

تاثیر باکتری‌های بیوفیلمی محرک رشد در تعدیل اثرات ناشی از بروز تنش کم‌آبی در مراحل انتهایی دوره رشد بر اجزای عملکرد و ریشه گندم

اسماعیل کریمی^{۱*}، ناصر علی اصغرزاد^۲، محمد رضا نیشابوری^۱، عزت‌الله اسفندیاری^۳

۱- عضو هیئت علمی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه مراغه و دانشجوی دکتری دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

چکیده

باکتری‌های بیوفیلمی واجد خصوصیات محرک رشد می‌توانند به بقای گیاهان زراعی از جمله گندم در تنش کم‌آبی کمک نمایند. بدین منظور آزمایشی با هدف بررسی تاثیر باکتری‌های بیوفیلمی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط کم‌آبی در قالب طرح فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. فاکتورهای این آزمایش شامل جدایه‌های باکتری‌های بیوفیلمی (بدون باکتری، جدایه‌های ۱-۱۶، ۲-۳۸ و ۱-۵۴)، ارقام گندم نان (کوهدشت و چمران) و سطوح آبی (۷۰، ۵۰ و ۲۰ درصد آب قابل استفاده) بود که در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه مراغه اجرا گردید. جدایه‌های مورد مطالعه از ۱۲۰ جدایه بیوفیلمی که از ریشه گرامینه‌های مقاوم به خشکی در منطقه هشت‌رود جداسازی شده بودند، انتخاب گردیدند. نتایج نشان داد که در تمامی سطوح رطوبتی باکتری‌ها توانستند تاثیر مثبتی بر اجزای عملکرد گندم داشته باشند. تاثیر باکتری‌ها بر رقم کوهدشت بیشتر از چمران بود. وزن تر، وزن خشک ریشه، چگالی بافت ریشه، درصد نگهداری آب ریشه و نسبت ریشه به ساقه تحت تاثیر تنش کم‌آبی قرار گرفتند. مایه زنی باکتری‌ها وزن خشک و تر ریشه و چگالی بافت ریشه را کاهش دادند. در عوض توانستند درصد رطوبت وزنی ریشه را به طور چشمگیری افزایش دهند. در مجموع نتایج این مطالعه نشان داد که امکان بهره‌گیری از باکتری‌های بیوفیلمی محرک رشد برای تعدیل اثرات تنش کم‌آبی وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های بیوفیلمی، چگالی بافت ریشه، رقم گندم، ریشه، وزن هزار دانه

مقدمه

محققین بسیاری در راستای دست یابی به گونه‌های موثرتری از باکتری‌های محرک رشد گیاهان (PGPR)^۱ که بتوانند در شرایط تنش‌های محیطی به بقای گیاهان کمک کنند، تلاش می‌کنند. اخیراً باکتری‌های بیوفیلمی همیار با ریشه گیاهان به دلیل مقاومت خاصشان در شرایط پرتنش در عرصه تلاش برای دسترسی به کودهای زیستی موثر مورد توجه خاصی قرار گرفته‌اند و اولین سری از این نوع کودها با عنوان کودهای زیستی بیوفیلمی^۲ با تجربه‌ای موفق برای برخی از محصولات در کشور هندوستان و اسکاتلند روانه بازار شده است (<http://www.biofilm.lk>). شناسایی و معرفی باکتری‌های محرک رشد با ویژگی تولید بیوفیلم، همچنین به‌عنوان راهکاری موثر در جهت غلبه بر شکست کودهای میکروبی که ناشی از عدم کلنیزاسیون موفق ریشه گیاهان توسط PGPRهای معرفی شده به دلیل رقابت‌های میکروبی در ریزوسفر و عدم زنده‌مانی آن‌ها در خاک اتفاق می‌افتد، نیز مطرح شده است.

بیوفیلم که به عنوان شهر میکروب‌ها نیز معروف است، دارای ساختاری پیچیده بوده و از کمپلکس ترشحات میکروبی نظیر پلی ساکاریدها، پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه به همراه باکتری‌های داخل آن تشکیل می‌شود و به خاطر خاصیت آبدوستی که دارد ۹۷ درصد آن را آب تشکیل می‌دهد. این ساختار به شکل منظمی نیز سامان دهی شده است (Kaushal and Wani, 2015). زندگی بیوفیلمی نسبت به حالت پلانکتونی (آزادزی) شانس بقای باکتری را در

شرایط تنش از جمله شرایط تنش آبی افزایش داده و باعث تداوم فعالیت PGP باکتری در شرایط مذکور می‌شود. علاوه بر این بدلیل تشابهات ژنتیکی در فرآیند تشکیل بیوفیلم و کلنیزاسیون ریشه گیاهان انتظار می‌رود توانایی کلنیزاسیون ریشه در اینگونه باکتری‌ها بالا بوده و در رقابت‌های میکروبی شانس بالایی برای کلنیزه کردن ریشه گیاهان داشته باشند (Dietel et al., 2013).

مطابق برآوردهای انجام شده در حدود ۴۰ درصد از اراضی کره زمین در مناطق نیمه‌خشک قرار گرفته‌اند، که خشکسالی و تنش ناشی از آن مهمترین و رایج‌ترین تهدید محیطی محسوب گردیده و با کاهش تولید محصولات کشاورزی امکان‌به‌خطر افتادن امنیت غذایی مردم در این مناطق را افزایش می‌دهد (Lee, 2011؛ IPCC, 2014). استفاده از پتاسیل میکروبی خاک برای حفظ و تولید بهینه محصولات کشاورزی از جمله گندم در شرایط کمبود آب از سوی دانشمندان کشاورزی به دلیل ارزانی و پاسخ دهی سریع یکی از راهکارهای مطرح شده بوده که احتمال می‌رود با تغییرات هورمونی در گیاه، بهبود عملکرد مکانیسم‌های دفاعی گیاه، افزایش تجمع اسمولیت‌ها و یا ترشح پلیمرهای خارج سلولی توسط باکتری سبب سازگاری بیشتر گیاهان به خشکی می‌شوند (Kaushal and Wani, 2015). در این خصوص گزارش شده است که در شرایط کم آبی تولید و ترشح پلیمرها در باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* به خارج سلول افزایش می‌یابد. این ویژگی ضمن کمک به پایداری خاکدانه‌ها، با بالا بردن نسبت خاک چسبیده به ریشه به بافت آن، شرایط مناسب‌تری را برای جذب آب و

1 - Plant growth promoting rhizobacteria

2 - Biofilm bio-fertilizer

در خاک‌های شنی نقش برجسته‌ای دارد. کیگن و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که تلقیح باکتری اندوفیت *B. subtilis* B26 با اعمال تنش رطوبتی ۸ هفته‌ای رشد ساقه، ریشه و فتوستنتر را به ترتیب ۲۶، ۶۳ و ۵۵ درصد و هدایت روزنه‌ای را ۲/۱۴ برابر در مقایسه با عدم حضور باکتری یاد شده در گیاه *Phleum pratense* L افزایش داد.

در منطقه آذربایجان شرقی تنش کم‌آبی از مهمترین تنش‌های محیطی کاهش‌دهنده رشد و عملکرد گندم به‌شمار می‌آید و در مرحله پر کردن دانه احتمال وقوع آن زیادتر است. وقوع این تنش در مرحله یاد شده کاهش عملکرد را در پی خواهد داشت. لذا با توجه به نقش باکتری‌های بیوفیلمی در افزایش تحمل به تنش کم‌آبی، در این مطالعه سه جدایه از باکتری‌های بیوفیلمی جدا شده از ریزوسفر گرامینه‌های موجود در منطقه انتخاب و اثر آنها بر عملکرد و خصوصیات ریشه در رژیم‌های مختلف آبی در شرایط گلخانه‌ای در مراحل انتهایی دوره زندگی گندم بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

۱- انتخاب ایزوله‌های باکتریایی: ۱۲۰ جدایه بیوفیلمی از ریشه گرامینه‌های خودرو و در حال رشد در مراتع و دامنه کوه‌های هشتروود جداسازی شده و توانایی تشکیل بیوفیلم و خصوصیات محرک رشدی آنان در شرایط آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت و از بین آنها سه جدایه موثر بر اساس توانایی تشکیل بیوفیلم و خصوصیت محرک رشدی جهت مطالعه گلخانه‌ای انتخاب شدند. در جدول ۱ برخی از ویژگی‌های جدایه‌های مورد مطالعه آورده شده است.

