تأثیر شوری خاک و تلقیح بذر با باکتری‌های افزاینده رشدی PGPR بر مقادیر سدیم و پتاسیم، هدایت روزنه‌ای و عملکرد گندم

مینا حق‌بهاری و رئوف سید شریفی[1]

دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه محقق اردبیلی؛ **m_bahari_agri@yahoo.com**

دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی؛ **raouf_ssharifi@yahoo.co**

دریافت: **91/10/2** پذیرش: **92/10/24**

چکیده

به منظور بررسی تأثیر شوری خاک و تلقیح بذر با باکتری های PGPR بر سدیم و پتاسیم، هدایت روزنه ای و عملکرد گندم، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال تحت شرایط گلخانه 1390 اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل چهار سطح شوری خاک (صفر، 15، 30 و 60 میلی مولار از نمک NaCl) و چهار سطح تلقیح بذری با PGPR (عدم تلقیح بذر، تلقیح بذر با ازتوباکترکروکوکوم استرین 5، آزوسپیریلوم لیپوفروم استرین OF ، سودوموناس پوتیدا استرین 186) بودند. نتایج نشان داد که عملکرد کمی و کیفی، هدایت روزنه‌ای و مقادیر سدیم و پتاسیم در ریشه و اندام‌های هوایی به طور معنی‌داری تحت تأثیر شوری خاک و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط شوری خاک، عملکرد دانه تک بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه، طول سنبله، وزن ریشه بواسطه تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد افزایش یافت. با افزایش شوری خاک، نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه و اندام های هوایی کاهش نشان داد. روند عکسی در حالت تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشدی مشاهده شد. حداکثر نسبت سدیم به پتاسیم در بالاترین سطح شوری و بدون تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و کمترین آن در پایین ترین سطح شوری و تلقیح بذر با ازوسپریلوم بدست آمد. بنابراین می‌توان پیشنهاد نمود که به منظور افزایش عملکرد کمی و کیفی، افزایش هدایت روزنه‌ای و کاهش نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه و اندام های هوایی، تلقیح بذر گندم با آزوسپریلوم انجام شود

واژهای کلیدی: باکتری‌های افزاینده رشد، شوری، گندم، عملکرد

مقدمه

گندم گیاهی است که در سطح وسیع کشت می‌گردد و اهمیت اقتصادی آن بیش از سایر گیاهان زراعی است. حتی در مناطقی که به علت شرایط اقلیمی نامناسب، امکان تولید دیگر گیاهان زراعی مقدور نباشد، می‌توان کشت نمود (خدابنده، 1382). در میان تنش‌ها شوری عمده‌ترین عامل تهدید کننده برای تولید گیاهان در قسمت‌های زیادی از جهان است (ترمات و مانوس، 2002). تقریباً 40% از مساحت مناطق تحت کشت جهان، از مشکلات بالقوه شوری برخوردار هستند (زهران، 1999). افزایش شوری خاک موجب کاهش محصول در بسیاری از گیاهان زراعی و در نتیجه تغییر در الگوی رشد گیاهان می‌شود (زهران، 1999). وظایف پتاسیم در

[1] نویسنده مسئول، آدرس: اردبیل، دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی– گروه زراعت و اصلاح نباتات

گیاه شامل اثرکلوئیدی، افزایش هیدراتاسیون، فعال کردن آنزیم‌های فتوسنتزی، تنظیم اسمزی و نقش آن در باز و بسته شدن روزنه هاست (کوچکی و نصیری محلاتی، 1373). در مقادیر بالای شوری، یون‌های پتاسیم کاهش و توسط یون سدیم جایگزین می‌شود که این عمل علاوه بر به هم زدن تعادل یونی موجب تغییر تورژسانس سلول‌های محافظ، اختلال در متابولیسم سلولی، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش پتانسیل آب در محیط ریشه و در نهایت به کاهش عملکرد منجر می‌شود (کوچکی و نصیری محلاتی، 1373).

بارسا و بارسا (1997) گزارش کردند که در شرایط شوری، افزایش مقاومت روزنه‌ای یک راهکار مناسب دفاعی برای بقای گیاه است. بروگنلی و بورکمن (1992) اظهار داشتند که در شرایط شوری به علت کاهش هدایت روزنه‌ای و محدودیت دسترسی به CO_2 برای واکنش‌های کربوکسیلاسیون (عباسی و خاوری نژاد، 1381)، میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد. مشعوف و همکاران (1382)؛ ثابت تیموری و همکاران (1386) نیز کاهش هدایت روزنه‌ای را با افزایش شوری گزارش کردند. علاوه بر عوامل روزنه‌ای، عوامل غیر روزنه-ای نیز موجب بازدارندگی فتوسنتز تحت تنش شوری می‌شود. این عوامل غیر روزنه‌ای به علت افزایش مقاومت نفوذ CO_2 در فاز مایع از دیواره مزوفیل به محل احیای CO_2 در کلروپلاست است و کارآیی ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز- اکسیژناز را کاهش می‌دهد (دسنیق و کاناگاراج، 2007).

یکی از استراتژی‌های مقابله با شوری، پیش تیمار بذر با انواع مختلفی از باکتری‌های مفید خاک زی است. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه یا PGPR[2]گروهی از باکتری‌ها هستند که می‌توانند به طور مستقیم (تثبیت نیتروژن، تولید مواد تنظیم کننده رشد گیاه و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی مختلف برای گیاه، و یا به طور غیر مستقیم (تولید آنتی بیوتیک، رقابت با گونه‌های مضر برای اشغال ریشه، ایجاد مقاومت سیستمیک درگیاه و...) موجب افزایش رشد گیاه شوند. تیپینگانـد و زالسکا (1987)؛ عباس پور و همکاران (2009) در بررسی اثر شوری و پیش تیمار بذر با باکتری-های محرک رشد بر عملکرد دو رقم گندم ملاحظه کردند که پیش تیمار با باکتری‌های *Pseuodomonas putida 108,4, Pseudomonas flourescens 153,169* تأثیر قابل توجهی بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد داشت. آنان اظهار داشتند که در شرایط غیر شوری و پیش تیمار بذر با باکتری عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در هر سنبله، وزن هزار دانه و تعداد پنجه به ترتیب تا حد 26، 23، 12، 28/2 و 23/9 درصد در مقایسه با عدم پیش تیمار افزایش یافت. عمر و همکاران (2009) در مطالعه تأثیر باکتری آزوسپریلیوم بر رشد و عملکرد دو رقم جو اظهار داشتند شوری رشد و عملکرد، رنگدانه‌های فتوسنتزی، ظرفیت فتوسنتزی و هدایت روزنه‌ای را کاهش داد و پیش تیمار با *آزوسپریلیوم* برازیلینس به طور معنی‌داری برخلاف شوری بر رشد و عملکرد اثر مثبت داشت.حسنیان و صبری (2005) گزارش کردند که تلقیح گندم با باکتری محرک رشد (.Pseudomonas sp) تحت شرایط تنش، از طریق کاهش جذب یون‌های سمی و افزایش تولید هورمون اکسین موجب تحریک رشد گیاه شد. بلیمو و همکاران (2002) اظهار داشتند که عملکرد دانه و رشد ریشه گیاهان تلقیح یافته با باکتری‌های محرک رشد به دلیل افزایش فعالیت ACC د آمیناز بهبود یافت و تلقیح کلزا با Pseudomonas Putida دارای توان تولید آنزیم ACC دی امیناز در شرایط تنش دما (سردی هوا) و شوری، طویل شدن ریشه‌ها و افزایش رشد را به همراه داشت. رمضانیان (1384) گزارش کرد که گندم تلقیح شده با سویه‌های ریزوبیومی مولد ACC دآمیناز از طول و وزن خشک ریشه و ساقه بیش‌تری نسبت به شاهد برخوردار بود. حاجیلو و همکاران (1389) اظهار داشتند که تغییرات ایجاد شده در مورفولوژی و افزایش سطح جذب ریشه در نتیجه تلقیح با باکتری، به دلیل افزایش جذب عناصر معدنی منجربه بهبود رشد در گیاهان می‌گردد. ندیم و همکاران (2007) گزارش دادند که گیاهان ذرت تلقیح شده با باکتری‌های تولید کننده ACC دآمیناز در شرایط شور، از رشد بیش‌تر و نسبت K^+/Na^+ و کلروفیل بالاتری نسبت به گیاهان تلقیح نشده برخوردار بودند. ساراوانا کومار و سمیاپون (2007) در بررسی اثر چهار سویه از باکتری‌های محرک رشدی گیاه اعلام نمودند که سویه Pseudomonas fleorescences بیشترین اثر را بر عملکرد گیاه بادام زمینی در کاهش اثر شوری داشت. آنها علت این امر را به وجود انزیم Acc دآمیناز نسبت دادند. ساریج و همکاران (1998) گزارش کردند که گیاهان سورگوم تلقیح یافته با *آزوسپیریلوم*، تنش خشکی و شوری را بهتر تحمل نموده و در شرایط کمبود رطوبت، پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای بالاتری دارند. رالی (1991) نشان داد که مجاورت گیاه ارزن با *ازوسپیریلوم* در خاک‌های شور قلیایی موجب می‌شود تا بیوماس تولیدی و محتوای نیتروژن گیاهان تلقیح شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد

