

بررسی اثر سیانوباکتری‌ها بر کاهش اثرات شوری آب آبیاری بر رشد گندم

زهرا رفیعی عقدا، حمید سودایی زاده*، کاظم کمالی، فریبا حکم‌اللهی، ساناز طراح

گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

*نویسنده مسئول: hsodaie@yazd.ac.ir

چکیده

هدف از انجام این تحقیق مقایسه تاثیر دو نوع سیانوباکتری در کاهش اثرات تنش شوری بر رشد گندم تحت شرایط گلخانه بود. بدین منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل نوع جلبک (بدون جلبک (شاهد)، جلبک *Phormidium spp* و جلبک *Anabaena spp*) و شوری آب آبیاری (۰، ۳، ۶ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر) بود. نتایج نشان داد که شوری بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه تاثیر منفی داشت به طوری که حداکثر صفات در شرایط بدون تنش و کمترین آن در شوری 9 dS m^{-1} مشاهده شد. همچنین تنش شوری منجر به کاهش میزان کلروفیل و افزایش محتوی پرولین و قندهای محلول اندام‌های هوایی شد. دو جلبک مورد بررسی اثرات منفی تنش شوری بر خصوصیات مورد بررسی را بطور معنی‌داری کاهش دادند. از طرف دیگر تلقیح خاک با سیانوباکتری‌ها منجر به افزایش میزان کلروفیل، پرولین و قندهای محلول شد. دو جلبک مورد بررسی تاثیر متفاوتی بر کاهش اثرات منفی شوری بر رشد گندم داشتند، به طوری که در شوری‌های شدید *Phormidium spp* طول ریشه و وزن خشک اندام‌هوائی گندم را در مقایسه با *Anabaena spp* به میزان بیشتری افزایش داد. از طرف دیگر *Anabaena spp* در افزایش وزن خشک و حجم ریشه و همچنین میزان پرولین نسبت به سیانوباکتری دیگر عملکرد بهتری داشت. به طور کلی نتایج حاکی از نقش مثبت سیانوباکتری‌ها در کاهش اثرات منفی شوری بر رشد گندم بود. با این وجود، استفاده از سیانوباکتری‌ها به عنوان کود زیستی در شرایط مزرعه نیز می‌بایست مورد بررسی قرار گیرد.

واژگان کلیدی: *Anabaena spp*، پرولین، تنش شوری، *Phormidium spp*، گندم

مقدمه

شوری به عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی باعث کاهش رشد و نمو گیاهان در سراسر جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌گردد (۵۱). در کشور ایران، حدود ۲۵ میلیون هکتار از اراضی با درجات مختلفی تحت تاثیر شوری قرار دارد که در اقلیم‌های مختلف کشور پراکنده شده و تولید محصولات کشاورزی را تحت تاثیر قرار داده است (۱). در حال حاضر تولید گیاهان زراعی به‌میزان زیادی متکی به استفاده از نهاده‌های مختلف از جمله کودها و سموم شیمیایی است. مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی می‌تواند منجر به انباشته شدن این مواد در خاک و گیاهان گردد که اثرات نامطلوب زیست‌محیطی به دنبال دارد (۶۰). به عنوان مثال، حدود ۵۰ درصد از کود نیتروژن مصرفی توسط گیاهان جذب شده و ۵۰ درصد باقیمانده وارد آب‌های سطحی می‌شود (۲۸). بنابراین، تامین نیازهای غذایی جمعیت جهان بدون تاثیر مخرب بر محیط‌زیست یکی از عمده‌ترین چالش‌هایی است که بشر در حال حاضر با آن مواجه است (۷۹). استفاده از کودهای زیستی که شامل سلول‌های زنده از سویه‌های کارآمد میکروارگانیسم‌ها هستند به‌طور مستقیم و یا با ایجاد برهمکنش با محیط ریشه منجر به سهولت جذب عناصر غذایی می‌گردند و در بعضی از موارد در اثر نقش هورمونی جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه را بهبود می‌بخشند (۳ و ۷۵). از جمله کودهای زیستی، کودهای حاوی سیانوباکتری‌ها یا جلبک‌های سبز آبی می‌باشد که توانایی افزایش حاصل‌خیزی خاک را داشته و به دلیل سازگاری با محیط‌زیست و هزینه کم آن‌ها در تولید محصولات کشاورزی راه حلی مناسب برای غلبه بر مشکلات ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی می‌باشند. این میکروارگانیسم‌ها این توانایی را دارند که در شرایط نامساعد محیطی از جمله خاک‌های تحت تاثیر مواد آلاینده و همچنین خاک‌های شور زنده بمانند (۷۱). سیانوباکتری‌ها با محدود کردن میزان جذب یون سدیم و به دنبال آن کاهش میزان این عنصر در سلول‌های خود در برابر شوری مقاومت می‌کنند (۷۲ و ۴۵). بر اساس مطالعات صورت گرفته سیانوباکتری‌ها نقش مثبتی در افزایش حاصل‌خیزی خاک و افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های زنده و غیرزنده ایفا می‌کنند (۳۹ و ۷۰، ۷۷). علاوه بر نقش آن‌ها در افزودن نیتروژن آلی قابل جذب و مواد معدنی به خاک، قادر به تولید و ترشح ترکیبات فعال بیولوژیکی و متابولیت‌های ثانویه از جمله فیتوهورمون‌ها (اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها) در خاک می‌باشند (۴۰). این مواد فعال زیستی می‌توانند بر بیان ژن گیاه تأثیر بگذارند و به تحریک رشد گیاه و محافظت در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی کمک کنند (۴۱ و ۶۲). بر این اساس سیانوباکتری‌ها قادرند به عنوان کودهای زیستی ارزان و با قیمت تمام شده یک سوم کودهای شیمیایی، نقش مهمی در بهبود شرایط خاک و افزایش رشد محصولات کشاورزی ایفا کنند (۶۴). آن‌ها می‌توانند با استفاده از آنزیم نیتروژناز ازت هوا را تثبیت نموده و در اختیار گیاه قرار دهند (۵۶). این مکانیسم به تامین نیتروژن مورد نیاز گیاه کمک کرده و استفاده از کودهای شیمیایی گران و آلوده کننده محیط‌زیست را به حداقل می‌رساند (۵۲).

مطالعات مختلفی نقش سیانوباکتری‌ها در افزایش رشد و عملکرد محصولات مختلف را مورد بررسی قرار داده اند. اعتمادی خواه و همکاران (۱۳۹۶) بیان کردند که برخی از سیانوباکتری‌ها به دلیل ویژگی‌های ساختاری، تحمل قابل توجهی به تنش شوری نشان می‌دهند. بعضی از گونه‌های سیانوباکتر نمک‌دوست اجباری هستند و می‌توانند در غلظت ۳۶۰ گرم بر لیتر (۱۰ برابر بیشتر از غلظت نمک آب دریا) رشد کنند (۲). سیانوباکتری‌ها ساکن نواحی نمکی انواع ترکیبات آلی درون سلولی مختلفی نظیر گلیسین بتائین و پرولین تولید می‌کنند که بدون داشتن اثرات زیان آور موجب حفظ تعادل اسمزی سلول می‌شوند (۳۳).

عمو آقایی و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای به مقایسه اثر شوری و استفاده از جلبک *Dunaliella salina* بر روی میزان کلروفیل a و b در گیاه زیره سبز سبزواری پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که استفاده از جلبک *Dunaliella salina* نه تنها مقاومت گیاه را نسبت به شوری بالا برده بلکه میزان کلروفیل‌های a و b را به طور مشهودی بهبود بخشیده است (۱۰).

صفرریان و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای به بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد مقاوم به شوری جدا شده از ریزوسفر گیاهان شورپسند بر رشد و مقاومت گندم تحت تنش شوری پرداختند. نتایج تاثیر باکتری‌های محرک رشد بر وزن خشک ریشه و ساقه، وزن خشک کل، میزان اتیلن رقم گندم قدس را نشان داد و به طور کلی تلقیح با باکتری‌های منتخب در تعدیل اثرات مضر شوری در دوره رشد رویشی گندم موثر بود (۹).

Poveda (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای نشان داد سیانوباکترها با تولید پلی‌ساکارید خارج سلولی یا محلول‌های سازگار اثر شوری را کاهش، جوانه‌زنی را در شرایط خشکسالی افزایش می‌دهند و آلاینده‌ها (فلزات سنگین و آفت کش‌ها) را از خاک و آب حذف می‌کنند (۶۳).

Alharbi و همکاران (۲۰۲۳) اصلاح خاک را با استفاده از باگاس کمپوست شده و یا محلول‌پاشی محرک‌های زیستی مبتنی بر سیانوباکتری برای مبارزه با اثرات مضر استفاده از آب شور مورد بررسی قرار دادند. این مطالعات نشان داد که باگاس کمپوست شده و محرک‌های زیستی مبتنی بر سیانوباکتری با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، از جمله سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و پراکسیداز (POX)، استرس اکسیداتیو را در گیاهان جو در شرایط تنش شوری کاهش دادند. در نتیجه، ترکیب باگاس کمپوست شده و عصاره سیانوباکتری‌ها منجر به افزایش صفات مرتبط با عملکرد مانند طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد کاه و شاخص برداشت شد. در مجموع، کاربرد تلفیقی باگاس کمپوست شده و سیانوباکتری‌ها به عنوان یک استراتژی زیست‌محیطی پایدار امیدوارکننده می‌تواند برای بهبود خواص خاک و افزایش رشد و بهره‌وری جو و سایر غلات تحت آبیاری با آب شور مورد استفاده قرار گیرد (۱۶).

