمار بدون باکتری در سطح شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر گردید (شکل ٤).



شکل ۳- اثرات متقابل شوری× باکتری بر زیست توده خشک کل (ستون‌های با حروف مشابه، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ندارند).

Figure 3. Interaction salinity×bacteria on total Dry biomass. (Columns with same letters, dont have significant difference at 0.05 probability level).



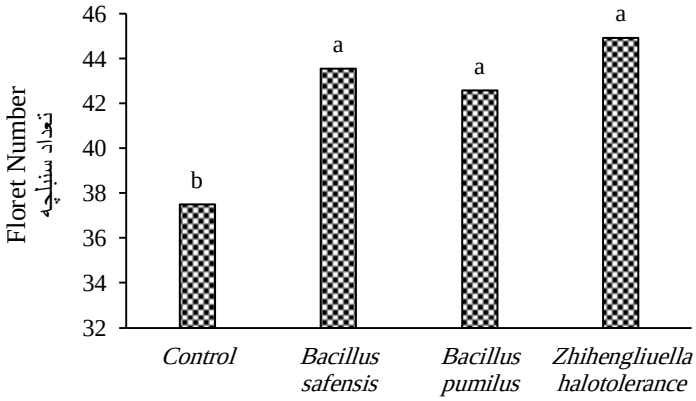
شکل ٤- اثرات متقابل شوری × باکتری بر وزن خشک سنبله (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند).

Figure 4. Interaction salinity×bacteria on spike dry weight (Columns with same letters, don't have significant difference at 0.05 probability level).

تنش شوری از طریق اختلال اسمزی، سمیت سیتوپلاسمی ناشی از جذب بیش از حد یون‌هایی مانند سدیم و عدم توازن عناصر مغذی و تنش اکسیداتیو ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن، موجب اختلال در فعالیت فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه شده که نتیجه آن کاهش عملکرد فتوسنتز، رشد و نمو و در نهایت کاهش عملکرد رویشی گیاه خواهد بود (٢٤ و ٢٧). در پژوهش حاضر، زیست توده کل تیمارهای تلقیحی با همه باکتری‌ها در هر یک از سطوح شوری نسبت به شاهد خود افزایش یافت که مطابق مطالعات مشابه در این زمینه (٦) می‌باشد. با توجه به قابلیت انحلال فسفات توسط باکتری‌های مورد بررسی در این پژوهش (احتمالاً از طریق ترشح اسیدهای آلی)، ممکن است باکتری‌های مزبور از یکسو با ترشح اسیدهای آلی بر پتاسیم معدنی، شکل قابل جذب آنرا برای گیاه در محیط ریزوسفر افزایش داده (٢٦) و از سوی دیگر با تولید اگزوپلی‌ساکاریدها و بدام انداختن سدیم، میزان سدیم در دسترس گیاه را کاهش داده و در مجموع، این فرصت را برای گیاه فراهم نمایند تا تعادل یونی را از طریق افزایش جریان پتاسیم به بخش هوایی و راندن سدیم به ریشه‌ها برقرار نماید (٤١). تأثیر مشابه باکتری‌های محرک رشد بر افزایش نسبت پتاسیم به سدیم برگ گندم در شرایط شوری در مطالعات دیگر نیز (١٤) گزارش شده است. فسفر از دیگر عناصر مهم جهت رشد و ترمیم گیاه بوده که در ذخیره و انتقال انرژی در طی فتوسنتز و برای تقسیم سلولی و تشکیل RNA و DNA ضروری است. با این وجود در شرایط تنش شوری، امکان استفاده از فسفر برای گیاه به‌دلیل رقابت بین یونهای $H_2PO_4^-$ و CL^- در جذب به ریشه، تثبیت در ترکیب $Ca_3(PO_4)_2$ و نیز مشکل انتقال فسفر از ریشه به بخش هوایی گیاه در شرایط شوری، کاهش یافته که منجر به کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود. بنابراین، معدنی کردن فسفر آلی و انحلال فسفر معدنی به‌ترتیب از طریق ساخت آنزیم‌های فسفاتاز و فیتاز و اسیدهای آلی مانند گلونیک اسید و سیتریک اسید از جمله صفات محرک رشد بسیار مهم بوده که می‌تواند در یک باکتری وجود داشته باشد (٤). علاوه‌بر این، تولید سیانید هیدروژن توسط باکتری‌ها که گمان می‌شد صرفاً با محدود نمودن عوامل بیماری‌زا باعث رشد گیاه می‌شود، هم‌چنین می‌تواند باعث افزایش غیرمستقیم فراهمی فسفر از طریق کلات با عناصر فلزی ترکیب شده با فسفر و رهاسازی فسفر در ریزوسفر گردد (٣٤). در پژوهش حاضر، هر سه باکتری مورد استفاده قابلیت انحلال فسفات و تولید سیانید هیدروژن داشته و باعث افزایش میزان فسفر برگ گندم تیمار شده با باکتری در سطوح تنش شوری نسبت به تیمارهای بدون باکتری در همین سطوح شوری شدند (نتایج نشان داده نشده است). افزایش فسفر برگ گندم در تنش شوری توسط باکتری‌های محرک رشد گیاه در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (٣). هورمون ایندول استیک اسید تولیدی توسط باکتری‌های مورد بررسی نه تنها با افزایش تعداد و طول ریشه‌های فرعی باعث افزایش جذب مواد مغذی از ریزوسفر شده بلکه بر تقسیم، تمایز و طویل شدن سلول، افزایش جریان شیره خام، تشکیل رنگدانه‌های گیاهی و افزایش عملکرد فتوسنتز تأثیر نیز دارد (٤٠). ایندول استیک اسید نقش قابل‌توجهی در افزایش محتوای کلروفیل ایفا می‌کند به‌طوری‌که طی یک پژوهش، کاربرد ppm ١٠٠ ایندول استیک اسید بر برگ گندم، باعث افزایش ٣١ درصدی محتوای کلروفیل نسبت به شاهد شد (٢٠).