[1] Plant Growth Promoting Rhizobacteria

افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا کند. الورز و همکاران (1996) اظهار داشتند که تلقیح با *ازوسپیریلوم* موجب بهبود رشد و استقرار بهتر گیاهچه‌های گندم رشد یافته تحت شرایط تنش اسمزی می‌شود و گیاهان تلقیح شده در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده، محتوای نسبی آب پروتوپلاستی بالاتری دارند که این امر احتمالاً به دلیل توسعه ریشه و جذب بهینه آب در ریشه گیاهان تلقیح شده در شرایط تنش اسمزی بوده است. واگار وهمکاران (2004) در بررسی اثر تلقیح باکتری‌های محرک رشد بر رشد و عملکرد گندم دریافتند که باکتری‌های دارای ACC - آمیناز از عملکرد دانه، وزن ریشه، طول ریشه و جذب نیتروژن بیشتری در کاه و دانه نسبت به شاهد برخوردار بودند. آنها تمامی این اثرات را به کاهش سطح اتیلن در گیاه در اثر تلقیح با باکتری واجد ACC دآمیناز نسبت دادند. به دلیل اهمیت شوری خاک در تعیین سطح زیر کشت گندم و نقش باکتری‌های محرک رشد در تعدیل یا کاهش اثر شوری و کمی بررسی‌های انجام یافته، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر پیش تیمار چند جنس از این باکتری‌ها در شرایط شوری بر عملکرد کمی و کیفی، هدایت روزنه‌ای و تجمع سدیم و پتاسیم گندم اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر سه جنس از باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه بر عملکرد گندم در شرایط شوری خاک، آزمایشی در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اول شامل پیش تیماربذر با باکتری در چهار سطح شامل ازتوباکتر کروکوکوم استرین 5، *آزوسپیریلوم* لیپوفروم استرینOF و سودوموناس پوتیدا استرین186 و بدون پیش تیمار با باکتری به عنوان شاهد و عامل دوم چهار سطح شوری شامل (استفاده از خاک معمولی به عنوان شاهد، اعمال شوری های 15، 30 و60 میلی مولار از نمک NaCl) بود. باکتری‌های فوق از موسسه تحقیقات آب و خاک تهیه شدند. تراکم جمعیت باکتری در مایه تلقیح 10^7 سلول به ازای هر گرم مایه تلقیح بود و برای تلقیح بذرها میزان هفت گرم مایه تلقیح که هر گرم آن دارای 10^7 عدد باکتری زنده و فعال بود، استفاده گردید. پس از سه بار شستشو با آب مقطر تلقیح بذر با باکتری‌ها انجام شد. از صمغ عربی برای ایجاد چسبندگی بهتر بذر با باکتری استفاده شد. رقم گندم مورد استفاده شیرودی بود که از شرکت کشت و صنعت مغان تهیه شد. این رقم پاییزه بوده که بعد از ورنالیزاسیون اقدام به کشت شد. در هرگلدان برای اعمال تراکم 400 بذر در متر مربع که تراکم مطلوب و توصیه شده برای رقم شیرودی است، 40 عدد بذر به صورت ردیفی کشت شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی انجام شد. در طول دوره رشد، کنترل علف-های هرز به طریقه دستی انجام شد. اعمال شوری در خاک با استفاده از نرم افزار Salt Calc انجام گردید. در این نرم افزار به اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک و درصد عصاره اشباع نیاز است که با وارد نمودن داده‌های حاصل از اندازه‌گیری این دو پارامتر، مقدار گرم نمک لازم بر حسب میلی‌گرم در هر گرم خاک محاسبه می‌شود. در ضمن برای حفظ شوری در طول دوره رشد در زیر هر گلدان زیر گلدانی قرار داده شده بود تا بعد از سه تا چهار نوبت آبیاری مجدداً نمک های احتمالی وارد شده به زیر گلدانی دوباره در آب حل شده و به داخل هر گلدا ن برگشت داده شود. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای20 تا30 درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی 15-16 ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) نگهداری شدند. مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در جدول 1 آورده شده است.

عمل استریل خاک مورد آزمایش با استفاده از اتوکلاو در دمای120 درجه سانتی گراد و فشار بخار 1/2 اتمسفر به مدت20 دقیقه انجام گرفت. هدایت روزنه‌ای در توسعه یافته‌ترین برگ هر بوته در مرحله ظهور برگ پرچم به وسیله دستگاه پرومتر (porometer، دیکاگن آمریکا) اندازه-گیری شد. پس از خارج سازی ریشه‌ها از خاک، ریشه‌ها برای خشک شدن در آون با دمای 75 درجه سانتی‌گراد به مدت 72 ساعت یا بیشتر (تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی) قرار داده شد و سپس وزن خشک ریشه با ترازوی دیجیتالی با دقت 0/001گرم توزین شد. حجم ریشه با استفاده از حجم مشخصی از آب در استوانه مدرج اندازه‌گیری شد به طوری که اختلاف حجم ایجاد شده پس از ورود ریشه‌ها در آب استوانه مدرج به عنوان حجم ریشه منظور گردید. از دستگاه طیف سنج اشعه‌ای (فلیم فتومتر) برای اندازه‌گیری غلظت عناصر سدیم و پتاسیم ریشه و اندام‌ها ی هوایی استفاده شد (درویشی و همکاران، 1388). برای تعیین پروتئین دانه، میزان نیتروژن موجود در دانه با استفاده از روش کجلدال براورد شده و با ضرب در عدد 6/25 درصد پروتئین دانه محاسبه گردید. در زمان رسیدگی تعداد 8 بوته به ظاهر یکنواخت و مشابه

برداشت گردید سپس صفات مختلف مانند طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن صد دانه و عملکرد تک بوته در 8 بوته که به طور تصادفی در هر گلدان مشخص شده بود اندازه‌گیری و میانگین داده‌های حاصل به عنوان ارزش آن صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به کار گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر شوری، پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد و اثر ترکیب تیماری این دو عامل بر میزان سدیم ریشه و اندام هوایی، میزان پتاسیم ریشه و اندام هوایی، نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه و اندام هوایی، نسبت سدیم پتاسیم ریشه به سدیم پتاسیم اندام هوایی درجدول 2 آورده شده است