مواد غذایی فراهم می‌کند که می‌تواند به‌عنوان یک مکانیسم دفاعی لحاظ گردد (Vardharajula et al., 2011). ویواس و همکاران (۲۰۰۳) و مارالوندا و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که در مناطق خشک و نیمه خشک تشکیل بیوفیلم در جمعیت میکروبی ریزوسفر گیاه میزبان طی سالیان، تکامل یافته و یکی از مکانیسم‌های احتمالی افزایش تحمل به تنش کم‌آبی است (Bourque, 2016). همچنین، تیموسک و همکاران (۲۰۱۴) افزایش عملکرد و بهبود مکانیسم‌های دفاعی گندم را با اضافه نمودن باکتری‌های بیوفیلمی *Paenibacillus polymyxa* و *B. thuringiensis* AZP2 and B به خاک در تنش کم‌آبی گزارش نموده‌اند. کاوامورا و همکاران (۲۰۱۳) نیز با تلقیح باکتری‌های مولد پلی ساکارید (جداسازی شده از ریشه کاکتوس)، توانستند مقاومت به کم‌آبی در ذرت را افزایش دهند. آلامی و همکاران (۲۰۰۰) با بررسی تاثیر باکتری‌های ریزوسفری مولد پلی ساکارید در شرایط تنش آبی و مقایسه آن با شرایط غیرتنشی دریافتند که جدایه YAS34 که از ریزوپلن آفتابگردان جداسازی شده بود، با بهبود ساختار خاک اطراف ریشه و مبارزه با اثرات کم‌آبی می‌تواند باعث رشد بهتر آفتابگردان گردد. در همین ارتباط، کاسی و همکاران (۲۰۰۵) با اضافه نمودن باکتری *Rhizobium sulae* به محیط رشد گندم دوروم به ترتیب افزایش ۸۵ و ۵۶ درصدی وزن خشک ساقه و ریشه را در شرایط کمبود آب مشاهده کردند. به‌علاوه، در حضور این باکتری، خاک متصل به ریشه تقریباً ۱/۴ برابر افزایش یافت. این باکتری از توانایی بیوستنر نوعی پلی ساکارید هتروپلیمیری برخوردار است که در تشکیل خاکدانه

جدول ۱- خصوصیات PGP جدایه‌های منتخب

شماره جدایه	۱۶-۱	۳۸-۲	۵۴-۱
قدرت تشکیل بیوفیلم	۳/۷۵	۰/۳۳	۰/۵۵
میزان تولید اکسین (میکروگرم در لیتر در حضور اسید آمینه تریپتوفان)	۱۴/۴۳	۳۷/۰۶	۳۰/۳۵
توانایی تجزیه ACC (میکرومول در ۳۶ ساعت)	۰/۶۱	۲/۷۰	۲/۷۰
توانایی حل فسفات از تری کلسیم فسفات (میلی گرم بر لیتر) در ۷۲ ساعت	۱۰/۴۳	۱۹۱/۳۱	۰/۱۰
توانایی رهایش پتاسیم از کانی مسکوویت (میلی گرم بر لیتر) در مدت ۷ روز	۱۴۱/۲۵	۱۵۰	۱۶۴

بدون تنش (شاهد) (A1)، تنش متوسط ۵۰ (A2) و تنش شدید (A3) ۲۰ درصد) بود که در قالب طرح فاکتوریل اسپلیت پلات بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. لازم به ذکر است که تنش کم آبی بعد از رسیدن بوته‌های گندم به مرحله آغاز سنبله‌دهی (۵/۱ کد زادوکس) شروع و تا برداشت ادامه یافت.

۳- برداشت و اندازه‌گیری‌ها: پس از رسیدگی فیزیولوژیک بوته‌های گندم، اندام‌های هوایی برداشت شده و ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، تعداد سنبله بارور، تعداد سنبله‌چه در سنبله و تعداد دانه در سنبله اندازه‌گیری شد. همچنین، ریشه با دقت جدا شده و حجم، وزن تر، وزن خشک و چگالی ریشه در تیمارهای مختلف بدست آمد. چگالی بافت ریشه از تقسیم وزن خشک ریشه بر حجم آن بر حسب (g/cm^3) ، درصد رطوبت وزنی ریشه از تفاضل وزن تر و خشک و تقسیم آن بر وزن خشک ریشه بر حسب درصد محاسبه شد.

تجزیه آماری داده‌ها با نرم افزار Genstate و برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل استفاده شد.

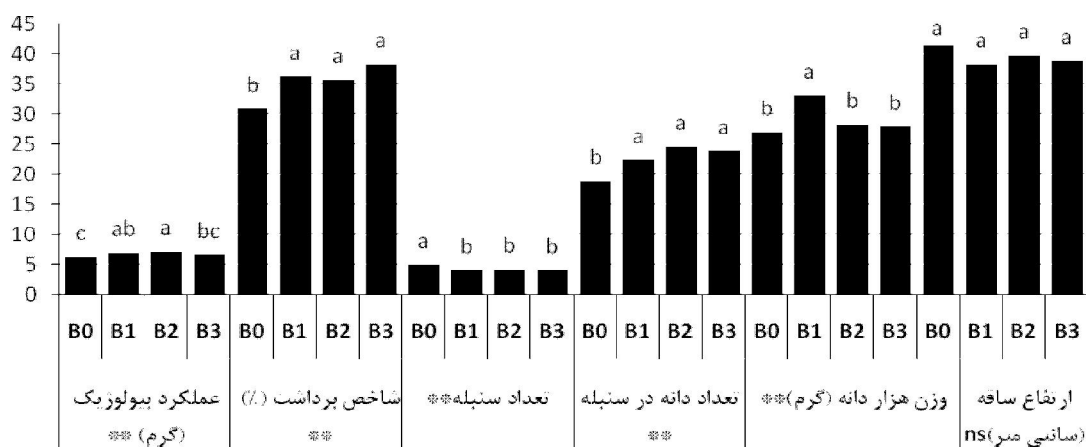
نتایج و بحث

اجزای عملکرد گندم: نتایج نشان داد که اعمال تنش رطوبتی عملکرد و تمامی اجزای آن را به‌طور

۲- آماده‌سازی خاک گلدان‌ها و مایه‌زنی بذور: با در نظر گرفتن حضور دامنه وسیعی از باکتری‌ها در خاک و امکان تاثیر آنها بر نتایج، خاک مورد استفاده که از بافت لوم شنی برخوردار بود در دمای ۱۲۱ درجه سانتیگراد، فشار ۱ اتمسفر به مدت یک ساعت استریل گردید. نیازهای کودی گندم (عناصر میکرو و ماکرو) بر اساس نتایج تجزیه خاک به خاک خشک افزوده شد. سه کیلوگرم خاک استریل به هر گلدان ریخته شد. جهت مایه زنی باکتریایی پس از آماده‌سازی مایع مایه زنی (7×10^7) سلول در میلی لیتر)، بذور یکنواخت گندم با محلول هیپوکلرید سدیم (۲ درصد، حجمی-حجمی) به مدت ۱۵ دقیقه ضدعفونی شد. بعد از انجام این مراحل، بذور استریل با ایزوله‌های مختلف تلقیح و در هر گلدان ۱۰ بذر در عمق ۳ تا ۴ سانتی متری کشت و پس از رسیدن به مرحله ۴ تا ۵ برگی به ۵ بوته در گلدان رسید. برای جلوگیری از آلودگی احتمالی با سایر باکتری‌ها از آب استریل برای آبیاری در مراحل ابتدایی رشد گندم استفاده شد. فاکتورهای مورد بررسی در این مطالعه شامل ارقام گندم (کوه‌دشت (C1) و چمران (C2)، ایزوله‌های مختلف باکتری (عدم تلقیح (B0)، ایزوله ۱۶-۱ (B1)، ایزوله ۳۸-۲ (B2) و ایزوله ۵۴-۱ (B3)) و سطوح مختلف آب قابل استفاده خاک (۷۰