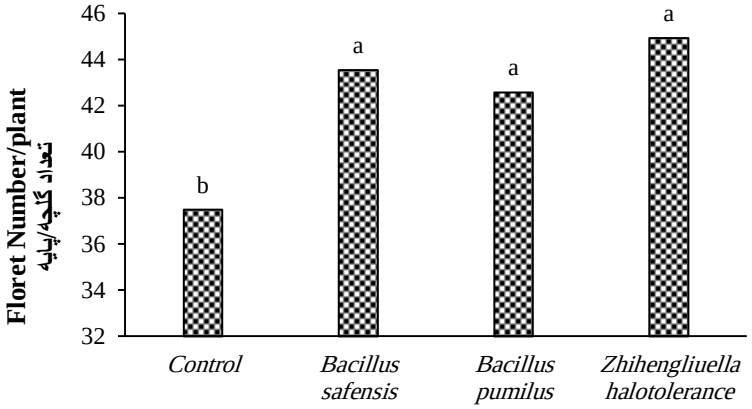
یکی از عوامل کاهش رشد گندم، افزایش میزان هورمون اتیلن و تجمع آن در ریشه در شرایط شوری می‌باشد. در این شرایط، آنزیم ACC دآمیناز نقش کلیدی در تسهیل رشد گیاهی در شرایط تنش ایفا نموده بدین‌صورت که در پاسخ به تنش از جمله شوری و زیاد شدن میزان ایندول استیک اسید در گیاه (مجموع ایندول استیک اسید باکتریایی و ایندول استیک اسید گیاهی)، بخشی از ایندول استیک اسید صرف رشد گیاه و بخشی موجب تولید ACC به‌عنوان پیش ماده تولید اتیلن می‌شود. در این مرحله چنان‌چه باکتری محرک رشد قادر به تولید ACC دآمیناز باشد این مقدار ACC اضافی ناشی از ایندول استیک اسید را خنثی نموده که در غیر اینصورت به اتیلن تبدیل و موجب کاهش رشد گیاه می‌شود. بنابراین، باکتری‌های دارای توان تولید مشترک ایندول استیک اسید و ACC دآمیناز از عملکرد بهینه در افزایش رشد گیاهی در شرایط تنش برخوردار هستند (۱۸). باکتری‌های مورد بررسی در این پژوهش با تولید ایندول استیک اسید و ACC دآمیناز باعث افزایش رشد ریشه و به‌دنبال آن افزایش جذب مواد مغذی و در نتیجه افزایش زیست‌توده و فتوسنتز گردید. بر این اساس، برتری باکتری *Bacillus safensis* در افزایش شاخص زیست توده کل گندم قدس در این پژوهش را می‌توان ناشی از بیشتر بودن توان تولید ایندول استیک اسید آن نسبت به دو باکتری دیگر در کنار داشتن توان تولید ACC دآمیناز دانست.

نتایج نشان داد که هر سه باکتری باعث افزایش معنی‌دار تعداد سنبلچه و تعداد گلچه در گندم شد. در این میان باکتری *Z. halotolerans* با افزایش بیش‌تر از ۱۶/۵ درصدی این دو شاخص نسبت به دو باکتری دیگر تأثیر بیش‌تری داشت (شکل‌های ۵ و ۶).