میزان سدیم ریشه و اندام هوایی

مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین میزان سدیم ریشه و اندام هوایی (به ترتیب 33/723 و 34/153 میلی-گرم در گرم وزن خشک) در ترکیب تیماری عدم پیش تیمار بذر با باکتری در بالاترین سطح شوری و کمترین آنها (به ترتیب15/597 و 14/741 میلی‌گرم در گرم وزن خشک) در پیش تیمار بذر با *آزوسپریلوم* و عدم اعمال شوری حاصل شد (جدول 4). ندیم و همکاران (2007) گزارش دادند که گیاهان ذرت تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد تولید کننده ACC دآمیناز در شرایط شور، از رشد بیش‌ترو نسبت K^+/Na^+ بالاتری برخوردار بودند. تری پتی و همکاران(1998) اظهار داشتند که *آزوسپریلیوم* توانایی بیشتری به سنتز گلیسین بتائین نسبت به دیگر سویه‌ها دارد و در شرایط شور با تجمع مواد تنظیم کننده اسمزی می‌تواند در ایجاد شرایط مناسب برای افزایش تحمل به شوری کمک نماید. نتایج تحقیقات دیگر محققین نیز نشان می‌دهد که در اثر تلقیح با *آزوسپیریلوم* میزان مقاومت به شوری افزایش می‌یابد. ساریج و همکاران (1998) گزارش کردند که گیاهان سورگوم تلقیح یافته با آزوسپیریلوم تنش خشکی و شوری را بهتر تحمل نموده و در شرایط کمبود رطوبت، پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای بالاتری دارند. رای (1991) نشان داد که مجاورت گیاه ارزن با *ازوسپیریلوم* در خاک‌های شور قلیایی موجب می‌شود تا بیوماس تولیدی و محتوای نیتروژن گیاهان تلقیح شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا کند. الوارز و همکاران (1996) اظهار داشتند که تلقیح با ازوسپریلوم موجب بهبود رشد و استقرار بهتر گیاهچه‌های گندم رشد یافته تحت شرایط تنش اسمزی می‌شود و گیاهان تلقیح شده در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده، محتوای نسبی آب پروتوپلاستی بالاتری دارند که این امر احتمالاً به دلیل توسعه ریشه و جذب بهینه آب در ریشه گیاهان تلقیح شده در شرایط تنش اسمزی بوده است. واگار و همکاران (2004) در بررسی اثر تلقیح باکتری‌های محرک رشد بر رشد و عملکرد گندم دریافتند که باکتری‌های دارای ACC - آمیناز از عملکرد دانه، وزن ریشه، طول ریشه و جذب نیتروژن بیشتری در کاه ودانه نسبت به شاهد برخوردار بودند. آنها تمامی این اثرات را به کاهش سطح اتیلن در گیاه در اثر تلقیح با باکتری واجدACC دآمیناز نسبت دادند. اشرف (2004) اظهار داشت که در شرایط شور به دلیل وجود بیش از اندازه سدیم قابل تبادل، نسبت‌های بالایی از سدیم به پتاسیم در خاک ایجاد می‌شود. گیاهان در چنین محیط‌هایی مقدار زیادی سدیم جذب کنند، در حالی که جذب پتاسیم به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. چن و همکاران(2005) گزارش کردند شوری موجب افزایش مقدار سدیم در ریشه و اندام‌های هوایی شده و نسبت سدیم به پتاسیم را در این اندام‌ها کاهش داد. به دلیل افزایش ورود سدیم از طریق آوند آبکشی و یا ناکافی بودن ورود سدیم به واکوئل‌های سلول‌های برگ ممکن است مقدار سدیم در آپوپلاست افزایش یابد، سدیم زیاد ممکن است از ورود پتاسیم ممانعت کند و به این وسیله به طور غیر مستقیم مانع از بارگیری آوندهای آبکش گردد. الامجیر و همکاران (1997) در بررسی اثر شوری بر رشد گیاهچه‌های گندم بیان داشتند که شوری میزان سدیم را در ریشه و ساقه افزایش داد در حالی که محتوای پتاسیم با افزایش شوری کاهش یافت. واگار و همکاران (2004) افزایش معنی‌دار و قابل توجهی را در وزن و طول ریشه، جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در کاه و دانه گندم نسبت به تیمار شاهد در اثر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد گزارش نمودند. آنها تمامی این اثرات را به کاهش سطح اتیلن در گیاه در اثر تلقیح با باکتری واجد ACC دآمیناز نسبت داده و اعلام نمودند که این فعالیت در سویه‌های مختلف متفاوت می‌باشد و باکتری‌های با توان بالای تولید ACC دآمیناز، از کارایی بالاتری در جذب عناصری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم برخوردار هستند و جذب بالای پتاسیم در چنین وضعیتی از تجمع سدیم ممانعت می‌کند. همدیا و الکومی (1997) نشان دادند که پیش تیمار ذرت با *Azospirillum* sp در شوری‌های بالای حاصل از نمک NaCl، منجر به افزایش جذب پتاسیم و کلسیم نسبت به شاهد (پیش تیمار نشده) گردید. ندیم و همکاران (2006) در پیش تیمار با PGPR تحت تنش شوری مشاهده کردند که پیش تیمار با PGPR جذب یون‌های سدیم و کلر را

محدود و تجمع نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در اندام-های هوایی در مقایسه با شاهد افزایش داد. رائو و وارلا (1985) معتقدند که سویه‌های مقاوم به شوری با استفاده از محافظ‌های اسمزی مناسب نظیر پرولین و گلیسین بتائین مقاومت خود را نسبت به شرایط شور افزایش می‌دهند.

میزان پتاسیم ریشه و اندام هوایی

مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین میزان پتاسیم ریشه و اندام هوایی (به ترتیب 15/45 و 16/35 میلی‌گرم در گرم وزن خشک) در پیش تیمار بذر با آزوسپریلوم و کمترین آنها (به ترتیب 12/67و 13/56 میلی‌گرم در گرم وزن خشک) در حالت عدم پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد حاصل شد (جدول 3). در سطوح مختلف شوری نیز بیشترین و کمترین میزان پتاسیم ریشه (به ترتیب 14/92 و 13/56 میلی‌گرم در گرم وزن خشک) در عدم اعمال شوری و شوری 60 میلی مولار حاصل شد. در مورد اندام هوایی نیز بیشترین و کمترین میزان پتاسیم اندام هوایی (به ترتیب 16/35 و 13/56 میلی‌گرم در گرم وزن خشک) در پیش تیمار بذر با آزوسپریلوم و عدم پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد حاصل شد. در سطوح مختلف شوری نیز بیشترین و کمترین میزان پتاسیم اندام هوایی (به ترتیب 15/81و 14/46 میلی‌گرم در گرم وزن خشک) در بالا ترین سطح شوری و عدم اعمال شوری حاصل شد (جدول3). به عبارتی یکی از روش‌های تحمل به شوری در گیاهان کاهش جذب یون سدیم و یا به عبارت دیگر کاهش نسبت سدیم به پتاسیم در تیمارهای شوری نسبت به شاهد می‌باشد. به نظر می‌رسد پیش تیمار بذر با باکتری-های محرک رشد توانسته‌اند تا حد زیادی موجب کاهش نسبت سدیم به پتاسیم در تیمارهای تحت تنش شوری شوند. به طوری که در نتایج حاصل از مقایسه میانگین میزان سدیم و پتاسیم ریشه و اندام-های هوایی (جدول3 و4) چنین امری به وضوح مشاهده گردید. به عبارت دیگر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد توانسته‌اند تحمل گیاه را نسبت به شرایط شوری خاک افزایش دهند و همین امر موجب شده است کاهش عملکرد کمتری در شرایط تلقیح بذر با باکتری در مقایسه با عدم تلقیح مشاهده گردد. در بسیاری از گیاهان متحمل به شوری، این نسبت در شرایط شور نسبت به گیاهان حساس کمتر است و یا این‌که سدیم جذب شده در ریشه در واکوئل نگهداشته شده وجهت تنظیم اسمزی از آن استفاده می‌شود (بارسا و بارسا، 1997). رائو و وارلا (1985) معتقدند که سویه‌های مقاوم به شوری با استفاده از محافظ‌های اسمزی مناسب نظیر پرولین و گلیسین و کاهش نسبت K^+/Na^+ مقاومت گیاه را نسبت به شرایط شور افزایش می‌دهند. سینکتون و بهلول (1984) پیشنهاد کردند که حفظ نسبت پتاسیم به سدیم بالای بافت به عنوان معیاری برای تحمل به شوری است. اسکاچمن و همکاران (1991) اظهار داشتند که بین غلظت سدیم در برگ های گندم و بیوماس همبستگی منفی وجود داشت. باسیلیو و همکاران (2004) در تفسیر پدیده تعدیل تنش شوری کلرید سدیم توسط باکتری‌های محرک رشد در گندم اظهار کردند که این باکتری‌ها ممکن است بواسطه توان جذب بالای پتاسیم در مقایسه با سدیم، بهبود جذب آب و در نتیجه افزایش فشار تورمی در پتانسیل کم آب در بذرهای پیش تیمار شده، منجربه بروز چنین واکنشی شده باشد.

نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه و اندام هوایی

مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین نسبت سدیم به پتاسیم ریشه (2/883) و اندام هوایی(2/71) در ترکیب تیماری عدم پیش تیمار بذر با باکتری در بالاترین سطح شوری و کمترین مقادیر آنها (0/97و 0/87) در عدم اعمال شوری و پیش تیمار بذر با آزوسپریلیوم حاصل شد (جدول 4).

نسبت سدیم پتاسیم ریشه به سدیم پتاسیم اندام هوایی

بیشترین این نسبت در پیش تیمار با *آزوسپریلوم* (1/099) و کمترین آن در عدم پیش تیمار (1/058) به دست آمد. این بدین معنی است که در پیش تیمار با آزوسپریلوم میزان انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی کاهش می‌یابد و به نظر می‌رسد همین امر عامل مؤثری در کاهش یا تعدیل اثر شوری به واسطه پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد باشد. ندیم و همکاران (2007) گزارش دادند که گیاهان ذرت تلقیح شده با باکتری‌های تولید کننده ACC دآمیناز در شرایط شور، از رشد بیش‌ترو نسبت K^+/Na^+ بالاتری نسبت به گیاهان تلقیح نشده برخوردار بودند. تری پتی و همکاران (1998) اظهار داشتند که آزوسپریلیوم توانایی بیشتری به سنتز گلیسین بتائین نسبت به دیگر سویه‌ها دارد و در شرایط شور با تجمع مواد تنظیم کننده اسمتیک احتمالاً در ایجاد شرایط مناسب برای تحمل به شوری کمک می‌کنند. تاج بخش و همکاران (2006) در ارزیابی ارقام مقاوم به شوری جو در