شاخص برداشت، ۲۰ درصد افزایش در تعداد دانه در سنبله و ۱۷ درصد کاهش در تعداد سنبله گردیدند. بیشترین میزان افزایش وزن هزار دانه (۱۸ درصد افزایش در مقایسه با شاهد بدون مایه زنی) در باکتری B1 مشاهده گردید. همچنین، بیشترین میزان متوسط عملکرد بیولوژیک با ۱۴ درصد افزایش نسبت به شاهد بدون مایه زنی در باکتری B2 مشاهده شد. مایه زنی باکتریایی تاثیر معنی داری بر ارتفاع بوته گندم نداشت. مورد دیگری که بایستی بر اساس یافته های این بخش بر آن تاکید نمود قابلیت متفاوت باکتری ها در خصوص تاثیر گذاری بود.

معنی داری کاهش می دهد (داده ها نشان داده نشده اند). در خصوص بررسی تاثیر باکتری ها بر اجزای عملکرد گندم نتایج مایه زنی باکتریایی (اثر خالص باکتری ها) نشان داد (شکل ۱) که تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در اثر مایه زنی باکتریایی بصورت معنی داری افزایش یافته ولی تعداد سنبله کاهش می یابد، بر طبق نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱) تمامی جدایه های مایه زنی در مقایسه با شاهد (بدون مایه زنی باکتریایی) و بدون تغییرات معنی دار در بین خود جدایه ها به طور متوسط باعث ایجاد ۱۶٪ افزایش در



شکل ۱- مقایسه میانگین تاثیر مایه زنی باکتریایی (B0 شاهد بدون مایه زنی، B1, B2, B3) بر اجزای مختلف عملکرد گندم

- حروف کوچک انگلیسی مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار در میانگینهای مورد مقایسه

** و ns به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال یک درصد و غیر معنی دار شدن تجزیه واریانس پارامتر مورد مطالعه است

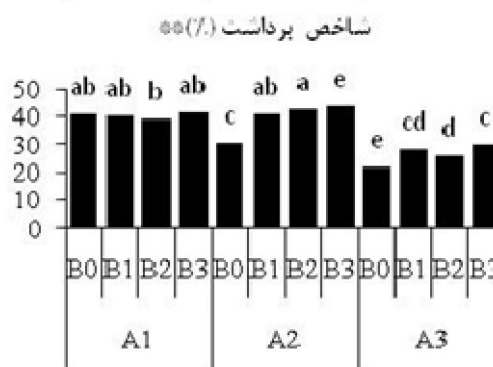
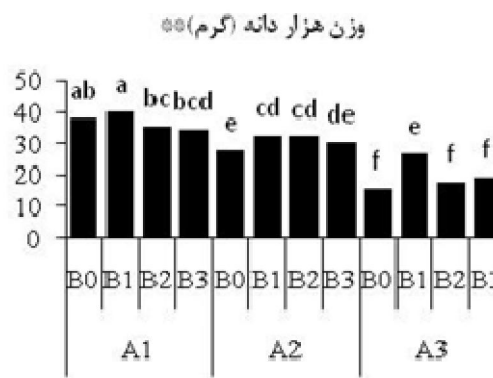
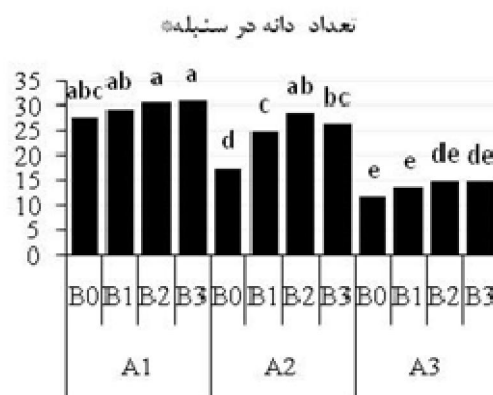
است در سطح تنش متوسط (A2) بیشترین میزان افزایش در تعداد دانه در سنبله مربوط به مایه زنی باکتریایی (B2 و B3)، بیشترین وزن هزار دانه مربوط به مایه زنی باکتریایی (B1 و B2) و بیشترین شاخص برداشت در (B1 و B2) مشاهده گردید. در سطح تنش شدید (A3) میزان تاثیر باکتری ها در تعداد دانه در سنبله در مقایسه با میزان شاهد همان سطح

نتایج حاصل از بررسی اثر متقابل باکتری و سطوح رطوبت نشان داد که سه صفت (شاخص برداشت، وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله) از بین صفات مورد مطالعه تحت تاثیر این اثر متقابل قرار می گیرند (شکل ۲). به عبارت دیگر باکتری ها توانستند تا حدودی از تاثیر تنش کم آبی بر این صفات بکاهند. همچنانکه در شکل ۲ مشخص شده

اسید آبسزیک باعث بسته شدن روزنه‌های برگ گیاه می‌گردد. با بسته شدن روزنه تبخیر از سطح گیاه کاهش می‌یابد. تبخیر عامل خشک شدن گیاه بوده و باعث کشیدن آب و عناصر غذایی از خاک به داخل گیاه می‌شود. بنابراین تنش بلند مدت با کاهش ظرفیت گیاه در تنظیم دمای گیاه، گیاهان کمبود آب و عناصر غذایی را تجربه کرده و ممکن است فتوسنتز را کاهش دهند. کاهش فتوسنتز و پیری زودرس اندام‌های فتوسنتز باعث کاهش تولید ماده خشک و عملکرد بیولوژیک گردیده و همین امر باعث می‌شود تا سایر اجزای عملکرد نیز متاثر گردد (Austin, 1987). در دوره پر شدن دانه مواد پرورده مورد نیاز دانه از سه منبع تامین می‌گردد:

۱) کربوهیدراتی که پس از گلدهی تولید شده و به دانه انتقال می‌یابد (۲) کربوهیدراتی که پس از گلدهی تولید شده اما قبل از انتقال به دانه در ساقه ذخیره می‌شود (۳) کربوهیدرات‌های تولید شده قبل از گلدهی که عمدتاً در ساقه ذخیره شده و در طی دوره پر شدن دانه مجدداً به دانه انتقال می‌یابد (Gooding et al., 2003) و اختلال در هر کدام از منابع فوق باعث کاهش وزن هزار دانه خواهد بود (Ehdayi et al., 2006). از اینرو به نظر می‌رسد که افزایش ماده خشک بیولوژیک در تیمار مایه‌زنی باکتریایی در اثر بهبود وضعیت فتوسنتزی گیاه در دوره تنش باشد که همین امر به نوبه خود با بهبود وضعیت آسمیلات‌ها، سایر اجزای عملکرد را متاثر می‌سازد. علاوه بر این همانگونه که در بخش مقدمه بیان شد باکتری‌های بیوفیلمی می‌توانند باعث بهبود خاکدانه‌ها و وضعیت نگهداری رطوبت در خاک نیز گردند. بنابراین توانایی نگه داشتن رطوبت زیاد که ناشی از ترشح

غیرمعنی‌دار بود در حالی که بیشترین میزان وزن هزار دانه مربوط به مایه زنی باکتریایی (B1) و بیشترین شاخص برداشت در (B1 و B3) مشاهده گردید.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل رطوبت × باکتری بر اجزای عملکرد گندم

بنابراین می‌توان گفت که باکتری‌ها در شدت‌های مختلف تنش کم آبی می‌توانند حمایت‌هایی را از گیاه گندم داشته باشند. هنگام رویارویی با شرایط تنش کم آبی سیگنال هورمونی