شکل ۵- اثر باکتری بر تعداد سنبلچه/پایه (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند).

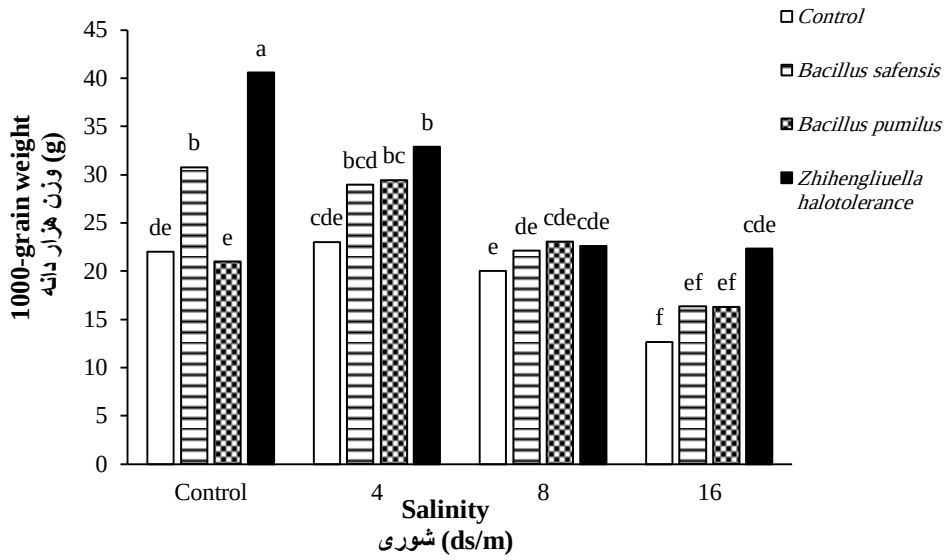
Figure 5. the effect of salinity on spikelet number/plant (Columns with same letters, don't have significant difference at 0.05 probability level).



شکل ٦- اثر باکتری بر تعداد گلچه/پایه (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ٥ درصد می‌باشند).

Figure 6. the effect of salinity on floret number/plant (Columns with same letters, don't have significant difference at 0.05 probability level).

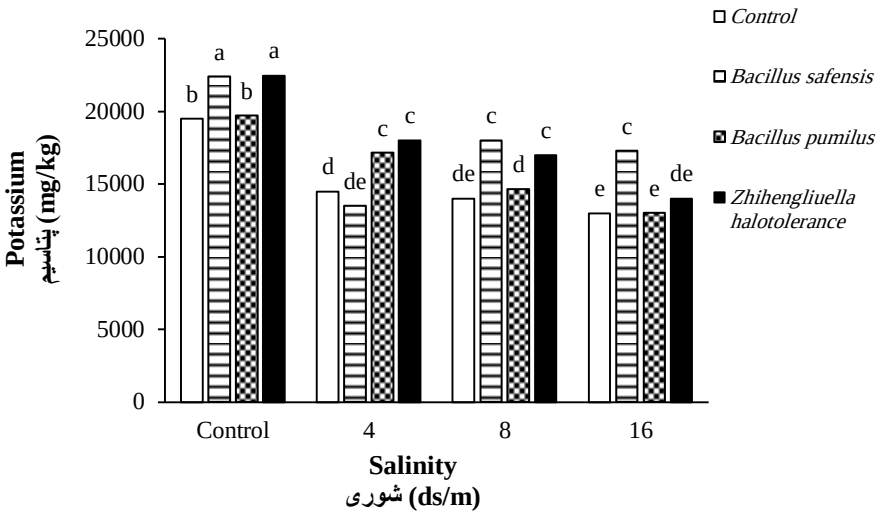
نتایج نشان داد که در تیمار بدون باکتری مقدار هزاردانه بذر در سطح شوری ١٦ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد ٤٤ درصد کاهش یافت. باکتری *Z. halotolerans* در شوری ٤ و ١٦ دسی‌زیمنس و در شرایط غیر شور باعث افزایش مقدار هزاردانه بذر شد به‌طوری‌که این افزایش در سطح شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر برابر با ۳۰ درصد نسبت به شاهد در سطح شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر بود (شکل ۷).



شکل ۷- اثرات متقابل شوری × باکتری بر وزن هزاردانه بذر (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ٥ درصد می‌باشند).

Figure 7. Interaction salinity×bacteria on 1000-grain weight (Columns with same letters, don't have significant difference at 0.05 probability level).