مرحله گیاهچه‌ای اظهار داشتند که در ارقام مقاوم غلظت پتاسیم به طور معنی‌داری بالا بود و همین امر موجب گردید مقدار سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم کاهش یابد. ثابت شده است که ژنوتی‌های متحمل به شوری در گندم در مقایسه با ژنوتیپ‌های حساس جابجایی کندتری از سدیم را از ریشه به اندا های هوایی انجام می‌دهند (اسکاچمن و همکاران 1991). گیاهانی که تحمل شوری متوسطی دارند، توانایی بیشتری در دفع سدیم از ساقه و یا حداقل از پهنک برگ دارند و این وضعیت با نگهداری سطوح بالای پتاسیم مطابقت دارد، این همبستگی در گرامینه‌ها به خصوص گندم توسط گارسیا و همکاران (1997) گزارش شده است. در محیط‌های شور که غلظت سدیم زیاد است گیاهان مقادیر زیادی یون سدیم را به جای یون پتاسیم و کلسیم جذب می‌کنند که این امر با افزایش یون سدیم در محیط ریشه (بن لوچ و همکاران، 1994) و کمبود عناصر پتاسیم و کلسیم در گیاه (یاسن و جورگس، 1998) همراه خواهد بود و به دلیل اینکه یون نیترات توسط آوندهای چوبی از ریشه به برگ‌ها حرکت می‌کند و پتاسیم موجب تحریک این فرآیند می‌شود، هرگاه یون‌های سدیم و کلر به مقدار زیاد وارد سیستم آوندی شوند یون سدیم از جذب یون پتاسیم ممانعت می‌نماید، کاهش میزان پتاسیم موجب کاهش انتقال نیترات می‌شود در نتیجه به جای نیترات، آنیون کلر و سدیم به برگ‌ها منتقل شده و در آنها تجمع می‌یابد (مس، 1986؛ سیلی برابوش و بن آشر، 1987). به نظر می‌رسد پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد منجربه تعدیل اثر شوری و یا کاهش محدودیت در جذب سدیم در مقایسه با پتاسیم می‌شود. در این راستا همدیا و الکومی (1997) نشان دادند که پیش تیمار ذرت با *Azospirillum* sp در شوری‌های بالای حاصل از نمک NaCl، منجربه افزایش معنی‌دار جذب پتاسیم و کلسیم نسبت به شاهد گردید. ندیم و همکاران (2006) در پیش تیمار با PGPR تحت تنش شوری مشاهده کردند که پیش تیمار با PGPR جذب یون‌های سدیم و کلر را محدود کرد ولی تجمع نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در اندام‌های هوایی در مقایسه با شاهد افزایش داد.

هدایت روزنه‌ای

نتایج نشان داد که بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای (97/43 میلی مول برمترمربع در ثانیه) در ترکیب تیماری عدم اعمال شوری × پیش تیمار با آزوسپریلوم (شکل1– الف) و کمترین آن (6/58 میلی مول برمترمربع در ثانیه) در شوری 60 میلی مولار× عدم پیش تیمار بذر با باکتری به دست آمد (شکل1- د).

در تمام سطوح شوری پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد هدایت روزنه‌ای را افزایش داد. ساریج و همکاران (1998) گزارش کردند که گیاهان سورگوم تلقیح یافته با آزوسپیریلوم تنش شوری را بهتر تحمل نموده و در شرایط کمبود رطوبت، پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای بالاتری دارند. به نظر می‌رسد پیش تیمار با باکتری موجب گسترش ریشه (جدول 5) و دسترسی بهتر به منابع آبی شده و از این طریق باعث کاهش آبسیزیک اسید و افزایش هدایت روزنه‌ای شده است. حسنیان و صبری (2005) گزارش کردند که تلقیح گندم با باکتری محرک رشد (Pseudomonas sp.) تحت شرایط تنش، از طریق کاهش جذب یون‌های سمی و افزایش تولید هورمون اکسین موجب تحریک رشد گیاه و باز شدن روزنه‌ها می‌شود. ندیم و همکاران (2007) گزارش دادند که گیاهان ذرت تلقیح شده با باکتری‌های تولید کننده ACC دآمیناز در شرایط شور، رشد بیش‌تری نسبت به گیاهان تلقیح نشده داشتند. در مقادیر بالای شوری مقدار یون‌های پتاسیم کاهش یافته وتوسط یون سدیم جایگزین می‌شود. وظایف پتاسیم در گیاه شامل اثر کلوئیدی، افزایش هیدراتاسیون، فعال کردن آنزیم‌های فتوسنتزی، تنظیم اسمزی و نقش آن در باز و بسته شدن روزنه هاست (کوچکی و نصیری محلاتی، 1373). با خارج شدن پتاسیم از روزنه به دلیل کاهش هدایت و افزایش مقاومت روزنه‌ای، روزنه ها بسته می‌شوند. این نقش پتاسیم به علت تغییر تورژسانس سلول‌های محافظ، ناشی از تغییر پتانسیل اسمزی در این سلول‌ها می‌باشد (کوچکی و نصیری محلاتی، 1373). به نظر می‌رسد که باکتری‌های محرک رشد با افزایش جذب پتاسیم منجربه بهبود هدایت روزنه‌ای می‌شوند به طوری که همدیا و الکومی (1997) نشان دادند که پیش تیمار ذرت با *Azospirillum* sp در شوری‌های بالای حاصل از نمک NaClبه افزایش جذب مقادیر پتاسیم و کلسیم نسبت به شاهد منجر گردید. تنش‌های محیطی از جمله شوری، منجربه تغییر در باز و بسته شدن روزنه‌ها می شود و با ادامه تنش و کاهش باز شدن روزنه‌ها، تغییر در میزان غلظت دی اکسید کربن در محل‌های کربوکسیلاسیون، تحت تأثیر قرار گرفتن چرخه تثبیت کربن و پمپ پروتون را به دنبال دارد (نلسون و همکاران، 1998). به‌طورکلی با افزایش شوری، هدایت روزنه‌ای کاهش و مقاومت آن افزایش می‌یابد و این امر در نهایت، به ممانعت از رشد گیاه که ناشی از تنش آبی است منجر می‌شود (چاترات و

همکاران، 2009). هم چنین گیاهان جهت کنترل وضعیت آبی خود دو مکانیسم هورمونی دارند که یکی از آنها تغییر در گشودگی منافذ روزنه است (لوبنا و همکاران، 2009). کاهش هدایت روزنه‌ای، بیان کننده تغییر در موقعیت اسمزی ریشه است که به سرعت روابط آبی را در اندام-های هوایی تحت تأثیر قرار می‌دهد (رودریگوز و فراگا، 2009). شوری موجب تولید آبسیزیک اسید در ریشه‌ها می‌شود که با انتقال به اندام هوایی، بسته شدن روزنه‌ها را به دنبال دارد و سرانجام رشد سلولی را محدود می‌کند. بسته شدن روزنه‌ها با ایجاد اختلال در تبادل گازی به تولید گونه‌های فعال اکسیژن منتهی می‌شود (اوزما و اصغری، 2006). کاهش هدایت روزنه‌ای، اولین واکنش دفاعی گیاه در برابر از دست دادن آب و عامل مهم در کنترل تثبیت کربن است (لوبنا و همکاران، 2009).

عملکرد کمی و کیفی و برخی دیگر از صفات

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس تأثیر شوری، باکتری‌های محرک رشد و اثر ترکیب تیماری این دو عامل بر طول سنبله، دانه در سنبله، وزن صد دانه، وزن و حجم ریشه، درصد پروتئین دانه و عملکرد تک بوته معنی‌دار گردید (جدول5).

طول سنبله و تعداد دانه در سنبله

مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در سطوح مختلف شوری حاکی از آن است که بیشترین طول سنبله (8/960 سانتیمتر) در ترکیب تیماری عدم اعمال شوری و تلقیح با آزوسپریلوم و کمترین آن (6/556 سانتیمتر) در بالاترین سطح از شوری و عدم تلقیح بذر با باکتری به دست آمد (جدول 6) با افزایش سطوح شوری تعداد دانه در سنبله کاهش یافت. روند مشابهی نیز در حالت عدم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در مقایسه با تلقیح بذر با باکتری‌ها مشاهده گردید (جدول 7). ذبیحی و همکاران (1388)؛ خرم دل و همکاران (1387)؛ کافی و استوارت (1998) نشان دادند که با افزایش شوری، عملکرد و اجزای عملکرد نظیر دانه در سنبله، وزن دانه و طول سنبله کاهش و در حالت تلقیح با باکتری افزایش پیدا کرد.

وزن صد دانه

بیشترین وزن صددانه (4/67 گرم) درترکیب تیماری عدم اعمال شوری و تلقیح بذر با *آزوسپریلوم* و کمترین آن (3/26 گرم) در ترکیب تیماری عدم تلقیح بذر با باکتری و شوری 60 میلی مولار به دست آمد. پاسخ گیاهان به تلقیح با *آزوسپیریلوم* اغلب به صورت افزایش درصد جوانه زنی، تعداد پنجه‌های تولیدی و وزن صد دانه در بررسی‌های مختلفی گزارش شده است (عموآقایی و همکاران 1381؛ باشان و همکاران 1990) افزایش وزن صد دانه در گیاه در اثر تلقیح با باکتری را می‌توان به نقش مثبت باکتری‌های محرک رشد در گسترش ریشه اعم از وزن و حجم (جدول 6) که به جذب آب و عناصر غذایی و انتقال آن به گیاه کمک می‌نماید نسبت داد که در نهایت به بهبود رشد و افزایش فتوسنتز گیاه منجر می‌شود.