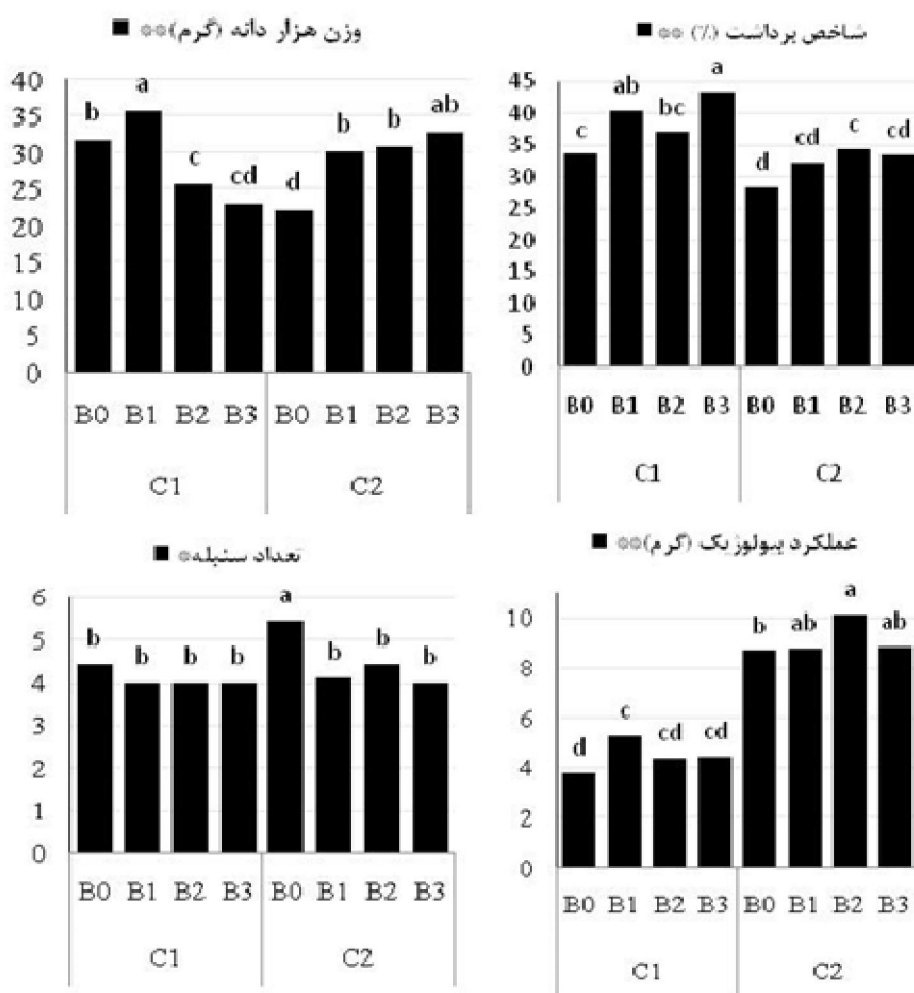
نتایج این مطالعه نشان داد که باکتری‌های مورد استفاده تاثیر یکسانی بر کمیت اجزای عملکرد در کولتیوارهای مختلف گندم ندارند و چهار صفت (شاخص برداشت، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و تعداد سنبله) تحت تاثیر این اثر متقابل قرار می‌گیرند (شکل ۳). در مجموع بیشترین میزان عملکردهای بیولوژیک در تمامی تیمارهای باکتریایی در رقم چمران مشاهده گردیده و حداکثر مقدار آن در تیمار مایه‌زنی (B2) مشاهده شد و بیشترین میزان این صفت در رقم کوه‌دشت در باکتری (B1) مشاهده گردید. در مقابل بیشترین مقادیر شاخص برداشت متعلق به رقم کوه‌دشت و حداکثر آن در تیمار باکتریایی (B2) مشاهده گردید. بیشترین شاخص برداشت در رقم چمران نیز در در همین باکتری (B2) مشاهده گردید. بیشترین وزن هزار دانه در رقم چمران متعلق به تیمار باکتریایی B3 و لی در رقم کوه‌دشت متعلق به B1 مشاهده شد. تمامی باکتری‌ها در رقم چمران باعث افت تعداد دانه در سنبله شدند ولی در رقم کوه‌دشت بی‌تاثیر بودند.

فاکتورهای اکولوژیکی متنوعی نظیر نوع خاک، دما و نوع وارته گیاه، جمعیت میکروبی ریزوسفر و کارکرد انواع PGPRها را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Lebeis et al., 2016). نتایج مطالعه اگامبردیوا (۲۰۱۰) مبنی بر مایه زنی دو گونه باکتریایی بنام‌های *Psedomonas aeruginosa* NUU2 و *Psedomonas spp.* NUU1 به دو وارته گندم نشان دادند که اگر چه هر دو باکتری باعث افزایش عملکرد گندم می‌شوند اما میزان تاثیر گذاری در cv. Turon نسبت به cv. Residence بیشتر بود. بر اساس این مطالعه وی انتخاب نوع کولتیوار گیاهی مناسب را

پلی ساکاریدهای میکروبی است عامل دیگری در روند بهبود اجزای عملکرد تلقی می‌گردد. ماتیوانان و همکاران (۲۰۱۴) با مایه‌زنی ریزوبیوم، سودوموناس و باسیلوس به بادام زمینی نشان دادند که باکتری‌ها می‌توانند باعث افزایش وزن خشک و تر اندام هوایی به میزان بیش از دو برابر شوند. همچنین تعداد نیام و تعداد دانه در بونه دو برابر افزایش داشت و وزن هزاردانه تقریباً ۱/۵ برابر شد. همچنین مایه‌زنی باکتریایی در تحقیقات نامبردگان سطح برگ را به عنوان سطح فتوسنتزی ۱/۳ برابر افزایش داد. ایکینچی و همکاران (۲۰۱۴) با مایه زنی سه سویه مختلف *Bacillus megaterium*، *B. subtilis* و *Pantoea agglomerans* بر گیاه *Brassica oleracea* نشان دادند که وزن تر ساقه، وزن خشک ساقه، قطر ریشه، طول ریشه، وزن خشک ریشه، ارتفاع گیاه قطر ساقه، سطح برگ و محتوای کلروفیل در تیمارهای باکتریایی نسبت به کنترل افزایش می‌یابد. رستم کیا و همکاران (۲۰۱۶) با مایه‌زنی سه گونه باکتری *B. subtilis*، *P. putida* و *Entrobacter cloacae* بر گیاه *Corylus avellana* نشان دادند که سرعت فتوسنتز، سرعت تعرق، هدایت روزنه‌ای و کارایی مصرف آب و محتوای کلروفیلی آن در اثر فعالیت این باکتری‌ها افزایش یافته است و همین امر باعث شده تا تیمارهای باکتریایی بتوانند بر عملکرد اندام‌های هوایی گیاه مذکور بیفزایند. بر طبق نتایج تیموسک و همکاران (۲۰۱۴) مایه زنی دو گونه باکتریایی *B.thuringiensis* AZP2 و *P. polymyxa* B می‌توانند مانع کاهش میزان افت سرعت فتوسنتز در مواجهه با تنش کم آبی گردند.

باکتری به باکتری به سطح ریشه گردیده برخی نیز به عنوان کوتاکسی منفی عمل نموده و باعث دفع باکتری گردند. سود (۲۰۰۳) گزارش کرد که نوع و میزان این مواد کاملاً وابسته به نوع گیاه حتی رقم گیاهی دارد و ریشه در روابط تکاملی آنها دارد. بنابراین تاثیر گذاری PGPR ها در ارقام مختلف متفاوت خواهد بود.