بر اساس بررسی‌های بعمل آمده تاکنون مطالعات اندکی در زمینه نقش سیانوباکتری‌ها در کاهش اثرات منفی تنش شوری بر غلات در ایران صورت گرفته است. هدف از انجام این مطالعه مقایسه عملکرد دو سیانوباکتری *Phormidium spp* و *Anabaena spp* بر کاهش اثرات مضر تنش شوری بر رشد گندم در شرایط گلخانه‌ای بود. دلیل انتخاب این دو نوع جلبک این بود که مقاومت به شوری آن‌ها در مطالعات دیگر گزارش شده است (۳۹). نتایج این تحقیق می‌تواند در کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و افزایش کاربرد کودهای زیستی در تولید محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه یزد به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار به انجام رسید. فاکتورهای مورد بررسی شامل نوع جلبک با سه سطح (بدون جلبک (شاهد)، جلبک *Phormidium spp* و جلبک *Anabaena spp* و شوری آب آبیاری با ۴ سطح (۰، ۳، ۶ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر) در نظر گرفته شد.

نمونه برداری از خاک

نمونه‌های خاک از محل ریزوسفر ریشه گیاهان از یک مزرعه گندم و یک باغ پسته در مسیر یزد-میبد جمع‌آوری شد. نمونه‌های خاک در پاییز ۱۴۰۰ به‌طور تصادفی از عمق ۰-۳۰ سانتی متر خاک بر اساس روش Rangaswamy (۶۵) جمع‌آوری شد. پس از آن، نمونه‌ها درون کیسه‌های پلاستیکی ریخته شده و در محفظه مخصوص با دمای ۴ درجه قرار گرفتند و جهت آنالیز خاک و جداسازی سیانوباکترها به منتقل و در یخچال در دمای ۴ درجه نگهداری گردید.

جداسازی و شناسایی سیانوباکترها

برای جداسازی سویه‌های سیانوباکتری، ده گرم نمونه خاک به ظروف پتری استریل منتقل و محیط BG-11 استریل شده با pH: 7.1 به آن اضافه شد. ظروف پتری در یک محفظه کشت در دمای 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد، با دوره نوری ۱۲ ساعت نور، ۱۲ ساعت تاریکی و شدت نور $33/73 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ قرار گرفتند. پس از دو هفته کلنی‌های تشکیل دهنده

سیانوباکتری شمارش شدند. پس از تشکیل کلنی جلبک‌های سبز آبی در ظروف پتری‌دیش، از یک دیسک هریسون برای انتخاب تصادفی کلنی‌های مختلف بر اساس تنوع مورفولوژیکی، رنگ و میکرومورفولوژی میکروارگانیسم‌ها که با استفاده از میکروسکوپ نوری مشخص شده بود استفاده گردید (۵۴). برای حذف آلودگی باکتریایی و قارچی از آنتی‌بیوتیک ایمپینم و سیکلوهگزامید با غلظت ۰/۱۲۵ درصد وزنی به حجمی استفاده شد (۳۴). برای خالص سازی برخی از سویه‌ها هم از روش سانتریفیوژ (۱۰ دقیقه در دور ۳۵۰۰ دور در دقیقه جهت جدا کردن سلول‌های بزرگتر و سنگین‌تر سیانوباکتری از باکتری‌های کوچکتر) و سونیکیشن (۳۰ ثانیه در نتایج فرکانس ۲۰ کیلوهرتز جهت حذف میکروارگانیسم‌های متصل به سیانوباکتری‌ها) استفاده شد (۱۸).

شناسایی جدایه‌ها بر اساس روش Komarek and Anagnostidis (۵۰) انجام گرفت. برای شناسایی اولیه جدایه‌ها به روش مورفولوژیک، با تهیه لام نیمه دائمی از کلنی‌ها و با استفاده از میکروسکوپ نوری و کلیدهای شناسایی سیانوباکتری‌ها، مشخصات میکروسکوپی و ماکروسکوپی نمونه‌های مورد نظر شناسایی شدند (۳۰).

کشت گندم و اعمال تیمارها

ابتدا بذور گندم پاییزه (رقم مرودشت) با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم ۱ درصد به مدت ۱۰ دقیقه و الکل اتانول ۷۰ درصد به مدت ۱ دقیقه ضدعفونی شده و سپس بذرها با استفاده از آب مقطر به دقت شسته شدند. جهت کشت بذرها ۴ کیلوگرم خاک در گلدان‌های پلاستیکی دارای زهکش با قطر ۱۵ و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر ریخته شد. مشخصات خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است. تعداد ۸ عدد بذر در عمق ۱ سانتی‌متر خاک هر گلدان کشت شد و روی آن‌ها خاک نرم ریخته شد. پس از گذشت نزدیک به ۱۵ روز گیاهچه‌ها تنک شده و در درون هر گلدان ۳ بوته نگه داشته شد. گلدان‌ها در داخل گلخانه با شدت نور ۳۰۰۰ لوکس، دمای ۳۰ تا ۳۵ درجه سلسیوس و رطوبت ۷۵ درصد نگه‌داری شده و آبیاری گلدان‌ها دوبار در هفته با آب معمولی انجام شد. سپس به ۱۶ گلدان سیانوباکتر *Phormidium spp* و ۱۶ گلدان *Anabaena spp* اضافه شد. به خاک ۱۶ گلدان هم به عنوان شاهد هیچ‌گونه باکتری القاح نشد. جهت تلقیح خاک گلدان با جلبک، سویه‌های سیانوباکتری یک هفته پس از کاشت به میزان ۶ گرم در مترمربع (۶۰ کیلوگرم در هکتار) به طور یکنواخت در سطح خاک گلدان ریخته شدند. پس از استقرار کامل بوته‌های گندم در خاک، تیمارهای شوری اعمال گردید. برای جلوگیری از وارد شدن شوک به گیاهان، تیمارهای شوری به صورت تدریجی در طول سه هفته اعمال شد. همچنین به منظور 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، آبیاری با آب شاهد انجام گردید. پس از گذشت ۴ هفته از اعمال تیمارهای شوری صفات مختلفی از قبیل وزن خشک اندام هوایی و ریشه، طول و حجم ریشه، میزان پرولین و قندهای محلول و همچنین میزان کلروفیل a و b و همچنین کلروفیل کل اندازه‌گیری شد. طول ریشه با استفاده خط‌کش با دقت میلی‌متر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاهان از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ استفاده شد. بدین‌منظور نمونه‌های اندام هوایی و ریشه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد دستگاه آون قرار گرفتند و بعد از آن وزن خشک توسط ترازوی دیجیتال حساس ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری حجم ریشه پس از جدا کردن اندام‌هوائی و ریشه از یکدیگر و شستشوی ریشه، ریشه‌ها در داخل استوانه مدرج با میزان آب مشخص گذاشته شدند، از روی تغییر حجم آب درون استوانه، حجم ریشه بر حسب میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان پرولین از روش Bates و همکاران استفاده گردید. بدین منظور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Analytical Jena 210, Germany) و کالیبره کردن آن با تولوئن، مقدار جذب لایه رنگی در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید و منحنی استاندارد آن‌ها رسم شد. برای بدست آوردن مقدار پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) میزان جذب قرائت شده نمونه‌ها در فرمول حاصل از منحنی استاندارد قرار گرفته و مقدار پرولین موجود در آن‌ها محاسبه گردید (۲۴).

محتوای کلروفیل از روش Arnon (۱۹) اندازه‌گیری شد. بدین‌منظور ۰/۲ گرم از برگ تازه گیاه با ۱۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد سائیده شد و بعد از صاف کردن مقدار جذب آن‌ها با اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۴ نانومتر قرائت و غلظت رنگریزه‌ها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد. همچنین جهت سنجش کربوهیدرات‌های محلول ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد به ۰/۱ گرم ماده خشک گیاهی اضافه و پس از یک هفته ۱ میلی‌لیتر از محلول رویی برداشته و به آن ۱ میلی‌لیتر فنول ۵ درصد اضافه و بهم زده شد. سپس ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن اضافه گردید. پس از گذشت ۳۰ دقیقه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۵ نانومتر، میزان جذب قرائت و مقدار قند محلول بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک به‌دست آمد (۷).

آنالیز داده‌ها

برای آنالیز داده‌های مورد آزمایش پس از اطمینان از نرمال بودن توزیع آن‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، از روش تجزیه واریانس دو طرفه برای تجزیه داده‌ها استفاده شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه دانکن استفاده گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS ورژن ۲۵ صورت گرفت و جهت رسم نمودار ها از نرم افزار Excel استفاده شد.

جدول ۱: مشخصات خاک مورد استفاده در آزمایش

بافت خاک	EC (dS/m)	pH	ازت کل (%)	فسفر در دسترس (ppm)	پتاسیم در دسترس (ppm)	کربن آلی (%)
لومی شنی	۲/۲۳	۷/۳۷	۰/۱۳	۸/۲	۱۹۳	۱/۱۲

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر شوری و نوع جلبک بر طول ریشه وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک و حجم ریشه در سطح ۱ درصد و اثر متقابل این دو فاکتور بر طول ریشه در سطح ۵ درصد و بر سایر صفات در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

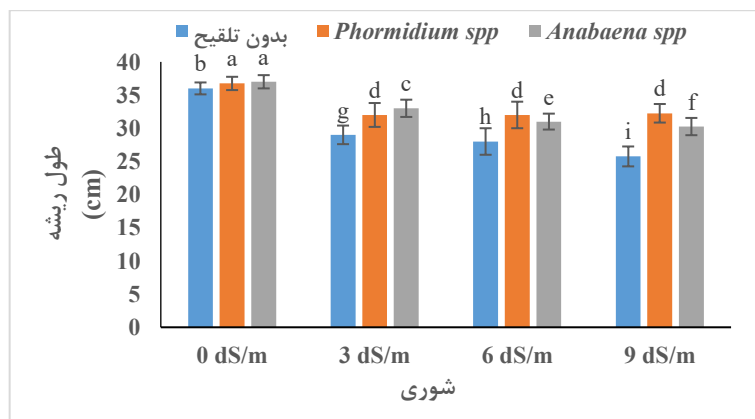
جدول ۲: جدول تجزیه واریانس اثر شوری و نوع جلبک بر برخی از صفات مرفولوژیکی گندم