درصد پروتئین دانه

با افزایش سطوح شوری، درصد پروتئین دانه کاهش یافت. بیشترین درصد پروتئین دانه (12/96) در ترکیب تیماری عدم اعمال شوری در تلقیح بذر با آزوسپریلوم وکمترین آن(9/54) در بالاترین سطح شوری (60 میلی مولار) و عدم تلقیح بذر با باکتری به دست آمد (جدول 3). افزایش محتوای نیتروژن دانه یا پروتئین خام دانه در اثر تلقیح با آزوسپیریلوم توسط محققین مختلفی گزارش شده است (عموآقایی و همکاران 1381؛ رائو و وارلا 1985). بهارتای و هس (1993) اظهار داشتند که برخی از سویه‌های آزوسپیریلوم تا 39/5 درصد پروتئین خام برخی از ارقام گندم را افزایش داده‌اند. به نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد توانسته‌اند با کمک به تثبیت نیتروژن باعث افزایش تولید پروتئین در شرایط تنش شوری شده و تا حدی آثار نامطلوب شوری را تخفیف دهند. در بررسی مکانیسم‌های تحمل به شوری و اثر متقابل تلقیح بذر با *Azospirillum brasilense* در ارقام ذرت رشد کرده در شرایط تنش شوری، حمدی و همکاران (2004) گزارش کردند که تحمل به شوری در ارقام تلقیح شده افزایش یافت و به افزایش پروتئین محلول در بخش هوایی و پروتئین کل ریشه درتیمارهای تحت تنش شوری منجر گردید. که با نتایج گزارش شده توسط گرامر و همکاران (1994)، همچنین سینگ و سینگ (1994)؛ اوکان و لاباندرا گونزالز (1994) مطابقت داشت.

وزن و حجم ریشه

بر اساس نتایج حاصله معلوم گردید که وزن ریشه با افزایش شوری خاک در تمامی ترکیبات تیماری کاهش یافت در بین ترکیبات تیماری پیش تیمار بذر با باکتری *آزوسپریلیوم* در سطح شوری شاهد بیشترین وزن ریشه را به خود

اختصاص داد و کم‌ترین مقدار نیز مربوط به عدم پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد در سطح شوری 60 میلی مولار بود (جدول 6). پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد اختلاف معنی‌داری از نظر وزن ریشه با شاهد ایجاد کرد. بیشترین وزن ریشه در سطح شوری شاهد مربوط به پیش تیمار بذر با باکتری *آزوسپریلیوم* و کم‌ترین آن مربوط به عدم پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد بود به نظر می‌رسد کاربرد باکتری‌های محرک رشد سبب تعدیل اثر مخرب شوری با افزایش سطح فعال ریشه از طریق رشد بیشتر ریشه شده است. همچنین با افزایش شدت شوری، وزن ریشه در تمامی ترکیبات تیماری کاهش یافت (جدول 6). به نظر می‌رسد علت آن با به هم خوردن توازن یونی در ریزوسفر و همچنین درون ریشه مرتبط باشد که موجب می‌شود فرایند جذب آب، بزرگ شدن سلول و در نتیجه رشد سلول‌ها کند شود. واگار و همکاران (2004) در بررسی اثر تلقیح باکتری‌های محرک رشد بر رشد و عملکرد گندم دریافتند که باکتری‌های دارای ACC-آمیناز از وزن و طول ریشه بیشتری نسبت به شاهد برخوردار بودند. آنها تمامی این اثرات را به کاهش سطح اتیلن در گیاه در اثر تلقیح با باکتری واجدACC دآمیناز نسبت دادند.

با افزایش سطوح شوری، حجم ریشه کاهش و با پیش تیمار افزایش یافت. بیشترین حجم ریشه (6/66 سانتی‌متر مکعب) در عدم اعمال شوری و پیش تیمار با *آزوسپریلوم* و کمترین آن (2/46 سانتی‌متر مکعب) در سطح شوری60 میلی مولار و عدم پیش تیمار با باکتری برآورد گردید (جدول 6). هامایی و همکاران (2001) دریافتند که در شرایط شور، آزوسپریلوم تعداد گره‌های تثبیت کننده نیتروژن و رشد ریشه نخود را نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. آنان دلیل این امر را به توانایی باکتری‌های محرک رشد در تولید هورمون‌های رشد گیاهی نسبت دادند. برزوئی و همکاران(1390) گزارش کردند که حجم ریشه با افزایش شوری، کاهش می‌یابد. در بسیاری از تحقیقات نشان داده شده است که پیش تیمار غلات با آزوسپیریلوم سبب افزایش حجم و تعداد ریشه شده است (باشان و همکاران؛ 1989). مستاجران و همکاران (1384) این توسعه یا گسترش حجم ریشه را در شرایط تلقیح بذر با باکتری‌های افزاینده رشد به افزایش هورمون‌های محرک رشد نسبت دادند.

عملکرد دانه

با افزایش سطوح شوری عملکرد دانه کاهش و با تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد افزایش یافت. مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری تلقیح بذر با باکتری-های محرک رشد در سطوح مختلف شوری حاکی از آن است که بیشترین عملکرد دانه (1/02گرم در بوته) در تلقیح بذر با آزوسپیریلوم × عدم اعمال شوری و کمترین آن (0/48میلی‌گرم در بوته) در حالت عدم تلقیح بذر با باکتری در بالاترین سطح از شوری (60 میلی مولار) برآورد گردید (جدول 6). به نظر می‌رسد در این آزمایش تلقیح بذر گندم با باکتری به دلیل کمک به گسترش و توسعه سیستم ریشه‌ای بهتر، موجب شده است گیاه مواد غذایی بیشتری جذب کرده و عملکرد را افزایش دهد. به طوری که در مقایسه میانگین صفات مربوط به ریشه (جدول 6) نیز مشاهده گردید که تلقیح بذر با باکتری باعث افزایش وزن و حجم ریشه شده است و همین امر می تواند با کمک به افزایش جذب مواد غذایی، دلیل دیگر افزایش عملکرد تک بوته تحت چنین شرایطی باشد. گلیک و همکاران (2001) نشان دادند که باکتری *putida* *Pseudomonas* GR12-2 که از باکتری‌های محرک رشد بوده و دارای توان تولید آنزیم ACC دآمیناز است باعث افزایش وزن خشک ریشه و رشد گیاهچه‌های کلزا در حضور غلظت بالای نمک NaCl شد.

جمع‌بندی کلی

با افزایش سطوح شوری عملکرد و اجزای عملکرد دانه کاهش و در تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد افزایش یافت. پرایمینگ بذر با باکتری‌های محرک رشد نسبت عدم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد، در بهبود عملکرد کمی و کیفی تأثیر داشته است. طوری که بیشترین عملکرد دانه در پرایمینگ بذر با با آزوسپیریلوم × عدم اعمال شوری و کمترین آن در حالت عدم تلقیح بذر با باکتری در بالاترین سطح از شوری برآورد گردید. به نظر می‌رسد تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد می‌تواند با کاهش یا تعدیل اثر شوری در بهبود عملکرد کمی و کیفی حتی در شرایط تنش شوری مؤثر واقع شود.

جدول 1- مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده

مشخصه	pH	درصد اشباع	آهک	رس	سیلت	شن	بافت	کربن‌آلی	نیتروژن	فسفر PPM	پتاسیم PPM
میزان	7/8	47	15	23	42	35	سیلتی‌لومی	0/62	0/062	290/82	212

جدول 2-تجزیه واریانس تأثیر شوری و پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد بر میزان جذب سدیم و پتاسیم ریشه و اندام هوایی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین			مربعات			
		میزان سدیم ریشه	میزان پتاسیم ریشه	نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه	میزان سدیم اندام هوایی	میزان پتاسیم اندام هوایی	نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی	نسبت سدیم پتاسیم ریشه به سدیم پتاسیم اندام هوایی
تکرار	2	0/393^{ns}	0/787	0/002^{ns}	0/154^{ns}	0/790^{ns}	0/0000395^{ns}	0/0010^{ns}
باکتری	3	165/722**	18/989**	2/156**	206/793**	19/056**	2/09691**	0/0041**
شوری	3	143/502**	5/259**	1/316**	153/535**	5/251**	1/1719**	0/00073^{ns}
شوری*باکتری	9	68/132**	0/138^{ns}	0/754**	79/677**	0/138^{ns}	0/711**	0/000121^{ns}
خطا	30	1/613	0/551	0/0291	1/344	0/550	0/0202	0/000782
ضریب تغییرات	-	5/66	5/189	3/601	5/261	4/879	9/554	2/575

ns و* و ** به ترتیب به معنای غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

جدول 3- مقایسه میانگین اثر تنش شوری و پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد بر میزان جذب سدیم و پتاسیم