در بهبود بهره‌مندی از باکتری‌های محرک رشد موثر دانست. از آنجایی که بالغ بر ۴۰ درصد کارکرد فتوسنتزی گیاه از طریق ترشحات ریشه به محیط ریزوسفری گیاه ترشح می‌شود این ناحیه به عنوان یکی از غنی‌ترین محیط‌ها از لحاظ انواع مواد غذایی محسوب می‌شود، برخی از این مواد می‌توانند به عنوان کموتاکسی مثبت عمل نموده و باعث جلب



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل باکتری × رقم بر اجزای عملکرد گندم

- حروف کوچک انگلیسی مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در میانگین‌های مورد مقایسه.

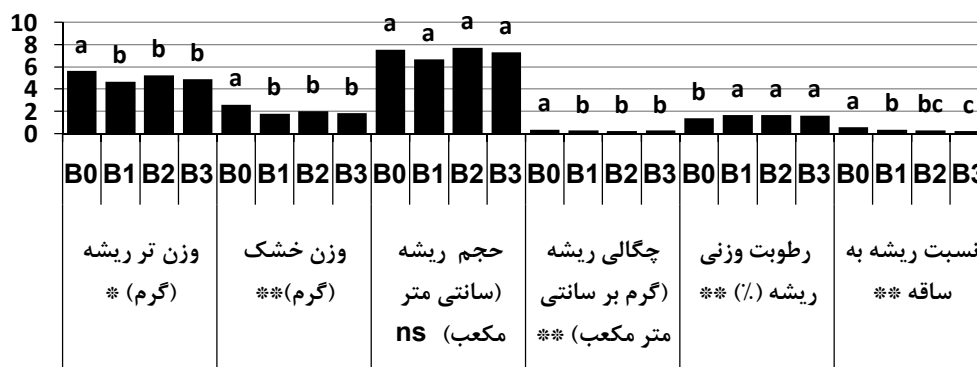
***، * و ns به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار شدن تجزیه واریانس پارامتر

مورد مطالعه است

جدول ۳- تاثیر باکتری‌ها بر درصد افزایش یا کاهش عملکرد اجزای گندم در ارقام کوهدشت و چمران نسبت به عدم مایه زنی باکتریایی (در محاسبه این درصدها از میانگین مجموع اثر باکتریها استفاده شده است)

رقم گندم	عملکرد بیولوژیک** (gr)	تعداد سنبله*	تعداد دانه در سنبله ^{ns}	وزن هزار دانه** (gr)	شاخص برداشت ** (%)	ارتفاع ساقه ^{ns} (cm)
کوهدشت	۲۳/۹٪	-۹/۹٪	۲۱/۲۶٪	-۱۱/۳۶٪	۱۹/۹۱٪	-۶/۹٪
چمران	۶/۵٪	-۲۳/۱٪	۴/۳۳٪	۴۰/۳۳٪	۱۸/۰۴٪	-۵/۲٪

***، * و ns به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی دار شدن تجزیه واریانس پارامتر مورد مطالعه است



شکل ۴- تاثیر مایه زنی باکتری بر خصوصیات ریشه گندم.

- حروف کوچک انگلیسی مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار در میانگین‌های مورد مقایسه.

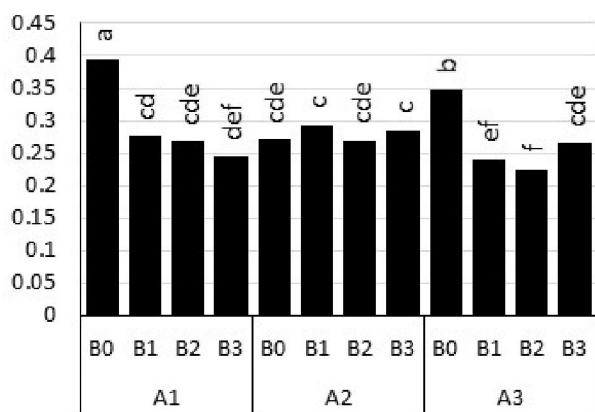
***، * و ns به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی دار شدن تجزیه واریانس پارامتر مورد مطالعه است

متنوع بوده و ثانیاً تاثیرپذیری ارقام نیز از باکتری‌ها یکسان نیست. با نگاهی به یافته‌های موجود در جدول ۳ می‌توان فهمید که در مجموع اجزای عملکرد دو رقم چمران و کوهدشت، رقم چمران واکنش موثرتری نسبت به مایه زنی باکتریایی نشان می‌دهد.

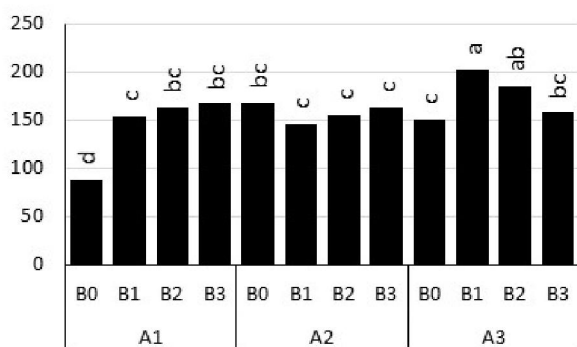
خصوصیات ریشه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش کم آبی بر خصوصیات مورد بررسی معنی-دار ($P < 0.01$) بوده و باعث کاهش وزن خشک، وزن تر، حجم ریشه، چگالی بافت ریشه (g/cm^3) و درصد رطوبت وزنی ریشه گردید (نتایج ارایه نشده-اند). تمامی جدایه‌های مورد مطالعه در مقایسه با شاهد بدون مایه زنی در سطح معنی داری ($P < 0.01$) باعث کاهش وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه و

در همین راستایان و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که ترشح برخی از اسیدهای آلی نظیر مالیک اسید، ماریک اسید و اگزالیک اسید می‌تواند تاثیر بسزایی در تشدید کلینزاسیون ریشه موز و تشکیل بیوفیلم توسط باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* NJN-6 ایفا نمایند. لاییس و همکاران (۲۰۱۵) تاثیر اسید سالسیک بر روند کلینزاسیون را بسیار مطلوب گزارش کرده‌اند. براساس یافته‌های این تحقیق مشخص شد که مایه‌زنی بذور گندم با باکتری‌های PGPR می‌تواند با تاثیر بر اجزای عملکرد در نهایت تاثیر مثبتی بر عملکرد داشته باشند. اما بایستی تاکید نمود که اولاً از نظر نوع باکتری، شدت تاثیر گذاری بر روی این پارامترها

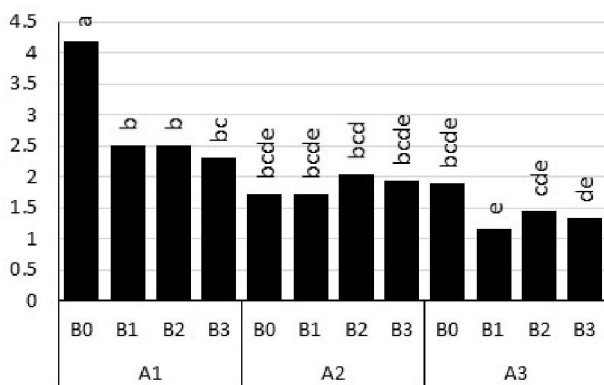
چگالی بافت ریشه (گرم بر سانتی متر مکعب)**



رطوبت وزنی ریشه (%)**



وزن خشک ریشه (گرم)**



شکل ۵- اثر متقابل رطوبت × رقم بر خصوصیات ریشه

- حروف کوچک انگلیسی مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار در میانگین‌های مورد مقایسه

را تغییر خواهد داد (Kroon, 2003). دومین تغییر در سطح اندامی بر قطر ریشه‌های ریز، طول ویژه ریشه، سطح ویژه ریشه و چگالی بافت ریشه بوده و سومین

چگالی ریشه شدند در حالی که تاثیر آنها بر حجم ریشه معنی دار نبوده، ولی باعث افزایش رطوبت وزنی ریشه شدند (شکل ۴). اثر متقابل باکتری × رطوبت در سطح ($P < 0.01$) بر وزن خشک ریشه، چگالی بافت ریشه و درصد رطوبت وزنی ریشه معنی دار بود (شکل ۵). به این مفهوم که در سطح کنترل تنش کم آبی (A1) تمامی جدایه‌ها باعث افت میزان چگالی بافت ریشه در مقایسه با کنترل همان سطح شدند. روند تغییرات این صفت در سطح تنش متوسط (A2) در مقایسه با کنترل بدون مایه زنی آن غیر معنی دار بود و در سطح تنش شدید (A3) باکتری B3 باعث افت معنی دار آن گردید. بیشترین میزان درصد رطوبت وزنی ریشه در سطح رطوبتی تنش شدید (A3) مشاهده گردید و باکتری B1 بیشترین میزان را به خود اختصاص داد.