محتوای پتاسیم برگ با افزایش شوری کاهش داشت چنان‌که میزان آن در سطح شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر معادل ٦٦/٧ درصد مقدار شاهد بود. باکتری *Bacillus pumilus* در شوری ٤، *Z. halotolerans* در شوری‌های ٤ و ٨ و *Bacillus safensis* در شوری‌های ٨ و ١٦ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش معنی‌دار میزان پتاسیم برگ نسبت به شاهد گردید. بیشینه افزایش معنی‌دار پتاسیم به میزان ۳۳ درصد مربوط به باکتری *Bacillus safensis* در شوری ١٦ دسی‌زیمنس بر متر بود. در مجموع سطوح تنش شوری، *Z. halotolerans* پتاسیم برگ را بیش از دو باکتری دیگر و به میزان متوسط ۱۸ درصد افزایش داد (شکل ٨).



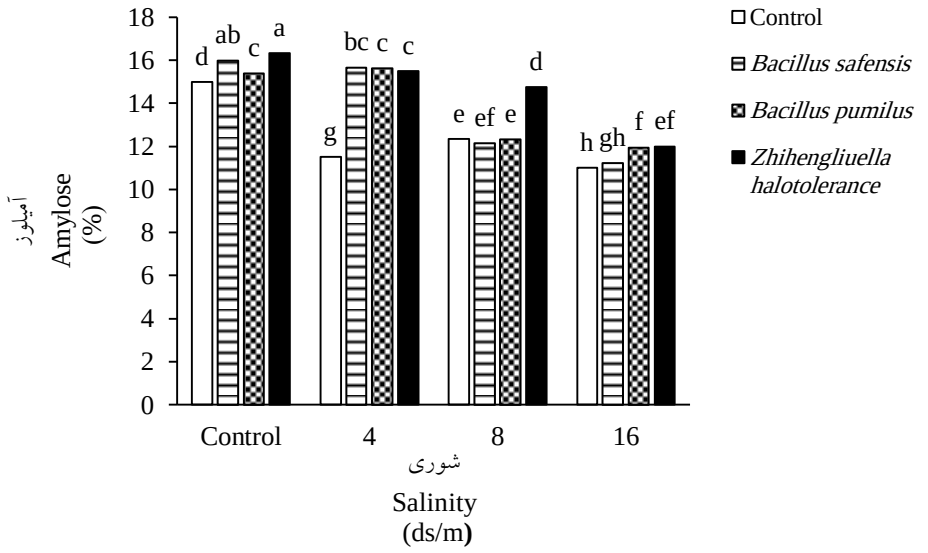
شکل ٨- اثرات متقابل شوری × باکتری بر مقدار پتاسیم (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ٥ درصد می‌باشند).

Figure 8. Interaction salinity × bacteria on amounts of Potassium (Columns with same letters, don't have significant difference at 0.05 probability level).

میزان آمیلوز و آمیلوپکتین بذر در تیمار بدون شوری با افزایش شوری کاهش یافت به‌طوری‌که در شوری ١٦ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ٢٦/٧ و ٢٠ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل‌های ٥ و ٦). در مقابل باکتری‌های *Z. halotolerans*، *B. pumilus* و *B. safensis* در سطح شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش میزان آمیلوز به‌ترتیب ٢٧، ٣/٢٦ و ٢٥/٨ درصد نسبت به شاهد در سطح شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر شد. میزان آمیلوپکتین نیز در سطوح تنش شوری توسط باکتری‌ها افزایش یافت به‌طوری‌که در شوری ١٦ دسی‌زیمنس بر متر باکتری‌های *Z. halotolerans*، *B. pumilus* و *B. safensis* باعث افزایش به‌ترتیب ۱۳/۷، ۱۰/۷ و ۹ درصدی آمیلوپکتین نسبت به شاهد در سطح شوری ١٦ دسی‌زیمنس بر متر شد.