تیمار	میزان پتاسیم ریشه	میزان پتاسیم اندام هوایی	نسبت سدیم پتاسیم ریشه به اندام هوایی
عدم پیش تیمار	12/67^{c}	13/56^{c}	1/058^{b}
پیش تیمار با ازتو باکتر	14/014^{b}	14/91^{b}	1/094^{a}
پیش تیمار با آزوسپریلوم	15/45^{a}	16/35^{a}	1/099^{a}
پیش تیمار با سودوموناس	15/12^{a}	16/019^{a}	1/091^{a}
عدم اعمال شوری	14/92^{a}	15/81^{a}	_
شوری 15 میلی مولار	14/81^{a}	15/71^{a}	_
شوری 30 میلی مولار	13/95^{b}	14/84^{b}	_
شوری 60 میلی مولار	13/56^{b}	14/46^{b}	_

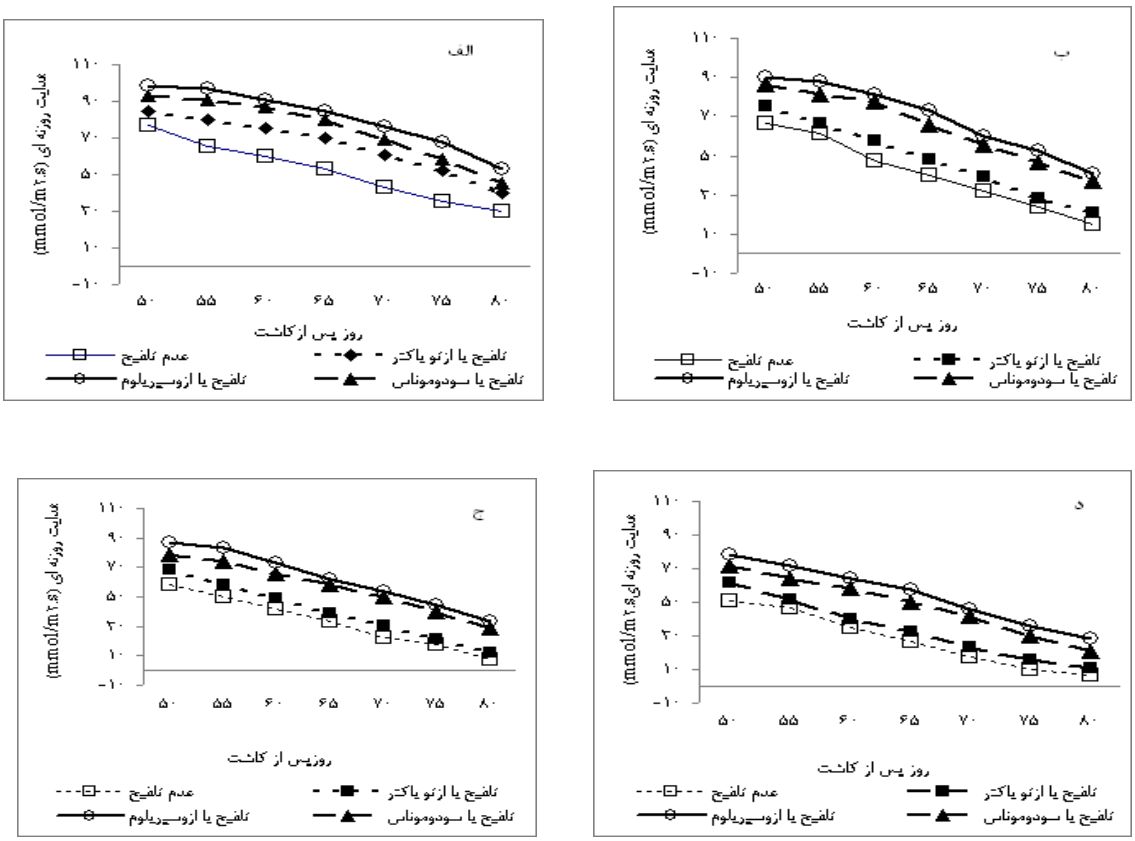
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند

جدول 4- مقایسه میانگین تأثیر تنش شوری × پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد بر میزان جذب سدیم و پتاسیم ریشه و اندام هوایی

ترکیب تیماری	سدیم ریشه (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	سدیم اندام هوایی (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	سدیم به پتاسیم درریشه (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	سدیم به پتاسیم در اندام هوایی (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)
عدم اعمال شوری× عدم پیش تیمار بذر	20/05 gfh	19/553 hig	1/55 ef	1/416 ef
عدم اعمال شوری× پیش تیمار با ازتوباکتر	18/44 hi	17/946 ij	1/263 hgi	1/156gh
عدم اعمال شوری× پیش تیمار ر با آزوسپریلوم	15/59 j	14/741 k	0/970 j	0/870 i
عدم اعمال شوری× پیش تیمار با سودوموناس	19/24 hgi	18/75 hi	1/2 hij	1/106 hgi

شوری 15میلی مولارxعدم پیش تیمار بذر	25/247 cd	26/113	1/88 cd	1/82 c
شوری 15میلی مولارx پیش تیمار با ازتوباکتر	22/28 e	21/533 ef	1/54 efg	1/4 ef
شوری 15 میلی مولارx پیش تیمار با آزوسپریلوم	17/32 ij	16/424 kj	1/096 ij	0/983 hi
شوری 15میلی مولارx پیش تیمار با سودوموناس	19/86 fgh	19/433 hgi	1/283 fghi	1/186 fgh
شوری30 میلی مولارxعدم پیش تیمار بذر	29/703 b	30/383 b	2/386 b	2/276 b
شوری30 میلی مولارx پیش تیمار با ازتوباکتر	24/69 d	24/07 d	1/84 cd	1/68 cd
شوری30 میلی مولارx پیش تیمار با آزوسپریلوم	19/537 fgh	19/216 hgi	1/296 hgi	1/2 fgh
شوری 30 میلی مولارx پیش تیمار با سودوموناس	21/027 efg	20/02 fgh	1/436 efgh	1/286 efg
شوری 60 میلی مولارxعدم پیش تیمار بذر	33/723 a	34/153 a	2/883 a	2/71 a
شوری60 میلی مولارx پیش تیمار با اتوباکتر	27/35 c	26/73 c	2/046 c	1/873 c
شوری 60 میلی مولار x پیش تیمار با آزوسپریلوم	21/41 ef	20/913 efg	1/443 efgh	1/33 efg
شوری60 میلی مولارx پیش تیمار با سودوموناس	23/143 e	22/71 ed	1/64 ed	1/51 ed

میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری با هم ندارند



شکل 1- روند تغییرات هدایت روزنه‌ای برگ در عدم اعمال شوری (الف)، شوری 15 میلی مولار (ب) شوری 30 میلی مولار (ج) و شوری 60 میلی مولار (د) در پیش تیمار بذر با باکتری‌های محرک رشد

جدول 5- تجزیه واریانس تأثیر شوری و باکتری های محرک رشد برعملکرد و برخی صفات مرتبط با عملکرد گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین		مربعات			
		طول سنبله	تعداد دانه در سنبله	وزن صد دانه	وزن ریشه	حجم ریشه	پروتئین دانه	عملکرد تک بوته
تکرار	2	0/00062^{ns}	0/358^{ns}	0/00429 ^{ns}	0/03376**	0/0608^{ns}	0/0042 ^{ns}	0/00018 9^{ns}
باکتری	3	3/59**	27/94**	1/661**	0/20375**	3/714**	5/356**	0/192**
شوری	3	2/28**	15/18**	0/448**	0/046788**	11/469**	16/162**	0/659**
شوری*باکتری	9	0/056**	8/714 ^{ns}	0/0480**	0/0527908*	3/338**	0/417*	0/0553**
خطا	30	0/017	0/178	0/00968	0/00179	0/145	0/154	0/00073
ضریب تغییرات	-	1/748	2/256	2/76	7/41	9/138	3/54	4/034

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول 6- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری صفات مورد ارزیابی تحت سطوح مختلف شوری و پیش تیمار بذر با با باکتری‌های محرک رشد