نتایج بروز کم آبی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی ریشه را در پی خواهد داشت که در سطوح مختلفی از پیکره ریشه تجلی پیدا خواهد کرد. اثرات این تنش در مرحله نخست در سطح ارگانسمی بر زیست توده و آلومتری ریشه گیاه خواهد بود چرا که حفظ و توسعه ریشه نیازمند سرمایه گذاری متابولیکی بوده و می‌تواند متجاوز از ۵۰ درصد مواد فتوسنتزی را مصرف کند (لامبر و همکاران، ۲۰۰۲). بنابراین همچنانچه که برای اندام هوایی ذکر گردید با کاهش میزان فتوسنتز و کاهش سهم ریشه از آسیمیلات‌ها وزن تر و خشک ریشه نیز کاهش پیدا خواهد کرد و نهایتاً موجب کاهش وزن خشک و تر ریشه خواهد شد. کاهش میزان زیست توده در بخش هوایی و زیرزمینی نیز آلومتری گیاه

که باکتری‌ها میزان تولید ریشه‌های ریز را زیادتر کرده اند. کاهش رطوبت منجر به کاهش تولید ماده خشک ریشه گردید که نوسانات آن در تیمار بدون مایه زنی باکتریایی قابل ملاحظه بود. دانشمندان علوم کشاورزی معتقدند که کمیت زیاد ریشه الزاما به معنی فعالیت بیشتر ریشه نیست و آن چیزی که باعث تشدید فعالیت ریشه می‌گردد وجود ریشه‌های ریز می‌باشد (Birouste et al., 2003). ریشه عضو پیچیده‌ای بوده و از بخش‌های متمایزی مانند نوک ریشه، مریستم ریشه، منطقه تمایز و طویل شدن و ریشه‌های جانبی در حال ظهور به وجود آمده است (Vacheron et al., 2013). معماری سیستم ریشه (RSA) تلفیقی از توپولوژی سیستم ریشه، توزیع فضایی ریشه‌های اولیه و جانبی، تعداد و طول انواع مختلف ریشه‌ها است. گونه‌های PGPR معماری سیستم ریشه و ساختار بافت ریشه را عمدتاً از طریق توانایی خود را برای تداخل در تعادل هورمونی گیاه را تغییر می‌دهند. PGPR می‌تواند از طریق تولید هورمون‌های گیاهی، متابولیت‌های ثانویه و آنزیم لیتیک موجب توسعه و رشد ریشه گردند. این اثرات اغلب به صورت کاهش نرخ رشد ریشه‌های اولیه و افزایش تعداد و طول ریشه‌های فرعی و ریشه‌های موین مشاهده می‌شوند. در عین حال مطالعاتی نیز وجود دارند که افزایش رشد ریشه‌های اولیه ناشی از مایه زنی این باکتری‌ها را گزارش کرده اند (لیو و همکاران ۲۰۱۲). مشخص شده که مایه‌زنی باکتری *P. simiae* بر آراییدوپسیس باعث افزایش تقسیم سلولی در مریستم ریشه و مایه زنی باکتری *B. megaterium* موجب کاهش آن شده است. با این حال مشخص شده که هر دو این باکتری‌ها باعث

مورد از تغییرات در سطح سلولی و بافتی بوده و مربوط به قطر آوندهای چوبی است. در شرایط خشکی چندین خصوصیت مرفولوژیکی برای بخشهای ریز و درشت ریشه گزارش شده است که منجر به افزایش تولید می‌گردد. به نظر می‌رسد خصوصیات کلیدی در این زمینه خصوصیات هستند که بر طول کل و میزان سطح ریشه تاثیرگذارند و شامل قطر ریشه، چگالی بافت ریشه، طول ویژه ریشه و سطح ویژه ریشه می‌باشند. گیاهان با طول عمر زیاد و سرعت رشد پایین دارای چگالی بافتی زیاد در ریشه بوده و قطر ریشه نیز در آن‌ها زیاد است (به نقل از فورت و همکاران، ۲۰۱۳). به طور فیزیولوژیکی گونه‌های مقاوم به خشکی خانواده پوآسه به دلیل قطر کم آوندهای چوبی دارای چگالی بافتی زیادتری در ریشه هستند (Speiry et al., 2003). چگالی بافت ریشه در تیمارهای مایه زنی شده با باکتری نسبت به شاهد بدون مایه‌زنی کاهش یافت. یا به عبارت دیگر باکتری‌ها توانستند باعث افزایش حجم در واحد زیست توده ریشه گردند. از اینرو به نظر می‌رسد افزایش حجم در واحد زیست توده باعث افزایش سطح تماس ریشه با خاک نیز گردد. از طرفی محاسبه درصد رطوبت وزنی نیز نشان داد که در تیمارهای مایه زنی شده باکتریایی توان جذب و نگهداری آب در واحد وزن ریشه زیادتر است. با توجه به اینکه چگالی زیادتر نشان دهنده ماده خشک بیشتری در واحد حجم ریشه می‌باشد و علی‌رغم وجود ماده خشک زیادتر در ریشه‌های بدون باکتری توان جذب آب پایین بوده و دلیل آن می‌تواند وجود سطح جذب زیادتر برای آب در تیمارهای مایه زنی شده با باکتری باشد. به عبارت دیگر شاید بتوان گفت

کاهش طول ریشه اولیه به ترتیب به میزان ۴۰ درصد و ۷۰ درصد شده‌اند (به نقل از وربون و لایبرمن ۲۰۱۶).

PGPR همچنین تغذیه گیاه را از طریق تثبیت نیتروژن، انحلال فسفر و یا تولید سیدروفور تحت تاثیر قرار می‌دهند و فیزیولوژی ریشه را با تغییر رونویسی ژن و بیوسنتز متابولیت‌ها در سلول‌های گیاهی تغییر می‌دهند. اکسین شناخته شده‌ترین و موثرترین هورمون رشد گیاهی است که توسط PGPRها تولید می‌شود. بر طبق گزارشات علمی این هورمون تاثیر شدیدی در معماری ریشه داشته و عامل مهمی در تغییرات ریشه محسوب می‌شود. اتیلن یکی دیگر از فیتوهورمون‌های کلیدی است، که مانع افزایش طول ریشه و حمل و نقل اکسین شده و باعث ترویج پیری و ریزش اندام‌های مختلف و منجر به رسیدن میوه است. PGPR به طور گسترده ای قادر به کاهش سطوح اتیلن گیاه از طریق دآمیناسیون اسید ۱-آمینو سیکلو پروپان - کربوکسیلیک (ACC) است و مانع تولید اتیلن می‌شوند. بسیاری از PGPRها می‌توانند منجر به تغییرات ترکیب شیمیایی و خواص ساختاری دیواره‌های سلولی ریشه شوند. به عنوان مثال *Bacillus pumilus* INR-7 قادر به افزایش رسوب لیگنین در بافت اپیدرمی ارزن است، که در واقع نوعی پاسخ دفاعی گیاه به پاتوژن *Sclerospora graminicola* است (Vacheron et al., 2013). با توجه به داده‌های جدول ۱ باکترهای مورد استفاده در این تحقیق با شدت متفاوتی هر دو این موارد را تولید می‌کنند. بنابراین تفاوت‌های مورد مشاهده ممکن است ناشی از این توانایی باکتری‌ها باشند.