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	طول ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	حجم ریشه	
شوری	۳	۱۱۶/۱۶**	۰/۰۰۹**	۰/۰۰۲**	۲/۵۲**	
نوع جلبک	۲	۸۵/۹۲**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**	
شوری * جلبک	۶	۱۰/۹۸*	۰/۰۰۰۴**	۰/۰۰۱**	۰/۰۱۹**	
خطا	۳۶	۴/۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۲	

به ترتیب ns, * و ** عدم اختلاف معنی‌دار، معنی‌داری در سطح یک درصد، معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد

طول ریشه

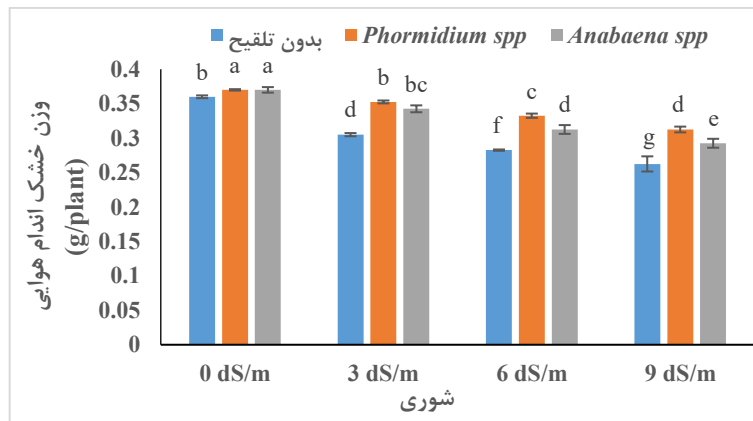
مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش شوری و جلبک نشان داد که در کلیه سطوح شوری طول ریشه گندم در مقایسه با تیمار بدون شوری بطور معنی‌داری کاهش یافت. استفاده از جلبک سبب افزایش طول ریشه نسبت به تیمار بدون جلبک در کلیه سطوح تنش شوری گردید. حداکثر طول ریشه در تیمار *Phormidium spp* و *Anabaena spp* در شرایط بدون تنش شوری با میانگین بترتیب ۳۶/۷۵ و ۳۷ سانتی‌متر مشاهده گردید و کمترین میزان طول ریشه در شرایط شوری ۹ دیسی‌زیمنس و تیمار بدون تلقیح جلبک معادل ۲۵/۷۵ مشاهده شد. در شوری‌های ۶ و ۹ دیسی‌زیمنس کارایی جلبک *Phormidium spp* در افزایش طول ریشه گندم از جلبک دیگر بیشتر بود در تنش ۹ دیسی‌زیمنس دو جلبک *Phormidium* و *Anabaena* طول ریشه را نسبت به تیمار بدون تلقیح به ترتیب به میزان ۳۲/۲۵ و ۱۷/۵ درصد افزایش دادند (شکل ۱).



شکل ۱: مقایسه میانگین اثر متقابل نوع جلبک و تنش شوری بر طول ریشه گندم. میله خطا روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می‌باشند. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

وزن خشک اندام هوایی

نتایج نشان داد با افزایش شوری میزان وزن خشک اندام هوایی گندم نسبت به شاهد بدون شوری بطور معنی‌داری کاهش یافت. در تمامی سطوح شوری، استفاده از جلبک سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی نسبت به عدم استفاده از جلبک گردید. حداکثر وزن خشک اندام هوایی در تیمار *Phormidium spp* و *Anabaena spp* در شرایط بدون تنش شوری با میانگین ۰/۳۷ گرم مشاهده گردید و کمترین میزان وزن خشک اندام هوایی در شرایط شوری ۹ دیسی‌زیمنس و تیمار بدون تلقیح جلبک یافت شد. نتایج نشان داد بین دو نوع جلبک مورد مقایسه در شرایط شوری صفر دیسی‌زیمنس اختلاف معنی‌داری از نظر وزن خشک اندام هوایی مشاهده نگردید. در سایر سطوح تنش شوری جلبک *Phormidium spp* نسبت به جلبک *Anabaena spp* وزن خشک را به طور معنی‌داری افزایش داد. در شوری ۹ دیسی‌زیمنس دو جلبک مورد بررسی وزن خشک اندام هوایی را در مقایسه با تیمار بدون تلقیح به ترتیب به میزان ۱۹/۲ و ۱۱/۵ درصد افزایش دادند (شکل ۲).

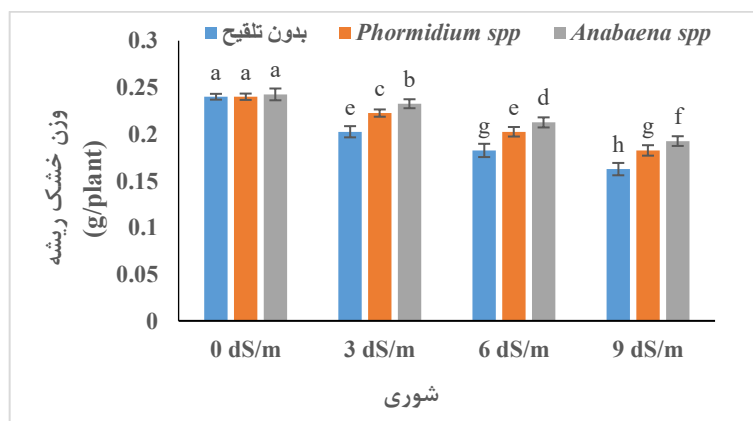


شکل ۲: اثرات متقابل نوع جلبک و تنش شوری بر وزن خشک اندام هوایی گندم. میله خطا روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می‌باشند. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

وزن خشک ریشه

بر اساس نتایج به دست آمده با افزایش میزان شوری وزن خشک ریشه گندم بطور معنی‌داری کاهش یافت. بجز شوری صفر دسی‌زیمنس، در سایر سطوح شوری هر دو نوع جلبک وزن خشک ریشه را در مقایسه با عدم مصرف جلبک بطور معنی‌داری افزایش دادند، به طوری که کمترین میزان این

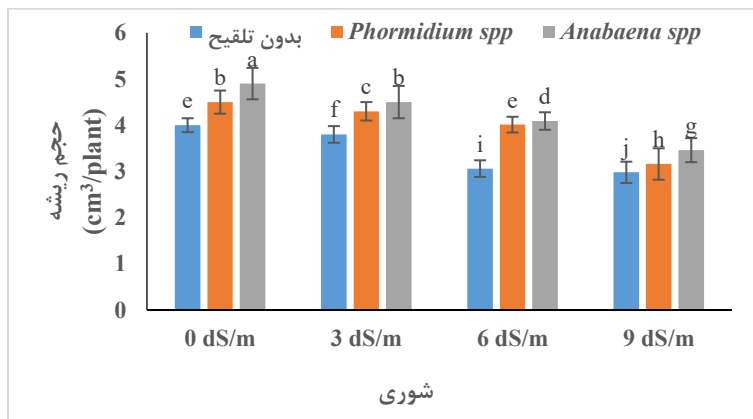
صفت در شوری ۹ و عدم تلقیح جلبک مشاهده گردید. در هر سه سطح شوری مورد بررسی در این تحقیق جلبک *Anabaena spp* در مقایسه با جلبک *Phormidium spp* وزن خشک ریشه را به میزان بیشتری افزایش داد. در شوری ۹ دسی‌زیمنس دو جلبک *Anabaena* و *Phormidium* وزن خشک ریشه را در مقایسه با تیمار بدون تلقیح به ترتیب به میزان ۱۸/۵ و ۱۲/۳ درصد افزایش داد (شکل ۳).



شکل ۳: اثر متقابل نوع جلبک و تنش شوری بر وزن خشک ریشه گندم. میله خطا روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می‌باشند. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

حجم ریشه

بر اساس نتایج بدست آمده با افزایش میزان شوری حجم ریشه گندم بطور معنی‌داری کاهش یافت. در تمامی سطوح شوری هر دو نوع جلبک حجم ریشه را در مقایسه با عدم مصرف جلبک بطور معنی‌داری افزایش دادند، به طوری که کمترین میزان این صفت در شوری ۹ و عدم تلقیح جلبک مشاهده گردید. در تمامی سطوح تنش شوری، جلبک *Anabaena spp* در مقایسه با جلبک *Phormidium spp* حجم ریشه را به میزان بیشتری افزایش داد. این افزایش در شوری ۹ برای دو جلبک *Anabaena* و *Phormidium* در مقایسه با تیمار بدون تلقیح به ترتیب ۱۶/۱ و ۱۰ درصد ملاحظه گردید (شکل ۴).