ترکیب تیماری	طول سنبله (سانتی متر)	وزن صد دانه (گرم)	وزن ریشه	حجم ریشه	پروتئین دانه (درصد)	عملکرد تک بوته (گرم)
عدم شوری^{x}عدم پیش تیمار بذر با باکتری	7/420^{e}	3/35^{ef}	0/568^{bcd}	4/33^{cdef}	11/17^{edf}	0/636^{ef}
عدم شوری^{x} پیش تیمار بذر با ازتوباکتر	8/366^{b}	3/48de	0/611^{b}	4/60^{cde}	11/78^{dc}	0/660^{e}
عدم شوری^{x} پیش تیمار بذر با آزوسپریلوم	8/960^{a}	4/67^{a}	0/778^{a}	6/66^{a}	12/96^{a}	1/02^{a}
عدم شوری^{x} پیش تیمار بذر با سودوموناس	7/700^{cd}	3/66^{c}	0/621^{b}	5/53^{b}	12/51^{ab}	0/723^{d}
شوری 15میلی مولار^{x}عدم پیش تیمار	7/196^{gf}	3/36^{ef}	0/471^{e}	4/13^{def}	11/06^{efg}	0/606^{gf}
شوری15میلی مولار^{x} پیش تیمار بذر با ازتوباکتر	7/753^{c}	3/45^{b}	0/561^{bcd}	4/2^{def}	11/66^{dec}	0/636^{ef}
شوری 15 میلی مولار^{x} پیش تیمار بذر با آزوسپریلوم	8/460^{b}	4/06^{d}	0/754^{a}	4/93^{bc}	12/56^{ab}	0/860^{b}
شوری15میلی مولار^{x} پیش تیمار بذر با سودوموناس	7/530^{ed}	3/64^{dc}	0/598^{bc}	4/66^{cd}	12/24^{bc}	0/716^{d}
شوری30 میلی مولار^{x}عدم پیش تیمار	7/060^{gh}	3/13^{hg}	0/367^{f}	3/8^{f}	9/66^{h}	0/533^{h}
شوری30 میلی مولار^{x} پیش تیمار بذر با ازتوباکتر	7/420^{e}	3/26^{e}	0/514de	3/93^{f}	10/77^{fg}	0/566^{hg}
شوری30 میلی مولار^{x} پیش تیمار بذر با آزوسپریلوم	8/273^{b}	3/96^{c}	0/725^{a}	4/13^{def}	11/45de	0/806^{c}
شوری30میلی مولار پیش تیمار بذر با ^{x}سودوموناس	7/356^{ef}	3/46^{e}	0/564^{bcd}	4/00^{def}	11/15^{edf}	0/623^{ef}
شوری 60 میلی مولار^{x}عدم پیش تیمار	6/556^{i}	3/26^{fg}	0/304^{f}	2/46^{g}	9/54^{h}	0/480^{i}
شوری60 میلی مولار^{x} پیش تیمار بذر با اتوباکتر	7/090^{gh}	3/34^{ef}	0/461^{e}	2/53^{g}	8/68^{i}	0/546^{h}
شوری میلی مولار60^{x} پیش تیمار بذر با آزوسپریلوم	7/683^{cd}	3/63^{dc}	0/709^{a}	3/93^{ef}	10/476^{g}	0/713^{d}
شوری60میلی مولار^{x} پیش تیمار بذر با سودوموناس	6/933^{h}	3/35^{f}	0/531^{cde}	2/86^{g}	9/61^{h}	0/613^{efg}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند.

جدول 7- مقایسه میانگین اثر باکتری و شوری بر تعداد دانه در سنبله

تیمار	تعداد دانه در سنبله
عدم پیش تیمار	17/39 [d]
پیش تیمار با ازتو باکتر	17/78 [c]
پیش تیمار با آزوسپریلوم	20/79 [a]
پیش تیمار با سودوموناس	18/91[b]
عدم اعمال شوری	19/89 [a]
شوری 15 میلی مولار	19/31 [b]
شوری 30 میلی مولار	18/33 [c]
شوری 60 میلی مولار	17/33 [d]

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند

فهرست منابع:

۱. کوچکی، ع. و نصیری محلاتی، م. (1373) اکولوژی گیاهان زراعی، جلداول، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ص 291.

۲. مستأجران، ا، عموآقائی، ر، و امتیازی، گ. (1384) اثر آزوسپیریلوم و اسیدیته قلیائی آب آبیاری بر عملکرد دانه و میزان پروتئین ارقام زراعی گندم. مجله زیست‌شناسی ایران. ج 18، ش3، ص 260-248.

۳. برزوئی، ا. کافی، م. خزائی، ح .ر. و موسوی شلمانی، م.ا. (1390) تأثیر شوری آب آبیاری بر صفات ریشه دو رقم حساس و مقاوم به شوری گندم و ارتباط آن با عملکرد دانه در شرایط گلخانه. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. سال دوم ش هشتم.

۴. پوستینی، ک. 1374 .واکنش های فیزیولوژیکی دو رقم گندم نسبت به تنش شوری. مجله علوم کشاورزی .ج 26 ش 2 ص 57-65..

۵. ثابت تیموری، م. خزاعی. ح. نظامی، ا. و نصیری محلاتی، م. 1386. تأثیر سطوح مختلف شوری بر فعالیت آنتی اکسیدان برگ و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه کنجد. پژوهش کشاورزی: آب خاک گیاه در کشاورزی، ج 4. ش 7، ص 119-109.

۶. حاجیلو، م. سلیمی، ح، اصغری ، ح، خاوازی. ک. 1389. استفاده از باکترهای محرک رشد گیاه به عنوان کود زیستی در جهت پایداری اکوسیست های زراعی. اولین کنگره چالش‌های کود در ایران : نیم قرن مصرف کود 10-12 اسفند. تهران –هتل المپیک.

۷. خدابنده، ن. 1382. غلات. انتشارات دانشگاه تهران. 537 ص.

۸. خرم‌دل، س.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، قربانی، ر. 1387. اثر کاربرد کودهای بیولوژیک بر شاخص‌های رشدی سیاهدانه. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ج :6. ص ؛294-285

۹. درویشی، ب. پوستینی، ک. و توکل‌افشاری، ر. 1388. بررسی الگوی توزیع یونی در اندام‌های مختلف یونجه و رابطه آن با عملکرد در شرایط تنش شوری. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ش 2، ص 31-43.

۱۰.ذبیحی، ح.ر، ثواقبی، غ.ر. خاوازی، ک. و گنجعلی، ع. 1388. بررسی تأثیر کاربرد سویه‌هایی از سودوموناس‌های فلورسنت بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در سطوح مختلف شوری خاک. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ج23، ش 1، ص 208-199.

۱۱.رمضانیان، ع. 1384. مکانیزم‌های به کار برده شده توسط باکتری‌های ریزوبیومی برای کاهش سطح اتیلن در گیاه و افزایش گره‌زایی. اوّلین همایش ملّی حبوبات. 29 و30 آبان. مشهد مقدس.

۱۲.عباسی، ف. و خاوری نژاد، ر. 1381. اثر تنش شوری بر خصوصیات رشد و جنبه‌های فیزیولوژیکی گونه *Aeluropus littoralis*. نشریه بیابان، ج 7، ش1، ص 110-101.

۱۳.عمو اقایی، ر. مستاجران، ا و رحیمی،گ .1381. اثر سویه و غلظت باکتری آزوسپیریلوم روی رشد و نمو ریشه گندم. ج 33، ش2، ص 212-222.

۱۴.مشعوف، م. اسماعیلی آزاد گله، م.ع. بابائیان جلودار، ن.ع. و کافی، م. 1382. واکنش فتوسنتزی و هدایت روزنه‌ای دو رقم جو تحت تنش شوری. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، ج 1. ش 1، ص 51-43.

15. Abbaspoor, A. Zabihi, H.R. Movavegh, S. and Akbari, M.H.2009. The efficiency of plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of two varieties of wheat in salinity conditions. Journal of Sustainable Agricultural. 3(4):824_828.
16. Alamgir, A., Kutube, K.K. and Paul, T. 1997. Use of mathematical growth curves in the analaysis of growth and nutrient distribution pattern in wheat growth under salinity stress. Agronomy Journal. 21:37-46.39.
17. Alvarez., M.I., Sueldo, R.J. and Barassi, C.A. 1996. Effect of Azospirillum on coleoptile growth in wheat seedling under water stress. Cereal Research Communication. 24: 101-107
18. Ashraf, M. 2004. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. Flora. 199:361-376.
19. Bacilio. M., Rodriguez, H., Mereno. M. and Hernandez, J.P.2004. Mitigation of salt stress in wheat seedling by Azospirillum lipferum. Soil Biology. 40: 188-193.
20. Bashan, Y. Levanony, H. and Mitiju, G. 1989. Changes in proton efflux of intact wheat root induced by A. brasilense Cd. Canadian Journal of Microbiology. 35: 691-67.
21. Basra, A.S. and Basra, P.K.1997. Mechanisms of environmental stress resistance in Plants. Hardwood Academic Publishers, 83-111.
22. Bashan,Y., Harrison, K. and Witimoyer, R.E. 1990. Enhanced growth of wheat and soybean plants inoculated with azospirillum brasilense is notnecessary due to general enhancement of mineral uptake. Applied Enviromental Microbiology. 56: 769-775.
23. Belimov, A.A., Safronova, V.I. and Mimura, T. 2002. Response of spring rape (*Brassica napus* var.oleifera L.) to inoculation with plant growth promoting rhizobacteria containing 1- aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase depends on nutrient status of the plant. Canadian Journal of Microbiology. 48, 189-199.
24. Benlloch, M., Ojeda, M.A., Ramos, J. and Rodriguesnanavarro, A. 1994. Salt sensitivity and llow discrimiation between potassiumand sodium in plants. Plant and Soil. 166: 117-123.
25. Bhattari, T., and Hess, D. 1993.Yield responses of Nepalese spring wheat (*Triticum aestivum* Ll.) cultivars ti inoculation with azospirillum spp of Nepalese origin. Plant and Soil. 151: 67-76.
26. Brognoli, E. and Bjorkman, D.1992. Growth of cotton under continous salinity stress. Influence of allocation pattern, stomatal and non stomatal components of photosynthesis and dissipation of excess light energy. Planta. 187: 335-347.
27. Chatrath, A. Mandal, P.K. and Anuradha, M.2000. Effect of secondary salinization on photosynthesis in fodder oat (*Avena Sativa* L.) genotypes. Journal of Agronomy and Crop Science. 184: 13-16.
28. Chen, Z. Newman, I., Zhuo, M., Mendham, N., Zhang, G. and Shabala, S. 2005. Screening plants for salt tolerance by measuring K+ flux:a case study for barely. Plant Cell and Enviroment. 28, 1230-1246.