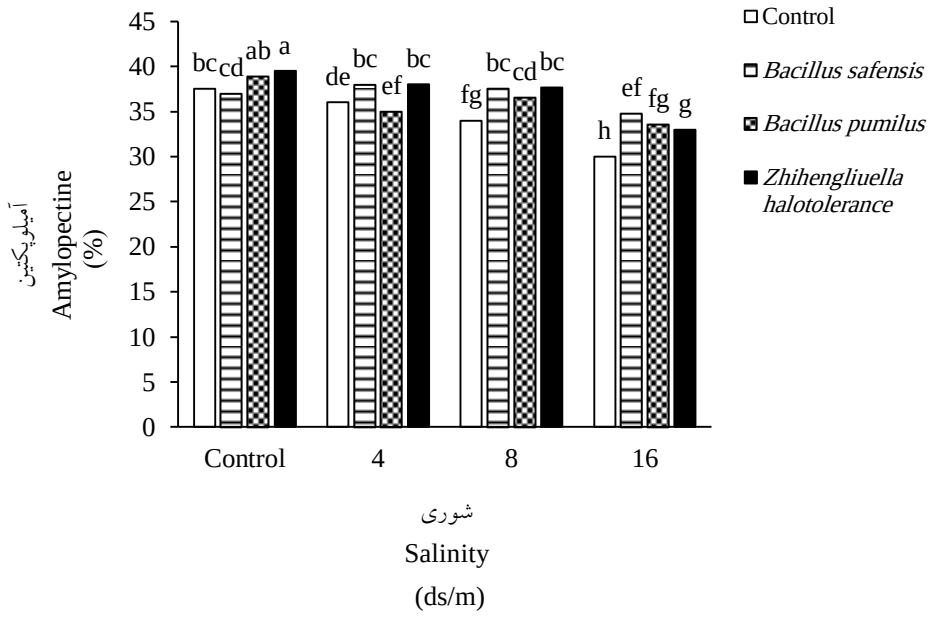
اصولاً گیاهان برای حفظ انرژی، منابع قابل‌دسترس خود را صرف تولید گل و بذر می‌کنند. با این حال چنان‌چه در شروع مراحل توسعه زایشی، گیاه با تنش روبرو باشد ممکن است بر حسب شدت تنش از تولید بافت‌های زایشی منصرف شده یا از میزان آن بکاهد (١١). در پژوهش حاضر نیز با توجه به دوام تنش شوری در مرحله زایشی، کاهش در

اجزای عملکرد زایشی شامل وزن خشک سنبله، تعداد بذر و وزن خشک بذر تیمارهای تحت تنش شوری نسبت به شاهد قابل مشاهده بود. تغییرات میزان آمیلوز و آمیلوپکتین به‌عنوان اجزای تشکیل‌دهنده نشاسته گندم در تیمارهای تحت تنش در این آزمایش با توجه به متابولیسم کربن قابل‌تحلیل است. متابولیسم کربن، رابطه بین ارگان‌های تولیدکننده (مانند برگ‌ها) و مصرف یا ذخیره‌کننده کربن (ریشه‌ها و بذرها) می‌باشد. جایگاه و اهمیت نسبی محل ذخیره کربن متأثر از بلوغ گیاه و قابلیت دسترسی به عناصر مغذی تغییر می‌کند. در طی رشد رویشی، ریشه‌ها و برگ‌های نابالغ بزرگ‌ترین ذخیره‌گاه‌های کربن بوده که با حرکت گیاه به مرحله زایشی، محل ذخیره کربن به گل‌ها و بذرها تغییر می‌یابد. اما چنان‌چه مواد مغذی قابل دسترس گیاه در هر مرحله‌ای از رشد محدود گردد کربن بیش‌تری به ریشه‌ها تخصیص خواهد یافت تا جذب و استفاده از عناصر مغذی خاک افزایش یابد که در نتیجه محل‌های ذخیره کربن و نیز نسبت بین منابع کربن در گیاه (ساکارز و نشاسته) تغییر می‌کند. در واقع، ساکارز و نشاسته دو جزء کلیدی کربن در گیاه بوده که نقش متقابل و در عین‌حال تکمیلی برای یکدیگر دارند. در غلات معتدله مانند گندم و جو، کربن اولیه ذخیره برگ به شکل ساکارز بوده و توسعه نشاسته ذخیره در بذر، به قابل دسترس بودن کربن در بافت‌های مادری که تبدیل ساکارز به نشاسته را ممکن کند بستگی دارد (۳۷). سطوح تنش شوری در این آزمایش، باعث کاهش جذب و اختلال در توازن عناصر مغذی در گیاه شده که نتیجه آن به‌صورت کاهش فتوسنتز بروز نمود. با محدود شدن فتوسنتز، ساکارز مازاد قابل ذخیره به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد چرا که سلول‌های برگ از قندهای محلول برای تنظیم اسمزی مختل شده در اثر تنش شوری استفاده می‌کنند (۱). در این شرایط است که تجزیه نشاسته به‌عنوان پاسخ مشترک گیاهان تحت تنش شوری در برگ گیاه (۳۹) رخ داده که کاهش درصد آمیلوز و آمیلوپکتین بذرهای مورد بررسی در این آزمایش (شکل‌های ۵ و ٦) در این راستا قابل توجیه است.



شکل ۹- اثرات متقابل شوری × باکتری بر محتوای آمیلوز بذر (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند).

Figure 9. Interactin salinity × bacteria on seed amylose content (Columns with same letters, dont have significant difference at 0.05 probability level).