شکل ۴: اثر متقابل نوع جلبک و تنش شوری بر حجم ریشه گندم. میله خطا روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می‌باشند. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها نشان داد، اثر سطوح شوری و نوع جلبک تلقیح شده (بجز میزان قند محلول) و اثر متقابل آن‌ها بر کلیه صفات مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

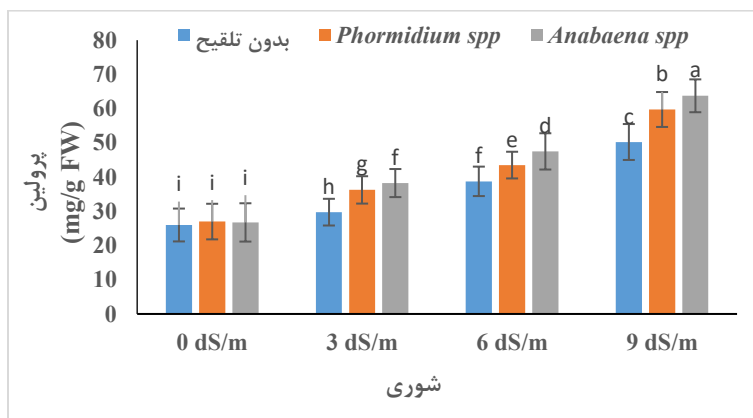
جدول ۳: جدول تجزیه واریانس اثر شوری و جلبک بر برخی از صفات فیزیولوژیکی گندم

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	قند محلول
شوری	۳	۲۱۳۲/۴**	۵/۷۲**	۳/۴۹**	۸/۸۱**	۱/۴۳**
نوع جلبک	۲	۲۴۳/۹**	۱/۴۴**	۱/۱۱**	۱/۳۳**	۰/۰۰۱ ^{ns}
شوری * جلبک	۶	۲۴/۴۹**	۱/۲۴**	۰/۹**	۰/۲۲**	۰/۳۴**
خطا	۳۶	۵/۰۲	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۰۶۱	۰/۰۰۴

به ترتیب ns و ** غیرمعنی داری، معنی داری در سطح یک درصد

پرولین

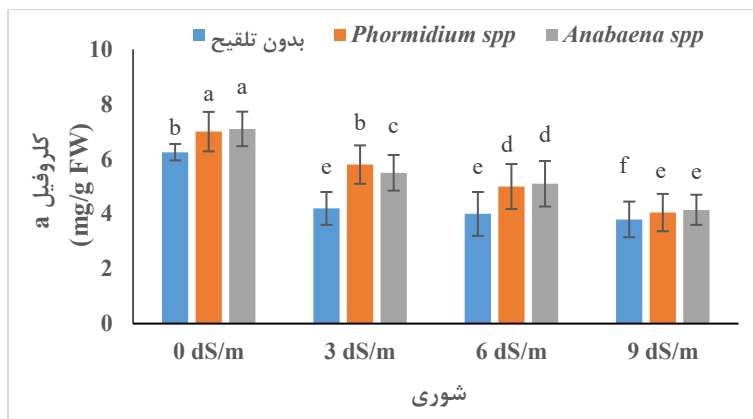
نتایج مقایسه میانگین نشان داد که شوری سبب افزایش پرولین نسبت به شرایط عدم وجود تنش گردید و استفاده از جلبک میزان سنتز پرولین را افزایش داد. به طوری که حداکثر پرولین در تیمار *Anabaena spp* در سطوح شوری ۹ دسی زیمنس با میانگین ۶۳/۷۵ میکروگرم بر گرم مشاهده گردید و کمترین میزان پرولین در شرایط بدون تنش یافت شد. نتایج همچنین نشان داد در کلیه سطوح شوری (به غیر از شوری صفر) جلبک *Anabaena spp* در مقایسه با *Phormidium spp* میزان پرولین را به میزان بیشتری افزایش داد. این افزایش در شوری ۹ دسی زیمنس برای دو جلبک *Anabaena* و *Phormidium* در مقایسه با شرایط بدون تلقیح به ترتیب ۲۶/۹ و ۱۸/۹ درصد بدست آمد (شکل ۵).



شکل ۵: اثرات متقابل نوع جلبک و تنش شوری بر پرولین گندم. میله خطا روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می‌باشند. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

کلروفیل a:

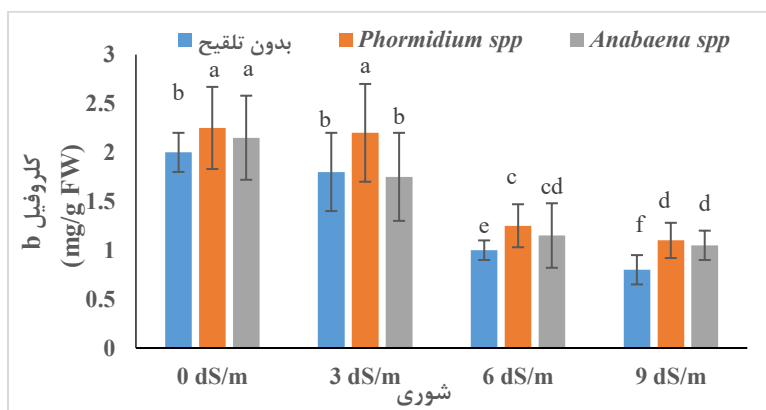
بر اساس نتایج مقایسه میانگین تنش شوری منجر به کاهش میزان کلروفیل a اندام‌های هوایی گندم شد به طوری که کمترین میزان کلروفیل در بیشترین سطح شوری (۹ دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده شد. در کلیه سطوح شوری دو جلبک مورد بررسی منجر به افزایش میزان کلروفیل a در مقایسه با عدم استفاده از جلبک شدند. در سطح شوری ۳ دسی‌زیمنس جلبک *Phormidium spp* میزان کلروفیل را در مقایسه با جلبک *Anabaena spp* به میزان بیشتری افزایش داد و در دیگر سطوح شوری بین دو جلبک اختلافی مشاهده نشد (شکل ۶).



شکل ۶: اثرات متقابل نوع جلبک و تنش شوری بر کلروفیل a گندم. میله خطا روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می‌باشند. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

کلروفیل b:

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که همانند کلروفیل a، با افزایش تنش شوری محتوی کلروفیل b نیز به طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین میزان این کلروفیل در تیمار بدون تنش شوری در تیمار تلقیح خاک با هر دو نوع جلبک و کمترین مقدار این صفت در شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار بدون جلبک بدست آمد. در تمامی سطوح شوری تلقیح خاک با هر دو نوع جلبک کلروفیل b را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۷).

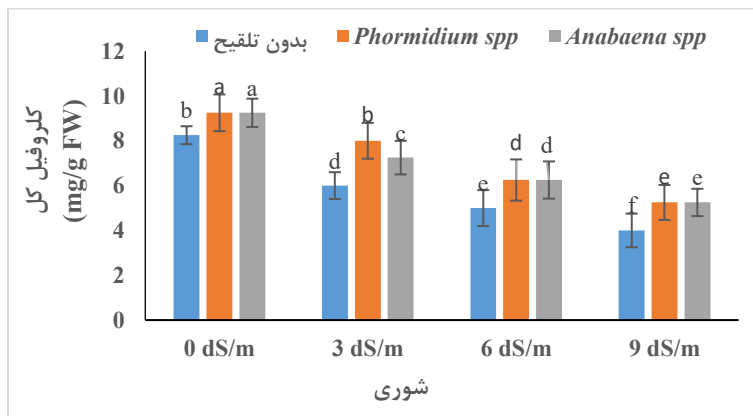


شکل ۷: اثرات متقابل نوع جلبک و تنش شوری بر کلروفیل b گندم. میله خطا روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می‌باشند. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

کلروفیل کل:

بر اساس نتایج مقایسه میانگین تنش شوری منجر به کاهش میزان کلروفیل کل اندام‌های هوایی گندم شد به طوری که کمترین میزان کلروفیل در بیشترین سطح شوری (۹ دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده شد. در کلیه سطوح شوری دو جلبک مورد بررسی منجر به افزایش میزان کلروفیل کل در مقایسه با عدم استفاده از جلبک شدند. در سطح شوری ۳ دسی‌زیمنس

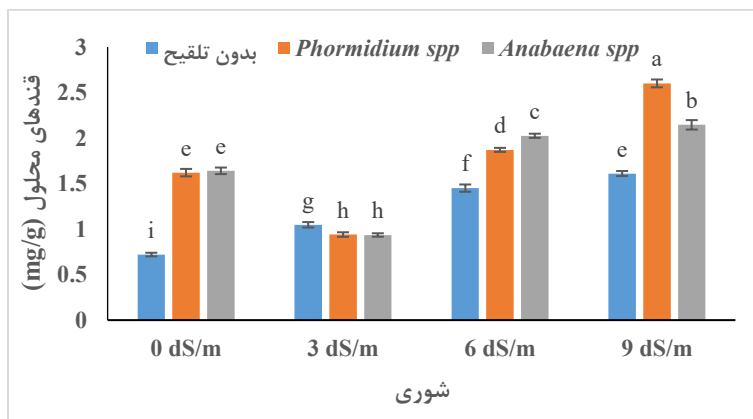
جلبک *Phormidium spp* میزان کلروفیل کل را در مقایسه با جلبک *Anabaena spp* به میزان بیشتری افزایش داد و در دیگر سطوح شوری بین دو جلبک اختلافی مشاهده نشد. در شوری ۹، دو جلبک مورد استفاده در این تحقیق میزان کلروفیل کل گندم را معادل ۳۱/۲ درصد افزایش دادند (شکل ۸).



شکل ۸: اثرات متقابل نوع جلبک و تنش شوری پارامتر کلروفیل گندم. میله خطا روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می‌باشند. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

قند محلول:

یافته‌های تحقیق بیانگر آن است که در شوری‌های ۶ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر میزان قندهای محلول بخش‌های هوایی گندم در مقایسه با شوری صفر و ۳ دسی‌زیمنس در هر دو حالت با یا بدون جلبک بطور معنی‌داری افزایش یافت. روند خاصی در عملکرد دو جلبک در افزایش قندهای محلول گندم دیده نشد بطوریکه در شوری ۹ دسی‌زیمنس میزان کربوهیدرات در جلبک *Phormidium spp* و در شوری ۶ دسی‌زیمنس در جلبک *Anabaena spp* بیشتر بود در دیگر تیمارهای شوری اختلافی بین دو جلبک دیده نشد. در شوری ۹ دو جلبک *Phormidium* و *Anabaena* میزان قند را در مقایسه با نیمار بدون تلقیح به ترتیب به میزان ۶۲/۵ و ۳۳/۶ درصد افزایش دادند (شکل ۹).