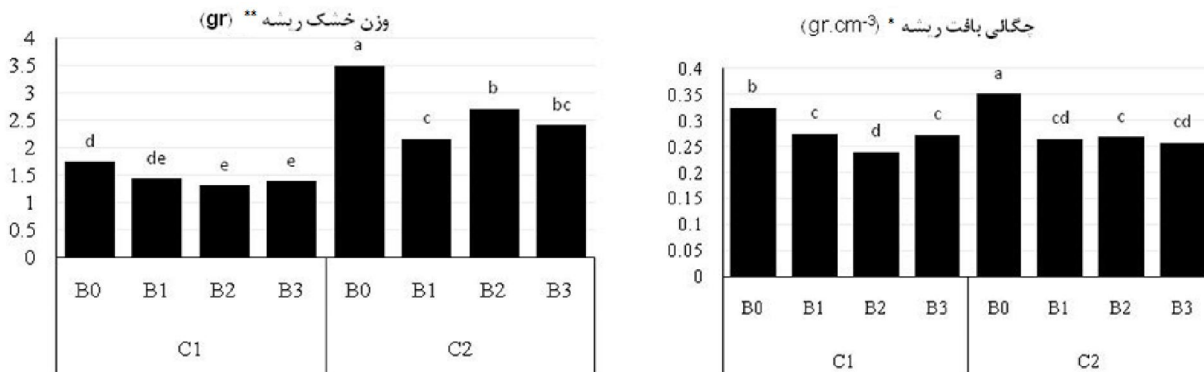
تاثیر متقابل باکتری بر رقم نشان داد که در تیمار شاهد بدون تلقیح، چگالی بافت ریشه در رقم چمران نسبت به کوهدشت زیادتر است، ولی در اثر مایه‌زنی باکتریایی چگالی هر دو رقم به صورت معنی‌داری نسبت به شاهد بدون مایه زنی در آنها کاهش یافته و در هر دو رقم به سطح یکسانی نزول پیدا می‌کنند. وزن خشک ریشه نیز تحت تاثیر اثر متقابل باکتری و رقم قرار گرفت بر اساس نتایج مقایسه میانگین سطح تولید ماده خشک در هر دو رقم تحت باکتری با روندی کاهشی مواجه گردید.

در یک جمع بندی کلی چنین به نظر می‌رسد که کمیت ریشه از طریق باکتری‌های محرک رشد متاثر شده و باکتری‌ها باعث کاهش وزن خشک و تر ریشه گندم شده‌اند بدون اینکه حجم ریشه دچار تغییرات معنی‌دار گردد. در کنار کاهش چگالی ریشه به واسطه مایه زنی با باکتری‌ها درصد تردی ریشه توسط این مایه زنی افزایش یافته است.

از آنجایی که ریشه‌های مویین گیاهان در مقایسه با سایر بخش‌های ریشه اندازه ریزتر و سطح جذب بالایی داشته و علاوه بر این دارای چگالی کمتری نسبت به سایر بخش‌ها می‌باشند. بنابر این به نظر می‌رسد تولید ریشه‌های مویین به واسطه حضور باکتری‌ها تحریک شده و رشد ریشه‌های اصلی و جانبی کمتر شده است. در بحث تغییرات آلومتری به عنوان یک قاعده کلی در شرایط تنش کم‌آبی نسبت ریشه به ساقه زیادتر می‌گردد. به این مفهوم که کاهش عملکرد ریشه در مقایسه با عملکرد اندام هوایی کمتر اتفاق می‌افتد (کوماس و همکاران، ۲۰۱۳). اما در این مطالعه این ویژگی مشاهده نشد. به نظر می‌رسد در طی آزمایشات گل‌دانی با توجه به

قبل از آغاز گلدهی که قسمت عمده عملکرد اندام هوایی اتفاق افتاده است این تناسب برای آزمایشات گلدانی کوچک صدق ننماید.

وجود فضای محدود اولاً امکان گسترش ریشه برای دسترسی به منابع آب بیشتر محدود شده و همچنین با توجه به اعمال تنش خشکی در مرحله ظهور سنبله و



شکل ۶- تاثیر متقابل رقم × باکتری بر خصوصیات ریشه

- حروف کوچک انگلیسی مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار در میانگینهای مورد مقایسه.

***، * و ns به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی دار شدن تجزیه واریانس پارامتر مورد مطالعه

داشته باشند. انتخاب اینکه از بین سه جدایه منتخب کدامیک بهتر عمل نموده است به سبب نامنظم بودن نتایج بدست آمده از هر کدام میسر نشد. با توجه به شرایط حاکم در این مطالعه شناسایی ژنتیکی جدایه‌های مورد مطالعه به سبب محدودیت‌های مالی میسر نشد لذا نویسندگان در مطالعات مشابه توصیه می‌نمایند که جهت حصول نتایج مطمئن‌تر باکتری-های انتخابی دارای شناسنامه ژنتیکی باشند. جداسازی ایزوله‌های باکتریایی ریزوسفری و مطالعه آنها از مناطق دارای تنش آبی مداوم بخصوص از ریزوسفر گیاهان مقاوم در آنها به کررات جهت دسترسی به ایزوله‌های کارآمدتر تکرار شوند. نتایج گلخانه‌ای مخصوصاً مطالعه ریشه خیلی قابل تعمیم به مزرعه نیستند لذا در مطالعات مشابه توصیه می‌گردد حتما در شرایط مزرعه‌ای مطالعات به صورت طولانی مدت انجام شوند.

نتیجه گیری کلی

بقا زندگی و تدوام آن در گیاهان وابسته به وجود آب است و هیچ جایگزینی برای آن وجود ندارد. از این رو کمبود رطوبت و تنش ناشی از آن همواره افت عملکرد را به همراه خواهد داشت. بهره‌گیری از رابطه تکاملی و برهمکنشی باکتری‌های ریزوسفری می‌تواند در تعدیل شدت تنش کم آبی به گیاه در جهت حفظ بقا کمک نماید. نتایج این مطالعه نشان داد که اولاً جدایه‌های باکتریایی می‌توانند بر عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات ریشه گندم تاثیر گذار باشند که در مجموع می‌توانند باعث بهبود عملکرد گندم گردند. ثانیاً می‌توان از باکتری‌های محرک رشد در جهت افزایش مقاومت به خشکی در گندم بهره گرفت. ثالثاً نوع رقم در انتخاب جدایه محرک رشدی موثر بوده و بایستی ارقامی کاندیدای هدف در تولید کودهای زیستی مورد استفاده قرار گیرند که باکتری پذیری مطلوبی