شکل ۱۰- اثرات متقابل شوری × باکتری بر محتوای آمیلوپکتین بذر (ستون‌های با حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند).

Figure 10. Interaction salinity × bacteria on seed amylopectine content (Content with same letters, dont have significant difference at 0.05 probability level).

باکتری‌های *Bacillus safensis*، *Bacillus pumilus* و *Z. halotolerans* مورد بررسی در این آزمایش با مجموعه سازوکارهای متنوع محرک رشد (جدول ۲) باعث کاهش اثرات تنش شوری و افزایش وزن سنبله، تعداد و وزن بذر، درصد آمیلوز و آمیلوپکتین بذر گندم گردیدند. از جمله نتایج کارکرد سه باکتری مورد مطالعه، افزایش جذب عناصر مغذی در گیاه به‌ویژه افزایش غلظت پتاسیم است. در بین عناصر مغذی گیاه، پتاسیم یکی از عناصر حیاتی لازم برای گیاه بوده که نه تنها یک جز اصلی در ساختار گیاه بلکه هم‌چنین عملکرد تنظیمی در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعدد مربوط به تنظیم اسمزی، تحرک روزنه‌ها، ساخت پروتئین، متابولیسم کربوهیدرات و فعالیت آنزیمی دارد. در مورد متابولیسم کربوهیدرات و ذخیره نشاسته در بذر، باکتری‌های مورد بررسی با افزایش میزان پتاسیم در برگ گندم و تشکیل ATP، انرژی لازم برای انتقال محصولات فتوسنتزی را از برگ فراهم نموده که در غیر این‌صورت، این ترکیبات در برگ باقی مانده و سبب کاهش سرعت و کارآیی فتوسنتز می‌شود (۳۳ و ٦). این کاهش در انتقال ساکارز در تفاوت معنی‌دار ذخیره آمیلوز و آمیلوپکتین بذر تیمارهای فاقد باکتری نسبت به تیمارهای تلقیحی با باکتری‌ها مشخص است. در مطالعه دیگری نیز درباره تأثیر پتاسیم محلول غذایی بر عملکرد دانه جو با استفاده از تکنیک کربن ١٤، مشخص شد که تأثیر پتاسیم در تامین منبع کربن (ساکارز) مورد نیاز برای ساخت نشاسته (تأثیر بر افزایش کارایی فتوسنتز) بیش‌تر از تأثیر آن بر سرعت ساخت نشاسته ذخیره‌ای در دانه است (۱۰). علاوه بر این، مطالعات متعدد نشانگر نقش کاتیون‌های یک ظرفیتی از جمله پتاسیم و برتری پتاسیم در بین این کاتیون‌ها در افزایش عملکرد آنزیم‌های ساخت نشاسته می‌باشد. به‌عنوان نمونه، افزایش ۰/۱ مول کلرید پتاسیم باعث هفت برابر شدن تولید آنزیم

ساخت نشاسته در سیب‌زمینی شیرین و برنج شد (۲٦ و ۳۱). ارتباط مستقیم عملکرد گندم با میزان پتاسیم و رابطه عکس آن با میزان سدیم در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (۵).

نتیجه‌گیری

باکتری‌های مورد بررسی باعث افزایش مقاومت گندم قدس به تنش شوری شده که نتیجه آن در قالب افزایش زیست‌توده کل و نیز شاخص‌های اجزای عملکرد بروز نمود. مقایسه بین باکتری‌ها نشان داد باکتری *B. safensis* در ارتقاء زیست‌توده کل و میزان آمیلوپکتین و باکتری *Z. halotolerans* در بهبود صفات اجزای عملکرد وزن سنبله، وزن بذر، تعداد بذر و میزان آمیلوز بذر عملکرد بهتری داشت. با توجه به نتایج مثبت باکتری‌های مورد بررسی، پیشنهاد می‌گردد تأثیر این باکتری‌ها بر عملکرد گندم در شرایط مزرعه نیز بررسی گردد.