شکل ۹: اثرات متقابل نوع جلبک و تنش شوری بر میزان کربوهیدرات گندم. میله خطا روی ستون‌ها نشان‌دهنده میزان انحراف استاندارد می‌باشند. میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

بحث

نتایج مطالعه حاضر نشان داد، حداکثر طول و حجم ریشه در تیمار *Anabaena spp* در شرایط بدون تنش شوری و کمترین میزان این صفات در شرایط شوری ۹ دسی‌زیمنس و تیمار بدون تلقیح جلبک یافت شد. با توجه به اینکه رقم گندم مورد استفاده در این تحقیق نیمه متحمل به شوری می‌باشد نتیجه بدست آمده منطقی به نظر می‌رسد. هنگامی که گیاهان با تنش شوری مواجه می‌شوند، پتانسیل آب بافت‌های مریستمی کمتر از مقدار لازم برای رشد سلولی می‌شود. تامین ناکافی آب می‌تواند باعث کاهش پتانسیل سلولی، تقسیم سلولی و رشد، به ویژه در ساقه و ریشه گیاه شود (۸). بنابراین، نشانه اولیه کمبود آب در گیاهان را می‌توان با کاهش ارتفاع گیاه یا طول ریشه شناسایی کرد (۲۵). کاهش رشد ریشه به دلیل افزایش شوری توسط Egamberdieva و همکاران (۲۰۱۹) و Nadeem و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش شده است (۳۲ و ۵۸). بر اساس نتایج این تحقیق هر دو جلبک مورد بررسی اثرات تنش شوری بر رشد ریشه گندم را کاهش دادند. افزایش رشد ریشه یکی از مهم‌ترین معیارها برای سنجش تأثیر سودمند باکتری‌های محرک رشد گیاه است. توسعه سریع ریشه‌ها چه با افزایش طول ریشه‌های آغازین و چه با افزایش ریشه‌های جانبی و نابجا، راهی مناسب برای گیاهچه‌های جوان است که توانایی خود را برای استقرار در خاک و جذب مواد غذایی افزایش دهند (۶۱ و ۷۳). سیانوباکتری‌ها با تولید هورمون‌های رشد گیاهی نظیر اکسین و جبرلین در تحریک رشد سلولی نوک ریشه موثر بوده در نتیجه طول ریشه را افزایش می‌دهند (۱۳). همچنین این میکروارگانیسم‌ها با اصلاح میکروبیوم خاک به بهبود رشد ریشه و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش شوری کمک می‌کنند (۹). در این رابطه Rodríguez و همکاران (۲۰۰۶) گزارش دادند که تأثیر مثبت عصاره سیانوباکتری *Scytonema hofmanni* در کاهش اثرات شوری بر روی گیاه برنج می‌تواند بدلیل وجود ترکیباتی نظیر جبرلیک اسید در عصاره جلبک مذکور باشد (۶۸). در پژوهش دیگر نتایج نشان داد که گندم‌های تلقیح‌شده با باکتری محرک رشد سودوموناس در شرایط تنش شوری، با کاهش جذب یون‌های سمی و افزایش تولید هورمون اکسین موجب تحریک رشد گیاه شد (۳۱).

در این مطالعه با افزایش غلظت شوری، وزن خشک اندام هوایی و ریشه گندم کاهش یافت. هنگامی که یک گیاه در شرایط شور رشد می‌کند، فعالیت فتوسنتزی آن کاهش می‌یابد. در نتیجه سرعت رشد گیاه، سطح برگ و شاخص‌های رشد گیاه کاهش می‌یابد (۲۲ و ۷۴). Rahmani و همکاران (۲۰۲۴) و Gholamnia و همکاران (۲۰۲۲) گزارش نمودند که کاهش وزن گیاه در مواجهه با تنش شوری می‌تواند در ارتباط با کاهش پتانسیل آب در خاک باشد که کاهش جذب آب توسط گیاه را بدنبال دارد (۶۶ و ۳۶). با افزایش تنش شوری پتانسیل آب بافت‌های مریستمی گیاه به زیر مقدار مورد نیاز برای رشد سلول‌ها کاهش می‌یابد. در نتیجه تقسیم سلولی و بدنبال آن رشد اندام‌های هوایی و زیر زمینی گیاه کم شده که در نهایت کاهش ارتفاع و وزن خشک اندام‌های گیاه را بدنبال دارد (۷۸). در اثر قرار گرفتن گیاه در محیط شور، غلظت یون‌های سدیم و کلر در محیط ریشه افزایش یافته و رقابت آن‌ها با جذب سایر عناصر غذایی منجر به عدم تعادل در جذب عناصری نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم شده که کاهش رشد و بیوماس گیاه را بدنبال خواهد داشت (۲۲).

تلقیح خاک با هر دو سیانوباکتری مورد بررسی در این تحقیق منجر به کاهش اثرات منفی شوری بر وزن اندام‌های هوایی و ریشه گیاه شد. سیانوباکتری‌ها با افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی در شرایط تنش شوری، منجر به تولید بیوماس بیشتر در گیاه می‌شوند. همچنین تعداد زیادی از سیانوباکترها با تولید هورمون‌هایی نظیر اکسین و سیتوکینین رشد بخش‌های هوایی و زیرزمینی گیاه را افزایش داده و به تحمل گیاه به تنش شوری کمک می‌کنند. در این رابطه Glick و همکاران (۱۹۹۸) علت افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی گندم در تنش شوری در تیمار تلقیح با میکروارگانیسم‌ها را به ویژگی‌هایی چون توانایی تولید اکسین و انحلال فسفات‌های معدنی که به نوبه خود باعث افزایش تقسیم سلولی، تمایز یاخته‌ای رشد ریشه‌ی گیاه و افزایش قابلیت گیاه در دسترسی به فسفر نسبت دادند (۳۷). Ghazal و همکاران (۲۰۲۱) متذکر شدند که تلقیح خاک با سیانوباکتری منجر به بهبود خصوصیات رشد گندم گردید. این محققین دلیل افزایش رشد

گندم را افزایش میزان ازت خاک و همچنین اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک بخصوص در خاک‌های با بافت سبک دانستند (۳۵). یکی از دلایل کاهش یا رشد نکردن گیاه در شرایط تنش شوری، تجمع اتیلن در گیاه می‌باشد. تلقیح خاک با سیانوباکتری بدلیل کاهش تولید اتیلن و یا تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه و همچنین تولید پلی‌ساکارید به بهبود شرایط تغذیه‌ای خاک کمک کرده، در نتیجه رشد گیاه و وزن اندام هوایی و ریشه افزایش می‌یابد (۴۴).

Karthikeyan و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که اضافه نمودن سیانوباکتری به خاک منجر به افزایش ارتفاع، وزن خشک و عملکرد دانه گندم گردید و دلیل افزایش رشد را به وجود ایندول استیک اسید در سیانوباکتری مورد استفاده نسبت دادند (۴۷).

Sood و همکاران (۲۰۱۱) و Mazhar و همکاران (۲۰۱۳) افزایش رشد گندم در حضور سیانوباکتری را مشاهده نمودند. آن‌ها دلیل این افزایش رشد را به افزایش میزان اکسین در گیاه گندم که با میزان اکسین تولید شده توسط سیانوباکتری همبستگی مثبت داشت مرتبط دانستند (۷۹ و ۵۵).

Ronga و همکاران (۲۰۱۶) گزارش نمودند که سیانوباکتری *Phormidium* با افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی منجر به افزایش رشد و عملکرد گندم گردید (۶۹). در مطالعه دیگر سیانوباکتری *Phormidium fragil* با افزایش تجمع فیتوهورمون‌ها و مواد تحریک کننده رشد منجر به افزایش عملکرد برنج گردید (۷۶).

نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش میزان شوری، تجمع پرولین در گیاه افزایش می‌یابد. همبستگی بین تجمع پرولین و تحمل به تنش خشکی و شوری در گیاهان مختلف مشاهده شده است (۸۱ و ۸۳). Peng و همکاران (۲۰۰۸) بیان نمودند که تجمع پرولین یک شاخص فیزیولوژیکی حیاتی است که نشان دهنده واکنش گیاهان به نمک و سایر تنش‌ها غیر زنده می‌باشد (۶۲). تجمع پرولین می‌تواند به حفظ پتانسیل بالاتر آب برگ در طول تنش و محافظت در برابر استرس اکسیداتیو کمک کند (۴۳). Lucena (۲۰۰۶) گزارش داد که افزایش محتوای پرولین تحت تنش شوری می‌تواند ناشی از کاهش در تبدیل پرولین به گلوتامات باشد که در نهایت باعث کاهش استفاده از آن در سنتز پروتئین می‌شود (۵۳).

نتایج بررسی‌ها نشان داد، تلقیح خاک با جلبک منجر به افزایش میزان پرولین شد. بیشترین و کمترین میزان پرولین به ترتیب در تیمار *Phormidium spp* و تیمار بدون جلبک مشاهده گردید. پرولین توسط متابولیسم نیتروژن ساخته می‌شود که طی آن نیترات در گیاه به نیتريت و سپس به آمونیاک و در مرحله بعد از طریق ترکیب شدن با گلوتامین و گلوتامات به اسیدهای آمینه تبدیل می‌شود (۸۰). سیانوباکتری‌ها با تثبیت نیتروژن و افزایش جذب آن توسط گیاه (بدلیل افزایش سیستم ریشه‌ای گیاه) می‌تواند به این فرآیند کمک کرده و میزان پرولین را در گیاه افزایش دهد (۴۶). محتوای بالاتر پرولین تحت تنش شوری برای گیاهان مطلوب است، زیرا پرولین در تنظیم اسمزی برگ گیاهان شرکت می‌کند (۱۴) و (۴۲). Rady و همکاران (۲۰۱۸) گزارش دادند که تلقیح خاک با سیانوباکتری‌ها منجر به افزایش میزان تجمع پرولین در لوبیا شد. این محققین افزایش پرولین در حضور سیانوباکتری‌ها را به عنوان یک مکانیسم دفاعی گیاه برای غلبه بر تنش شوری بیان نمودند (۶۵).