منابع

- Alami Y, Achouak W, Marol C, Heulin T. 2000. Rhizosphere soil aggregation and plant growth promotion of sunflowers by an exopolysaccharide-producing Rhizobium sp. strain isolated from sunflower roots. *Applied Environmental Microbiology* 66(8):3393-8.
- Austin RB. 1978. Actual and potential yields of wheat in the UK. *ADAS Quarterly Review*. 29: 277-294
- Birouste M, Zamora-Ledezma E, Bossard C, Pérez-Ramos IM, Roumet C. 2013. Measurement of fine root tissue density: a comparison of three methods reveals the potential of root dry matter content. *Plant and Soil* 374(1-2).
- Dietel K, Barbara Beator, Budiharjo A, Fan B, Borriss R. 2013. Bacterial Traits Involved in Colonization of Arabidopsis thaliana Roots by Bacillus amyloliquefaciens FZB42. *Plant Pathology Journal*; 29(1): 59–66. doi: 10.5423/PPJ.OA.10.2012.0155
- Egamberdieva D. 2010. Growth response of wheat cultivars to bacterial inoculation in calcareous soil. *Plant soil environ*. 56(12):570-573.
- Ehdaie B, Alloush GA, Madore MA, Waine JG. 2006b. Genotype variation for stem reserves and mobilization in wheat: II. Postanthesis changes in internode water soluble carbohydrates. *Crop Sci*. 46:2093-2103.
- Ekinci M, Turan M, Yildirim E, Güne A, Kotan R, Dursun A .2014. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth, nutrient, organic acid, amino acid and hormone content of Cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) transplants. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 13(6) :71-85
- Fort F, Jouany C, Cruz P. 2013. Root and leaf functional trait relations in Poaceae species: implications of differing resource- acquisition strategies. *Journal of Plant Ecology*. 6: 211-219.
- Gagné-Bourque F, Bertrand A, Claessens A, Aliferis KA and Jabaji S . 2016. Alleviation of Drought Stress and Metabolic Changes in Timothy (*Phleum pratense* L.) Colonized with *Bacillus subtilis* B26. *Front Plant Sci*; 7: 584. PMID: PMC4854170
- Gooding MJ, Ellis RH, Shewry PR, Schofield JD. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. *Journal of Cereal Science* 37: 295-309.
- IPCC.2014. Global and sectoral aspects. In Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL., eds, *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Part A. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp 1–1132.
- Kaci Y, Heyraud A, Barakat M and Heulin T. 2005. Isolation and identification of an EPS-producing Rhizobium strain from arid soil (Algeria): characterization of its EPS and the effect of inoculation on wheat rhizosphere soil structure. *Research in Microbiology* 156(4): 522–531.
- Kaushal M, Wani SP. 2015. Plant-growth-promoting rhizobacteria: drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands. *Ann Microbiol* DOI 10.1007/s13213-015-1112-3.

- Kavamura VN, Santos SN, Silva JL, Parma MM, Ávila LA, Visconti A, Zucchi TD, Taketani RG, Andreote FD and Melo IS .2013 . Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. *Microbiological Research* 168(4): 183–191.
- Kroon H, Visser EJW, (Eds.). 2003. *Root Ecology*. Springer – verlag berlin.
- Lambers H, Atkin OK, Millenaar FF. 2002. Respiratory patterns in roots in relation to their functioning. *In* Waisel Y, Eshel A, Kafkaki K., eds, *Plant Roots, Hidden Half*, Ed 3 Marcel Dekker, New York, pp 521–552.
- Lebeis SL, Paredes SH, Lundberg DS, B Natalie, Gehring J, McDonald M, Malfatti S, del Rio TG, Jones CD, Tringe SG, Dangl JL. 2015. Salicylic acid modulates colonization of the root microbiome by specific bacterial taxa. *Science* 349 (6250): 860-864.
- Lee R. 2011. The outlook for population growth. *Science* 333: 569–573.
- Marulanda A, Azcón R, Chaumont F, Ruiz-Lozano J, Aroca R. 2010. Regulation of plasma membrane aquaporins by inoculation with a strain in maize (*L.*) plants under unstressed and salt-stressed conditions. *Planta* 2 533–543. 10.1007/s00425-010-1196-8.
- Mathivanan S, Chidambaram ALA, Sundramoorthy P. Baskaran L. Kalaikandhan R. 2014. Effect of Combined Inoculations of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on the Growth and yield of groundnut (*Arachis hypogaea L.*). *Int.J.Curr.Microbiol. App.Sci.* 3(8): 1010-1020.
- RostamikiaY, Tabari Kouchaksaraei M, Asgharzadeh A, Rahmani A. 2016. The Effect of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on Growth and Physiological Characteristics of *Corylus avellana* Seedlings. *Ecopersia* 4 (3): 1471-1479 .
- Schulze, E.D. 1988. Adaptation mechanisms of non cultivated arid zone plants : useful less one for agriculture, *In* : *Drought Research Priorities for the Dryland Tropes*, ICRIS, A T, Patancheru, A. ; P., India, 159-177.
- Sood, SG. 2003. Chemotactic response of plant-growth-promoting bacteria towards roots of vesicular-arbuscular mycorrhizal tomato plants. *Fems Microbiol. Ecol.* 45, 219–227.
- Sperry JS, Stiller V, Hacke UG. 2003. Xylem hydraulics and soil- plant-atmosphere continuum opportunities and unresolved issues. *Agron J* 95:1362–70.
- Timmusk S , Abd El-Daim IA, Copolovici, Tanilas T, Kännaste A, Behers L, Nevo E, Seisenbaeva G, Stenström E, Niinemets Ü. 2014. Drought-Tolerance of Wheat Improved by Rhizosphere Bacteria from Harsh Environments: Enhanced Biomass Production and Reduced Emissions of Stress Volatiles; *PLOS One* 9(5): e96086.
- Timmusk S, Wagner EGH. 1999. The plant-growth-promoting rhizobacterium *Paenibacillus polymyxa* induces changes in *Arabidopsis thaliana* gene expression: a possible connection between biotic and abiotic stress responses. *Mol. Plant Microbe Interact.* 12 951–959.
- Vacheron J, Desbrosses G, Bouffaud ML, Touraine B, Moëgne-Loccoz Yvan, Muller D, Legendre L, Wisniewski-Dyé F, Prigent-Combaret C. 2013. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. *Front. Plant Sci.* <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00356>
- Vardharajula S, Zulfikar Ali S, Grover M, Reddy G, Bandi V .2011. Drought-tolerant plant growth promoting *Bacillus* spp., effect on growth, osmolytes, and antioxidant status of maize under drought stress. *J Plant Inter* 6:1–14

- Verbon EH, Liberman LM. 2016. Beneficial Microbes Affect Endogenous Mechanisms Controlling Root Development. *Trends in plant science*. (article in press).
- Vivas A, Marulanda A, Ruiz-Lozano J, Barea J, Azcón R. 2003. Influence of a *Bacillus* sp. on physiological activities of two arbuscular mycorrhizal fungi and on plant responses to PEG-induced drought stress. *Mycorrhiza* 13 249–256. 10.1007/s00572-003-0223-z.
- Yuan J, Zhang N, Huang Q, Raza W, Li R, Vivanco JM, Shen Q. 2015. Organic acids from root exudates of banana help root colonization of PGPR strain *Bacillus amyloliquefaciens* NJN-6. *Scientific reports* (5): 13438. doi: 10.1038/srep13438

Effect of biofilm PGPRs in alleviation of terminal growth stage water shortage on wheat's component yield and root

E. Karimi^{*1}, N. Aliasgharzad², M.R. Neishabori², E. Esfandiari³

1-Ph.D. Student of Soil Science Department, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2-Soil Science Department, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3- Agronomic Science Department, University of Maragheh, Maragheh, Iran

Abstract

Biofilmed bacteria that possess growth promoting properties can help crops such as wheat to survive in water stress conditions. In this regard, a factorial experiment with randomized complete block design (RCBD) was carried out to evaluate the effects of biofilm bacteria on yield and its components of wheat in rain-fed condition. Factors were including biofilmed bacterial isolates (including no bacteria, and isolates 16-1, 38-2 and 1-54), different wheat varieties (Kohdasht and Chamran), and water application (applying 20, 50, and 80 % of available water content) which were applied in 3 replications in research greenhouse of university of Maragheh. Studied isolates were selected among 120 biofilm isolates which were isolated from Graminae's roots resistant to drought in the Hashtrood region. Results revealed that bacteria had positive effects on yield component of wheat in all applied water conditions. Bacteria's application also prevented the deduction in some of yield components which usually occurs due to water stress condition. However, the results revealed that the effects of bacterial application were higher in Chamran variety compared to Kohdasht variety. Root's wet and dry weights, root's tissues density, water holding percentage of root and root/shoot ratio were affected by water stress condition. Bacterial inoculation decreased root's wet and dry weights and tissues density. In contrast, Bacterial inoculation considerably increased water holding percentage. In general, the results suggest that biofilmed bacteria are suitable to deduct the effects of drought stresses.

Keywords: biofilm bacteria, root tissue density, root, thousand grain weight, wheat cultivar

* Corresponding author: sm_ka80@yahoo.com

Received: 2017/02/22

Accepted: 2017/08/03