منابع

1. Acosta-Motos, J.R., Fernanda Ortuño, M., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Jesus Sanchez-Blanco, M., and Antonio Hernandez, J. 2017. Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. Agronomy. 7: 18. 1-38.
2. Alexander, D.B., and Zuberer, D.A. 1991. Use of Chrome Azurol S reagents to evaluate siderophore production by rhizosphere bacteria. Biology and Fertility of Soils. 12: 39-45.
3. Alikhani, H.A., Etesami, H., and Mohammadi, L. 2018. Evaluation of the effect of rhizospheric and non-rhizospheric phosphate solubilizing bacteria on improving the growth indices of wheat under salinity and drought stress. Journal of Soil Biology. 6: 1. 1-15. (In Persian)
4. Alori, E.T., Glick, B.R., and Babalola, O.O. 2017. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. Frontiers in Microbiology. 8: 971-984.
5. Amal, A.L., Temimi, S., Al-Ghrairi, A., and Razaq, I. 2020. Effect of potassium and micronutrient fertilization on the activity of catalase and yield of wheat grown in saline conditions. Applied Science. 1: 81-87.
6. Amini Hajiabadi, A., Mosleh Arani, A., Ghasemi, S., Rad, M.H., Etesami, H., Shabazi Manshadi, S., and Dolati, A. 2021. Mining the rhizosphere of halophytic rangeland plants for halotolerant bacteria to improve growth and yield of salinity-stressed wheat. Plant Physiology and Biochemistry, 163: 139-153.
7. Amna, U., Sarfraz, S., Xia, Y., Kamran, M.A., Javed, M.A., Sultan, T., Hussain Munis, M.F., and Chaudhary, H.J. 2019. Mechanistic elucidation of germination potential and growth of wheat inoculated with exopolysaccharide and ACC-deaminase producing *Bacillus* strains under induced salinity stress. Ecootoxicology and Environmental Safety. 183: 109-126.
8. Arshadullah, M., Hyder, S.I., Imdad, M., Tariq, S., and Jamil, M. 2017. Rhizobacteria containing ACC-deaminase confer salt tolerance to wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on salt-affected field. International Journal of Plant Breeding and Crop Science. 4: 2. 256-260.
9. Bent, E., Tvzun, S., Chanway, C.P., and Enebak, S. 2001. Alterations in plant growth and root hormone levels of lodge pole pines inoculated with rhizobacteria. Canadian Journal of Microbiology. 47: 9. 793-800.
10. Beringer, H., and Haeder, H.E. 1981. Influence of potassium nutrition on starch synthesis in barley grains. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 144: 1. 1-7.
11. Cuellar-Ortiz, S. M., De La Paz Arrieta-Montiel, M., Acosta-Gallegos, J., and Covarrubias, A.A. 2008. Relationship between carbohydrate partitioning

and drought resistance in common bean. Plant, Cell and Environment. 31: 1399-1409.
12. Di Benedetto, N.A., Corbo, M.R., Campaniello, D., Cataldi, M.P., Bevilacqua, A., Sinigaglia, M., and Flagella, Z. 2017. The role of plant growth promoting bacteria in improving nitrogen use efficiency for sustainable crop production: a focus on wheat. AIMS Microbiology. 3: 3. 413-434.
13. Donate-Correa, J., Leon-Barrios, M., and Perez-Galdona, R. 2004. Screening for plant growth-promoting rhizobacteria in *Chamaecytisus proliferus* (*tagasaste*), a forage treeshrub legume endemic to the Canary Island. Plant and Soil. 266: 1. 261-272.
14. El-Nahrawy, S., and Yassin, M. 2020. Response of different cultivars of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to inoculation by *Azotobacter* sp. under salinity stress conditions. Journal of Advances in Microbiology. 20: 1. 59-79.
15. Etesami, H., and Maheshwari, D. 2018. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. Ecotoxicology and Environmental Safety. 156: 225-246.
16. Gholizadeh, A., Dehghania, H., and Dvorakb, J. 2014. Determination of the most effective traits on wheat yield under saline stress. Agricultural Advances. 3: 103-110.
17. Giraldo, P., Benavente, E., Manzano-Agugliaro, F., and Gimenez, E. 2019. World wide research trends on wheat and barley: A bibliometric comparative analysis. Agronomy. 9: 7. 352-360.
18. Glick, B.R. 2014. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. Microbiological Research. 169: 1. 30-39.
19. Hoagland, D.R., and Arnon, D.I. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circular, 347: 1-32.
20. Hanaa, H., and Safaa, A. 2019. Foliar application of IAA at different growth stages and their influenced on growth and productivity of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Physics. 1294: 9. 920-929.
21. Honma, M., and Shimomura, T. 1978. Metabolism of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. Agricultural and Biological Chemistry. 42: 1825-1831.
22. Hu, L., Zehui, H., Shuqian, L., and Fu, J. 2012. Growth response and gene expression in antioxidant-related enzymes in two bermudagrass genotypes differing in salt tolerance. Journal of the American Society for Horticultural Science, 137: 134-143.
23. Ilyas, N., Mazhar, R., Yasmin, H., Khan, W., Iqbal, S., Enshasy, H.E., and Dailin, D. J. 2020. Rhizobacteria isolated from saline soil induce systemic tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) against salinity stress. Agronomy. 10: 7. 989-1009.
24. Isayenkov, S.V., and Maathuis, F.J.M. 2019. Plant salinity stress: Many unanswered questions remain. Frontiers in Plant Science. 10: 1-11.
25. Jeon, J.S., Lee, S.S., Kim, H.Y., Ahn, T.S., and Song, H.G. 2003. Plant growth promoting in soil by some inoculated microorganism. The Journal of Microbiology. 4: 4. 271-276.
26. Mosleh Arani, A., Rafiei, A., Tabandeh, A., and Azimzadeh, H. 2018. Morphological and physiological responses of root and leave in *Gleditschia caspica* to salinity stress. Iranian Journal of Plant Biology. 9: 4. 1-12. (In Persian)
27. Mosleh Arani, A., Bakhshi Khaniki, G., Nemati, N., and Soltani, M. 2011. Investigation on the effect of salinity stress on seed germination of *Salsola abarghuensis*, *Salsola arbuscula* and *Salsola yazdiana*. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research. 18: 2. 267-279. (In Persian)
28. Mukherjee, A., Gaurav, A.K., Singh, S., Chouhan, G.K., Kumar, A., and Das, S. 2019. Role of potassium (K) solubilising microbes (KSM) in growth and induction of resistance against biotic and abiotic stress in plant. Climate Change Environmental Sustainability. 7: 212-214.