بر اساس نتایج این تحقیق با افزایش تنش شوری میزان کلروفیل موجود در گیاه کاهش یافت. این کاهش می‌تواند به دلیل افزایش تخریب این رنگیزه‌ها و یا کاهش ساخت آن‌ها و نیز اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد. شوری دارای دو اثر متفاوت است. در مرحله اول موجب القاء تنش اسمزی شده که نتیجه آن کاهش در نرخ رشد ریشه و برگ بدلیل تنش رطوبتی و نه تنش یونی می‌باشد، چرا که غلظت Na^+ و Cl^- در ساعات اولیه اعمال تنش پایین‌تر از غلظت‌های سمی برای سلول می‌باشد (۵۷). در صورتی که دوره تنش طولانی‌تر شود گیاهان عدم تعادل یونی (زیاد بود و یا کمبود برخی یون‌ها) را نیز تجربه می‌کنند، که می‌تواند موجب پیری زود هنگام برگ‌ها و کاهش سطح فعال فتوسنتز کننده شود (۲۹). صرف نظر از نوع نمک کاربردی، تنش شوری در بیشتر گونه‌های گیاهی موجب کاهش

کلروفیل‌های a و b، کارتنوئیدها و پروتئین‌های محلول می‌گردد (۴ و ۶۷). Asrar و همکاران (۲۰۱۷) دریافتند که افزایش سطح شوری اثرات مضر بر گیاه دارد که منجر به کاهش پروتئین‌های کلروپلاست و غلظت کلروفیل می‌شود (۲۰). کاهش محتوای کلروفیل با افزایش تنش شوری در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (۸۲ و ۱۷). بر اساس نتایج این تحقیق استفاده از جلبک تاثیر بسزایی در افزایش کلروفیل در شرایط تنش داشت. نقش مثبت سیانوباکتری‌ها در افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل گندم تحت تنش شوری می‌تواند نشان‌دهنده عملکرد موفق این میکروارگانیسم‌ها در افزایش فتوسنتز بدلیل افزایش مقدار کلروفیل a و کلروفیل b و در نتیجه جلوگیری از تجزیه قندهای ذخیره شده در گندم و افزایش رشد گیاه باشد. افزایش قابل توجه تولید سیدروفور که دسترسی به آهن را افزایش می‌دهد از جمله دلایل افزایش سطح کلروفیل در گیاه تیمار شده با کودهای زیستی حاوی جلبک می‌باشد. در این رابطه Osman (۲۰۱۴) و Khalilzadeh و همکاران (۲۰۱۷) بیان نمودند که افزایش میزان SPAD در اثر مصرف کودهای زیستی می‌تواند در ارتباط با عوامل مختلفی مانند تاخیر در پیری برگ، جلوگیری از تجزیه کلروفیل، تغییر در ترکیب کلروفیل از طریق فعالیت آنزیم و افزایش تولید آنزیم و پروتئین‌های محلول باشد (۵۹ و ۴۹). همچنین Cheng و همکاران (۲۰۰۷) گزارش دادند که سیانوباکتری‌ها با بهبود کارایی مصرف آب و افزایش غلظت کلروفیل a و کلروفیل b باعث افزایش رشد گیاه می‌شوند (۲۷). Zaki و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیق خود افزایش تولید ماده خشک در گیاه سویا تحت تنش شوری را به تأثیر مطلوب سیانوباکتری‌ها بر افزایش کارایی فتوسنتزی گیاه نسبت دادند (۸۳).

یافته‌های تحقیق بیانگر آن است که با افزایش شوری میزان قندهای محلول گیاه افزایش یافت. افزایش غلظت قندهای محلول در گیاه منجر به کاهش فشار اسمزی قسمت هوایی گیاه شده و جذب آب را در شرایط وجود استرس شوری بهبود می‌بخشد. در بسیاری از گیاهان تجمع مواد آلی محلول یکی از پاسخ‌های سازشی گیاه در مقابل تنش شوری و خشکی برای حفظ تعادل اسمزی می‌باشد (۱۱). فعالیت آنزیم ساکاروز فسفاتاز سنتاز پس از اعمال تنش شوری افزایش یافته و افزایش قندهای محلول ممکن است حاصل افزایش فعالیت این آنزیم در گیاه باشد (۱۲). همچنین افزایش در میزان قند در شرایط تنش را می‌توان به دلیل کاهش در میزان فتوسنتز، شکستن قندهای بزرگ (نشاسته) به قندهای کوچک (گلوکز) و یا مصرف کمتر کربوهیدرات توسط گیاه نسبت داد. Karimi و همکاران (۲۰۰۹)، Bohnert و همکاران (۱۹۹۶)، دوست‌حسینی و همکاران (۱۳۹۹) و جوشن و همکاران (۱۳۹۹) نیز گزارش دادند که تنش شوری منجر به تجمع نمک و افزایش غلظت قند در گیاه می‌گردد (۴۸ و ۲۶ و ۶ و ۵). در این مطالعه تلقیح خاک با سیانوباکتری منجر به افزایش غلظت قندهای محلول در بخش‌های هوایی گندم شد. بر اساس نتایج بدست آمده کاربرد سیانوباکتری منجر به افزایش میزان کلروفیل گندم تحت تنش گردید. با توجه به اینکه میزان فتوسنتز با غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی در ارتباط می‌باشد لذا این احتمال وجود دارد که جلبک‌های مورد استفاده در این مطالعه در مقایسه با تیمار بدون جلبک با افزایش سطح کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل منجر به افزایش میزان فتوسنتز گردند. در نتیجه از تجزیه قندهای ترکیبی ذخیره شده در گندم جلوگیری کرده و عملکرد گیاه حتی تحت تنش شوری را محافظت می‌کنند (۶۹ و ۳۸ و ۲۱). مطالعات قبلی نشان داد که گیاهانی که تحت استرس با میکروارگانیسم‌های مفید تیمار شده‌اند، ژن‌های مرتبط با متابولیسم قند را افزایش می‌دهند (۱۵ و ۲۳). در این رابطه Izeid و همکاران (۲۰۱۴) گزارش نمودند که عصاره جلبک *Phormidium* منجر به افزایش غلظت قندهای محلول در گیاه لوبیای چشم بلبلی گردید (۴۳).

نتیجه گیری

یافته‌های این تحقیق نشان داد که تنش شوری منجر به کاهش رشد اندام‌های هوایی و زیرزمینی و میزان کلروفیل گندم گردید. از طرف دیگر مقدار پرولین و قندهای محلول موجود در اندام‌های هوایی گیاه با زیاد شدن تنش شوری افزایش یافت. نتایج این مطالعه همچنین بیانگر آن بود که سیانوباکتری‌های مورد استفاده منجر به کاهش اثرات سوء نمک بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و میزان کلروفیل گیاهان گندم شدند. همچنین این میکروارگانیسم‌ها با افزایش میزان پرولین و قندهای محلول به تنظیم اسمزی گیاه کمک نموده و جذب آب را در شرایط تنش بهبود بخشیدند. تفاوت‌هایی در نوع عملکرد دو سیانوباکتری مورد بررسی مشاهده شد به طوری که در شوری‌های شدید *Phormidium spp* طول ریشه و وزن خشک اندام‌های گندم را در مقایسه با *Anabaena spp* به میزان بیشتری افزایش داد. از طرف دیگر *spp* *Anabaena* در افزایش وزن خشک و حجم ریشه و همچنین میزان پرولین نسبت به سیانوباکتری دیگر دارای عملکرد بهتری بود. از نظر میزان کلروفیل بین دو سیانوباکتری مورد بررسی تفاوتی دیده نشد. بطور کلی نتایج این تحقیق بیانگر نقش مفید سیانوباکتری‌ها بر اثرات مضر نمک بر گیاه گندم بود. با اینحال تحقیقات بیشتری برای ارزیابی مکانیسم عمل سیانوباکتری‌ها به عنوان یک کود زیستی در افزایش رشد و عملکرد گندم در شرایط مزرعه مورد نیاز است.

تضاد منافع: نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تضاد منافع ندارند.

سپاسگزاری: از دانشگاه یزد بدلیل در اختیار قرار دادن امکانات و تجهیزات لازم برای انجام این تحقیق کمال تشکر و سپاسگزاری بعمل می‌آید.

فهرست منابع

۱. آرمجو، ا. و امینی سفیداب ا. (۱۴۰۱). ارزیابی عملکرد دانه، بهره‌وری آب و تحمل به شوری لاین‌های امیدبخش گندم نان. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی، ۳۵ (۲): ۲۴-۴۹.
۲. اعتمادی‌خواه، ع.، پوربابایی، اع.، علیخانی ح. و نوروزی م. (۱۳۹۶). جداسازی و شناسایی سیانوباکترها از خاک‌های فوق شور پارک ملی کویر. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۸ (۳): ۶۳۷-۶۲۵.
۳. توکلی م. و جلالی ا. (۱۳۹۵). تاثیر کاربرد انواع کودهای زیستی و سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم. نشریه تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی، ۶ (۲۱): ۳۳-۴۵.
۴. جلیلی، ش.، احسانپور ع. ا. و جوادی راد م. (۱۴۰۲). اثر ملاتونین بر شاخص‌های رشد و ترکیبات فنلی تحت تنش شوری کشت در شیشه در گیاه یونجه (*Medicago sativa* L.). مجله پژوهش‌های گیاهی، ۳۶ (۱): ۷۴-۶۲.
۵. جوشن، ز.، سودایی زاده، ح.، حکیم‌زاده، م. ع.، یزدانی بیوکی، ر. و خواجه‌حسینی س. (۱۳۹۹). بررسی تاثیر محلول پاشی گلايسين بتائين بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی نعنای تحت تنش شوری. تولیدات گیاهی، ۴۳ (۲): ۲۸۰-۲۶۷.
۶. دوست‌حسینی، م.، سودایی‌زاده، ح.، یزدانی‌بیوکی، ر.، سرافراز، م. ر. و حکیم‌زاده م. ع. (۱۳۹۹). بررسی واکنش‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی سیاه‌شور به مقدار شوری آب. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۴ (۱): ۱۳۶-۱۲۱.