29. Chen, Z., Newman, I., Zhuo, M., Mendham, N., Zhang, G. and Shabala, S. 2005. Screening plants for salt tolerance by measuring K+ flux:a case study for barely. Plant, Cell and Enviromental. 28: 1230-1246.
30. Desingh, R and Kanagaraj, G. 2007. Influence of salinity stress on photosynthesis and antioxidative systems in two cotton varieties. Genetic Applied and Plant Physiology. 33: 221-234.
31. Garcia, A. Rizzo, C.A., UD-Din, J., Bartos, S.L., Flowers, T.J. and Yeo, A.R. 1997. Sodium and potassium transpott to the xylem are inherited independent lyinrice, and the mechanisms of sodium: potassium selectivity differs between rice and wheat. Plant Cell and Enviroment. 20: 1167-1174.
32. Glick, B.R. Penrose, D. and Wendo, M.2001. Bacterial promotion of plant growth. Biotechnology Advance. 19: 135-138.
33. Gramer, G.R. Alberico, G.J. and Schmidt, C. 1994. Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of two maize hybrids. Australian Journal of Plant Physiology.21(5): 675-682.
34. Hamaoui, B. Abbadi, J.M., Burdman, S., Rashid, A., Sarig, S. and Okon, Y.2001. Effects of inoculation with Azospirillum brasilense on chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and faba beans (*Vicia faba*) under different growth conditions. Agronomy Journal. 21:553-560.
35. Hamdi, M.A. Shaddad, M.A.K. and Doaa, M.M. 2004. Mechanisms of salt tolerance and interactive effects of Azospirillum brasilense inoculation on maize cultivars grown under salt stress conditions. Plant Growth Regulation. 44: 165–174.
36. Hamdia, M.A. and El-Komy, H.M.1997. Effects of salinity, gibberelic acid and Azosbirillum inoculation on growth and nitrogen uptake of Zea mays. Plant Biology. 40:109-120.
37. Hasnain, S., Sabri, A.N. 1996. Growth stimulation of Triticum aestivum seedlings under Cr-stresses by non-rhizospheric pseudomonad strains. Enviromental Pollutry. 97(3):265-73
38. Kafi, M. and Stwart, D.A. 1998. Effect of salinity on growth and yield of nine types of wheat. Agronomy Food Science. 12(1): 77-85.
39. Lobna, Z. Gharbi, F., Rezgui, F., Rejeb, S., Nahdi, H. and Rejeb, M.N.2009. Application of chlorophyll fluorescence for the diagnosis of salt stress in tomato Solanum lycopersicum (variety Rio Grande). Horticultural Science. 120: 367–372.
40. Luttge, V. Andrew, J. and Smith, C. 2004. Structural, biophysical, and biochemical aspects of the role of the leaves in plant adaptation to salinity and water stress. In: R. C. Staples.,and G. H. Toennienssen. Salinity tolerance in plants. pp: 125–151. A wiley Interscience Publication.
41. Mass, E.V.1986. Physiological response of plants to chloride in chloride and crop production. Potash Phosphate Institute. 4-20.
42. Munns, R. and Termaat, A. 2002. Whole plant responses to salinity. Plant Physiology. 13: 143-160.
43. Nadeem, S.M., Zahir, Z.A., Naveed, M. and Arshad, M. 2007. Preliminary investigations on inducing salt tolerance in maize through inoculation with rhizobacteria containing ACC deaminase activity. Canadian Journal of Microbiology. 53 (10):1141-9.
44. Nelson, D.E. Rammesmayer, G. and Bohnert, H.J. 1998. Cell-specific inositol metabolism and transport in plant salinity tolerance. Plant Cell. 3: 117-121.
45. Okon, Y. Albercht, L.S. and Buriss, R.H. 1977. Methods of growing Spirillum lipoferum with plants. Experimental Agriculture. 33: 85-88.
46. Okon, Y. and Kapolink, Y.1986. Development and function of Azospirllum- inoculated roots. Plant and Soil, 90: 3-16.

47. Okon,Y. and Labandera-Gonzalez, C.A.1994. Agronomic applications of Azospirillum: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. Soil Biology and Biochemistry. 26: 1591-1601.
48. Omar, M.N.A. Osman, M.E.H., Kasim, W.A. and Abd El-Daim, I.A. 2007. Improvement of salt tolerance mechanisms of barley cultivated under salt stresses using of Azosprilium brasilense. Plant and Soil. 44:133-147.
49. Rai, R.S.1991.Rain –specific salt tolerance and chemotaxis of azospirillum brasilence and their associate n-fixation with finger millet in saline calcareowes soil.Plant and Soil. 137: 55-59.
50. Rao, A.V. and Warla, B.V. 1985.Salt tolerance of azospirillum brasilense.Acta Microbiology. 32: 221-224.
51. Rodriguez, H. and Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biological Technology. 17: 319-339.
52. Saravana Kmar, D and Samiyapoan, R. 2007. Acc deaminase from Pseudomonas fluorescens mediated saline resistance in groundnut (Arachis hypogaea l.) plants. Journal of Applied Microbiology.102:1283-1292.
53. Sarige, S., Blum, A. and Okon, Y. 1988.Improvement of the water status and yield of field-grown grain sorghum (*S.bicolor*) by inoculation with A.brasilense. Journal of Agricultural Science. 110: 271-277.
54. Schochman, D.P., Munns, R. and Whitecross, M.I.1991. Variatio in sodium exclusion and salt tolerance in triticum tauschii. Crop Science. 31: 992-997.
55. Scott, M.L. Catterina, M.G., Eugene, V.M. and Leland, E.F. 1992. Kernel distribution. 1: Main spikes of salt stressed wheat. Aprobablitic modeling approach. Crop Science. 32: 704-712.
56. Siliberabush, M. and Ben-Asher, J. 1987. The effect of salinity on parameters of potassium and nitrate uptake of cotton commun. Soil Science. 18(1): 65-81.
57. Singh, B.R. and Singh, D.P.1994. Effect of moisture stress morphological parameters and productivity of poaceous crops. Agro Botanical Publishers. India, Bikaner. pp: 241-246.
58. Singleton, D.W. and Bohlool, B.B. 1984. Effect of salinity on the nodule formation by soybean. Plant. Physiology. 74:pp. 72-76.25.
59. Spirts, J. H.J. and Vos, J. 1985. Grain growth of wheat and its limiatiaon by carbohydrate and nitrogen supply. pp: 129- 141: W. Day and R. L. Atkin (ed). 129- 141.
60. Suneja, S. Lakshminarayana, K. and Gupta, P.P.1994. Role of Azotobacter chroococcum siderphores in control of bacterial rot and Sclrotinia rot of mustard. Indian Journal of Microbiology and Plant Pathology. 24: 202-205.
61. Tajbakhsh, M. Zhou, M.X., Chen, Z.H. and Mendham, N.J.2006. Physiological and cytological response of salt-tolerant and non-tolerant barley to salinity during germination and early growth. Australian Journal of Experimental Agriculture. 46: 555–562.
62. Tipping and, E.M. and Zaleska, I. 1987. Growth promotion of canola (rapseed) seedlings by a strain of pseudomonas putida under genotobiotic conditions. Canadian Journal of Microbiology. 33: 390_395.
63. Triphati Mishra, A.K. and Tripathi, P.1998. Salinity stress responses in the plant growth promoting rhizobacteria., Aazosprillum spp. J. Biosci. 23(4): 463-471.
64. Uzma, F. and Asghari, B. 2006. Effect of abscisic acid and chlorocholine chloride on nodulation and biochemical content of Vigna radiata L. under water stress. Pakistan Journal of Botany. 38(5): 1511-1518.
65. Wagar, A., B.Shahroona, Z., Zahir, A. and Arshad, M.2004. Inoculation with Acc deaminase containing rhizobacteria for improvming growth and yield of wheat. Pakistan Journal of Agriculture. 41: 119-124.

66. Yassen, B.Y. and Jurgees, J.A. 1998. The response of sugar beet leaf growth and its ionic composition to sodium chloride. Journal of Agriculture and Water Resource Research.7: 47– 59.
67. Zahran, H. 1999. Rhizobiumlegom symbiosis and nitrogen fixation under sever condition and in arid climat. Microbiology and Molecular Biology Rieviews.4: 968-989.