29. Murata, T., and Akazawa, T. 1968. Enzymic mechanism of starch synthesis in sweet potato root: I. Requirement of potassium ions for starch synthetase. Archives of Biochemistry and Biophysics. 126: 3. 873-879.
30. Negrão, S., Schmöckel, S.M., and Tester, M. 2017. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. Annals of Botany. 119: 1. 1-11.
31. Nitsos, R.E., and Evans, H.J. 1969. Effects of univalent cationis on the activity of particulate starch synthetase. Plant Physiology. 44: 1260-1266.
32. Ranjbar, G.H., and Pirasteh-Anosheh, H. 2015. A glance to the salinity research in Iran with emphasis on improvement of field crops production. Iranian Journal of Crop Sciences. 17: 2. 165-178. (In Persian)
33. Raza, M.A.S., Saleem, M.F., Shah, G.M., Khan, I.H., and Raza, A. 2014. Exogenous application of glycinebetaine and potassium for improving water relations and grain yield of wheat under drought. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 14: 348-364.
34. Rijavec, T., and Lapanje, A. 2016. Hydrogen cyanide in the rhizosphere: not suppressing plant pathogens, but rather regulating availability of phosphate. Frontiers in Microbiology. Manuscript 1785, Retrieved October 20, 2020 from https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2016.01785/full
35. Seed and Plant Research Improvement Institute. 2016. Crop cultivars report (Food security and health-1). Retrieved Nonvember 11, 2020, from: https://agrilib.areeo.ac.ir/book_727.pdf
36. Shahidi, A., and Miri, Z. 2018. The effect of salinity on yield and yield components of two wheat cultivars in the plain of Birjand. Electronic Journal of Crop Production. 11: 2. 51-61. (In Persian)
37. Smith, A.M., and Stitt, M. 2007. Coordination of carbon supply and plant growth. Plant, Cell and Environment. 30: 1126-1149.
38. Subiramani, S., Ramalingam, S., Muthu, T., Nile, S.H., and Venkidasamy, B. 2020. Development of abiotic stress tolerance in crops by plant growthpromoting rhizobacteria (PGPR). P 125-145, In: M. Kumar, H. Etesami, and V. Kumar (eds.), phyto-microbiome in stress regulation. Cham Springer.
39. Thalmann, M., Pazmino, D., Seung, D., Horrer, D., Nigro, A., Meier, T., Kölling, K., Pfeifhofer, H.W., Zeeman, S.C., and Santelia, D. 2016. Regulation of leaf starch degradation by abscisic acid is important for osmotic stress tolerance in plants. The Plant Cell. 28: 1860-1878.
40. Vacheron, J., Desbrosses, G., Bouffaud, M.L., Touraine, B., Moënne-Loccoz, Y., Muller, D., Legendre, L., Wisniewski-Dyé, F., and Prigent-Combaret, C. 2013. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. Frontiers in Plant Science. 4: 3. 1-19.
41. Wang, Q., Dodd, I.C., Belimov, A.A., and Jiang, F. 2016. Rhizosphere bacteria containing 1- aminocyclopropane - 1-carboxylate deaminase increase growth and photosynthesis of pea plants under salt stress by limiting Na^+ accumulation. Functional Plant Biology. 43: 161-172.
42. Weisburg, W.G., Barns, S.M., Pelletier, D.A., and Lane, D.J. 1991. 16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic study. Journal of Bacteriology. 173: 2. 697-703.