۷. سودایی زاده، ح. و منصوری ف. (۱۳۹۳). اثر تنش خشکی بر تجمع ماده خشک، غلظت عناصر غذایی و قندهای محلول در گیاه دارویی مریم‌گلی لوله‌ای (*Salvia macrosiphon* Boiss). خشکبوم، ۴(۱): ۹-۱.
۸. سودایی زاده، ح.، مصلح آرانی، ا. و تجملیان م. (۱۳۹۴). بررسی تاثیر موسیلاژ بذر بر میزان مقاومت به خشکی گیاه شاهی (*Lepidium sativum* L.) در مرحله جوانه زنی و رشد اولیه. مجله پژوهش‌های گیاهی، ۲۸(۵): ۱۰۲۷-۱۰۱۷.
۹. صفدریان، م.، عسکری، ح.، سلطانی، م. و نعمت زاده ق. (۱۳۹۷). اثر باکتری‌های محرک رشد مقاوم به شوری جدا شده از ریزوسفر گیاهان شورپسند بر رشد و مقاومت گندم تحت تنش شوری. مجله علوم گیاهان زراعی ایران (علوم کشاورزی ایران). ۴۹(۱): ۴۵-۵۶.
۱۰. عمو آقایی، ر.، حسینی، ت. و جمال‌ع. (۱۳۹۷). مقایسه اثر شوری و استفاده از جلبک دونالیا سالینا بر روی میزان کلروفیل گیاه زیره سبز. سومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، تهران، ایران.
۱۱. کدخدایی، ه.، سودایی زاده، ح. و مصلح‌آرانی، ا. (۱۳۹۳). اثر محلول پاشی گلیسین بتائین بر روی رشد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه کلزا تحت تنش خشکی در مزرعه. مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، ۳(۴): ۹۰-۷۹.
۱۲. نورانی آزاد، ح. و حاجی باقری م. ر. (۱۳۸۷). اثر تنش شوری بر روی برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه شوید *Anethum graveolens* L. مجله دانش نوین کشاورزی، ۴(۱۲): ۹۳-۱۰۰.
۱۳. نیشابوری، ف.، فرح‌آبادی، س. م.، آقاشریعتمداری، ز. و قطبی راوندی ع. ا. (۱۳۹۹). بررسی تاثیر تیمار سیانوباکتری بر تولید هورمون‌های رشدی در ژنوتیپ‌های وحشی و زراعی گیاه جو. بیست و یکمین کنگره ملی و نهمین کنگره بین‌المللی زیست‌شناسی ایران، تهران، ایران.

14. Abdelhamid MT. Rady MM. Osmanh AS. Abdalla MA (2013). Exogenous application of proline alleviates salt-induced oxidative stress in *Phaseolus vulgaris* L. Plants. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 88: 439-446.
15. Ahanger MA. Tyagi SR. Wani MR. Ahmad P (2014). Drought tolerance: role of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. In Ahmad, P., Wani, M.R. (Eds). 11. Physiological Mechanisms and Adaptation Strategies in Plants Under Changing Environment. Springer, New York, NY, pp.25-55.
16. Alharbi KH. Hafez EM. Omara AED. Nehela Y (2023). Composted bagasse and/or cyanobacteria-based bio-stimulants maintain barley growth and productivity under salinity stress. Plants. 12(9): 1827.
17. Alkahtani MDF. Attia KA. Hafez YM. Khan N. Eid AM. Ali MAM. Abdelaal KAA (2020). Chlorophyll fluorescence parameters and antioxidant defense system can display salt tolerance of salt acclimated sweet pepper plants treated with chitosan and plant growth promoting rhizobacteria. Agronomy, 10: 1180.
18. Andersen RA (2005). Algal Culturing Techniques. Elsevier Academic Press. California, USA.

19. Arnon AN (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23: 112-121.
20. Asrar H. Hussain T. Midhat S. Hadi S. Gul B. Nielsen BL. Khan MA (2017). Salinity induced changes in light harvesting and carbon assimilating complexes of *Desmostachya bipinnata* (L.) staph. *Environmental and Experimental Botany*, 135: 86-95.
21. Azarmi-Atajan F. Sayyari-Zohan MH (2020). Alleviation of salt stress in lettuce (*Lactuca sativa* L.) by plant growth-promoting rhizobacteria. *J. Hortic. Postharvest Res* 3: 67-78.
22. Balasubramaniam T. Shen G. Esmaceli N. Zhang H (2023). Plants' Response Mechanisms to Salinity Stress. *Plants*, 12, 2253.
23. Bárzana G. Aroca R. Ruiz-Lozano JM (2015). Localized and nonlocalized effects of arbuscular mycorrhizal symbiosis on accumulation of osmolytes and aquaporins and on antioxidant systems in maize plants subjected to total or partial root drying. *Plant, Cell & Environment*, 38: 1613-1627.
24. Bates LS. Waldren RP. Teare ID (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil* 39: 205-207.
25. Blum A (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Aust. J. Agric. Res.* 56: 1159-1168.
26. Bohnert HJ. Jensen RG (1996). Metabolic engineering for increased salt tolerance the next step. *Australian journal of plant physiology*, 59: 661-667.
27. Cheng Z. Park E. Glick BR (2007). 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase from *Pseudomonas putida* UW4 facilitates the growth of canola in the presence of salt. *Can. J. Microbiol*, 53: 912-8.
28. Collos Y. Harrison PJ (2014). Acclimation and toxicity of high ammonium concentrations to unicellular algae. *Marine Pollution Bulletin*, 80(1-2): 8-23.
29. Cramer GR. Nowak RS (1992). Supplemental manganese improves the relative growth, net assimilation and photosynthetic rates of salt-stressed barley. *Physiologia Plantarum*, 84(4): 600- 605.
30. Desikhachary TV (1959). *Cyanophyta*. Indian Council of Agricultural Research Publishers. pp. 565.
31. Egamberdiyeva D. Juraeva D. Poberejskaya S. Myachina O. Teryuhova P. Seydalieva L. Aliev A (2004). Improvement of wheat and cotton growth and nutrient uptake by phosphate solubilizing bacteria. *Proceedings of the 26th Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture*. Raleigh, North Carolina, P. 58-66.
32. Egamberdieva D. Wirth S. Bellingrath-Kimura SD. Mishra J. Arora NK (2019). Salt tolerant plant growth promoting rhizobacteria for enhancing crop productivity of saline soils. *Front. Microbiology*, 10: 2791.

33. Fernandes TA. Iyer V. Apte SK (1993). Differential responses of nitrogen-fixing cyanobacteria to salinity and osmotic stresses. *Applied and Environmental Microbiology*, 59(3): 899-904.
34. Ferris MJ. Hirsch CF (1991). Method for isolation and purification of cyanobacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(5): 1448-1452.
35. Ghazal F.M, Mahdy E.L, Abd EL- Fattah M.S, EL-Sadany A.G, Doha M.E. (2021). The use of cyanobacteria as biofertilizer in wheat cultivation under different nitrogen rates. *Nat. Sci* 16: 30-35.
36. Gholamnia A. Mosleh Arani A. Sodaieizadeh H. Tarkesh Esfahani S. Ghasemi S (2022). Expression profiling of rosmarinic acid biosynthetic genes and some physiological responses from *Mentha piperita* L. under salinity and heat stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 28(3): 545-557.
37. Glick BR. Penrose DM. Jiping LI (1998). A model for the lowering of plant ethylene concentration by plant growth-promoting bacteria. *J. Theor. Biol.* 190: 63-68.
38. Gorka B. Korzeniowska K. Lipok J. Wiczorek PP (2018). The Biomass of algae and algal extracts in agricultural production. *Algae Biomass: Characteristics and Applications: Towards Algae-based Products*, 103–114.
39. GR S. Yadav RK. Chatrath A. Gerard M. Tripathi K. Govindsamy V. Abraham G (2021). Perspectives on the potential application of cyanobacteria in the alleviation of drought and salinity stress in crop plants. *J. Appl. Phycol.* 33: 3761–3778.
40. Guiheneuf F. Khan A. Tran LSP (2016). Genetic engineering: a promising tool to engender physiological, biochemical, and molecular stress resilience in green microalgae. *Frontiers in Plant Science*, 7: 1–8.
41. Han X. Zeng H. Bartocci P. Fantozzi F. Yan Y (2018). Phytohormones and effects on growth and metabolites of microalgae: a review. *Fermentation*, 4(2): 1–15.
42. Hayat S. Hayat Q. Alyemeni MN. Wani AS. Pichtel J. Ahmad A (2012). Role of proline under changing environments: A review. *Plant Signaling Behavior* 7: 1456–1466.
43. Izeid IM. Ghazi SM. El Semaary NA. Abd El-Sattar AM (2014). Counteracting inhibitory effect of salinity stress on cowpea germination using cyanobacterial extracts. *Egyptian J. of Phycol*, 15: 59-76.
44. Jalili F. Khavazi K. Pazira E. Nejati A. Rahmani HA. Sadaghiani HR. Miransari M (2009). Isolation and characterization of ACC deaminase-producing fluorescent *Pseudomonads*, to alleviate salinity stress on canola (*Brassica napus* L.) growth. *J Plant Physiol*, 166: 667-674.
45. Jha MN. Venkataraman GS. Kaushik BD (1987). Response of *Westiellopsis prolifica* and *Anabaena* sp. to salt stress. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 3(3): 307–317.
46. Karimzadeh J. Alikhani H.A. Etesami, H. Pourbabaei AA (2020). Improved phosphorus uptake by wheat plant (*Triticum aestivum* L.) with rhizosphere fluorescent pseudomonads strains under water-deficit stress. *J. Plant Growth Regul.* 1–17.

47. Karthikeyan N. Prasanna R. Nain L. Kaushik B D (2007). Evaluating the potential of plant growth promoting cyanobacteria as inoculants for wheat. *Eur. J. Soil Biol*, 43: 23-30.
48. Karimi S. Rahemi M. Maftoun M. Tavallali V (2009). Effect of long-term salinity on growth and performance of two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Australian Journal of Crop Science*, 3(3): 1630-1639.
49. Khalilzadeh R. Seyed SR. Jalilian J (2017). Growth, physiological status, and yield of salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) plants affected by biofertilizer and cycocel applications. *Arid. Land Res. Manag*. 32: 71-90.
50. Komarek J. Anagnostidis K (1989). Modern approach to the classification system of cyanophytes 4 Nostocales. *Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement Volumes*, 82: 247-345.
51. Kusvuran S. Kiran S. Ellialtıoğlu ŞŞ (2016). Antioxidant enzyme activities and abiotic stress tolerance relationship in vegetable crops. In: Arun Shanker, K., Shanker, Chitra (Eds.), *Abiotic and Biotic Stress in Plants- Recent Advances and Future Perspectives*. Publisher: Intech, pp. 481-506.
52. Li H. Zhao Q. Huang H (2019). Current status and challenges of salt-affected soil remediation by cyanobacteria. *Science of the Total Environment*, 669: 258-272.
53. Lucena C. Waters BM. Romera FJ. Garcia MJ. Morales M. Alcantara E. Perez-Vicente R (2006). Ethylene could influence ferric reductase, iron transporter, and H⁺-ATPase gene expression by affecting FER (or FER-like) gene activity. *Journal of Experimental Botany*, 57(15): 4145-4154.
54. Maqubela MP. Muchaonyerwa P. Mnkeni PNS (2012). Inoculation effects of two South African cyanobacteria strains on aggregate stability of a silt loam soil. *Afr. J. Biotechnol* 11: 10726-10735.
55. Mazhar S. Cohen JD. Hasnain S (2013). Auxin producing non-heterocystous Cyanobacteria and their impact on the growth and endogenous auxin homeostasis of wheat. *J. Basic Microbiol*. 53: 996-1003.
56. Meeks JC. Elhai J (2002). Regulation of cellular differentiation in filamentous cyanobacteria in free-living and plant-associated symbiotic growth states. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 66(1): 94-121.
57. Munns R. Tester M (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681.
58. Nadeem SM. Ahmad M. Zahir ZA. Javaid A. Ashraf M (2014). The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances*, 32: 429-448.
59. Osman AR (2014). Improving some quantitative and qualitative characteristics of *Solidago canadensis* "Tara" using cycocel and planting density under drip irrigation and lighting systems. *Life Sci*. 11(6): 110-18.

60. Pan S. Jeevanandam J. Danquah M (2019). Benefits of Algal Extracts in Sustainable Agriculture. In *Grand Challenges in Marine Biotechnology* pp. 501–553. Springer Science and Business.
61. Patten CL. Glick BR (1996). Bacterial biosynthesis of indole-3 acetic acid. *Can. J. Microbiol.* 42:207-220.
62. Peng YL. Gao ZW. Gao Y. Liu GF. Sheng LX. Wang DL (2008). Eco-physiological characteristics of alfalfa seedlings in response to various mixed salt-alkaline stresses. *Journal of Integrative Plant Biology* 50: 29–39.
63. Poveda J (2021). Cyanobacteria in plant health: Biological strategy against abiotic and biotic stresses. *Crop Protection*, 141: 105450.
64. Prasanna R. Sharma E. Sharma P. Kumar A. Kumar R. Gupta V et al (2013). Soil fertility and establishment potential of inoculated cyanobacteria in rice crop grown under non-flooded conditions. *Paddy and Water Environment*, 11(1–4): 175–183.
65. Rady MM. Taha SS. Kusvuran S (2018). Integrative application of cyanobacteria and antioxidants improves common bean performance under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 233: 61–69.
66. Rahmani F. Sodaieizadeh H. Yazdani-Biouki R. Hakimzadeh-Ardakani MA. Kamali Aliabadi K (2024). Effect of bio-priming on morphological, physiological and essential oil of Chamomile (*Matricaria hamomilla* L.) under salinity stress. *South African Journal of Botany*, 167: 630-642.
67. Rangaswamy G (1996). *Agricultural microbiology*. Asia publishing house, Bombay, pp.54-76.
68. Rodríguez A. Stella AM. Storni MM. Zulpa G. Zaccaro MC (2006). Effects of cyanobacterial extracellular products and gibberellic acid on salinity tolerance in *Oryza sativa* L. *Saline Syst.* 2: 7.
69. Ronga D. Biazzi E. Parati K. Carminati D. Carminati E. Tava A (2019). Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy*, 9(4): 1–22.
70. Renuka N. Prasanna R. Sood A. Ahluwalia AS. Bansal R. Babu S. Singh R. Shivay YS. Nain L (2016). Exploring the efficacy of wastewater-grown microalgal biomass as a biofertilizer for wheat. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 23: 6608–6620.
71. Rossi F. Li H. Liu Y. De Philippis R (2017). Cyanobacterial inoculation (cyanobacterisation): Perspectives for the development of a standardized multifunctional technology for soil fertilization and desertification reversal. *Earth-Science Reviews*, 171: 28–43.
72. Roychoudhury P. Kaushik BD. Venkataraman, GS (1985). Response of *tolypothrixceylonica* to sodium stress. *Curr. Sci.* 54 (22): 1181–1183.
73. Rozema J (1991). Growth, water and ion relationships of halophytic monocotyledonae and dicotyledonae; a unified concept. *Aquatic Botany*. 39: 17-33.

74. Sadak MS. Rady MM. Badr NM. Gaballah MS (2010) Increasing sunflower salt tolerance using nicotinamide and α -Tocopherol. Int. J. Acad. Res 2: 263- 270.
75. Singh JS. Strong PJ (2016). Biologically derived fertilizer: a multifaceted bio-tool in methane mitigation. Ecotoxicology and Environmental Safety, 124: 267–276.
76. Singh DP. Prabha R. Yandigeri MS. Arora DK (2011). Cyanobacteria-mediated phenyl-propanoids and phytohormones in rice (*Oryza sativa*) enhance plant growth and stress tolerance. Antonie Van Leeuwenhoek, 100: 557–568.
77. Sodaiezadeh H. Hokmollahi F. Ghasemi S. Sadeghian M. Tarrah S (2025). Cyanobacteria inoculation mitigates salinity stress by regulating plant growth, photosynthetic performance, elemental concentrations and yield in wheat. South African Journal of Botany, 180: 857-869.
78. Sohrabizadeh Z. Sodaiezadeh H. Mosleh Arani A (2023). Role of mucilage in improving seedling emergence of *Ocimum basilicum* L. exposed to salinity stress. Rhizosphere, 26: 100684.
79. Sood A. Singh PK. Kumar A. Singh R. Prasanna R (2011). Growth and biochemical characterization of associations between cyanobionts and wheat seedlings in co-culturing experiments. Biologia 66:104–110.
80. Szabados, L., and Savouré, A., (2010). Proline: a multifunctional amino acid. Trends in Plant Science 15: 89–97.
81. Tavakkoli E. Rengasamy P. McDonald G. (2010). High concentrations of Na^+ and Cl^- ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress. Journal of Experimental Botany, 61: 4449–4459.
82. Wang, H., Tang, X., Wang, H., Shao, H.B. (2015). Proline accumulation and metabolism-related genes expression profiles in *Kosteletzkya virginica* seedlings under salt stress. Frontiers in Plant Science, 6: 792.
83. Zaki SS. Eman EEB. Mostafa MR (2019). Cyanobacteria and glutathione applications improve productivity, nutrient contents, and antioxidant systems of salt-stressed soybean plant. Int. Lett. Nat. Sci, 76: 72- 85.

Investigating the effect of cyanobacteria on mitigating the adverse effects of irrigation water salinity on wheat growth.

Zahra Rafiee Aghda, Hammid Sodaeizade*, Kazem Kamali, Fariba Hokmollahi,
Sanaz Tarah Yazdi

Department of Arid and Desert Management, Faculty of Natural Resources and
Desertology, Yazd University, Yazd, Iran.

*Corresponding Author: hsodaie@yazd.ac.ir

Abstract

The aim of this study was to compare the effects of two strains of cyanobacteria in mitigating salinity stress on wheat growth under greenhouse conditions. For this purpose, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with four replications. The factors examined included cyanobacterial strains (without cyanobacteria (control), *Phormidium spp.*, and *Anabaena spp.*) and irrigation water salinity (0, 3, 6, and 9 dS m⁻¹). The results showed that salinity had a negative effect on the morphological characteristics of the plant, such that the maximum values of the traits were observed under non-stress conditions and the minimum values at a salinity of 9 dS m⁻¹. Furthermore, salinity stress led to a decrease in chlorophyll content and an increase in proline and soluble sugar contents in the shoots. Both cyanobacterial strains significantly reduced the negative effects of salinity stress on the measured traits. Furthermore, soil inoculation with cyanobacteria increased chlorophyll, proline, and soluble sugar contents. The two cyanobacterial strains had different effects on mitigating the negative impacts of salinity on wheat growth. Under high salinity levels, *Phormidium spp.* increased root length and shoot dry weight of wheat to a greater extent compared to *Anabaena spp.* Conversely, *Anabaena spp.* performed better in increasing root dry weight and root volume, as well as proline content, compared to another cyanobacteria. Overall, the results indicated the positive role of cyanobacteria in reducing the adverse effects of salinity on wheat growth. Nevertheless, the use of cyanobacteria as biofertilizers under field conditions should also be investigated.

Key words: *Anabaena spp.*, Proline, Salinity stress, *Phormidium spp.*, Wheat