نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۴۶۷-۴۴۷

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 447-467

مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی بهبود عملکرد گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از مایه تلقیح باکتری‌های محرک رشد

کاظم خاوازی[۱]، ولی فیضی اصل[۲*]، محمدحسین سدری[۳]، علی اشرف طلیعی[۴]، جعفر گوهرگانی[۵]، محمد اسماعیلی[۶] و رضا سلیمانی[۷]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۳

خاوازی، ک.، فیضی اصل، و.، سدری، م.ح.، طلیعی، ع. ، گوهرگانی، ج.، اسماعیلی، م.، و سلیمانی، ر.، ۱۳۹۹. ارزیابی بهبود عملکرد گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از مایه تلقیح باکتری‌های محرک رشد. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۴۶۷-۴۴۷.

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه در افزایش عملکرد گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۵ باکتری محرک رشد با یک شاهد در چهار تکرار و در شش ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه، قاملو، سرارود، گچساران، خدابنده و شیروان چرداول در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ به‌اجرا در آمد. نتایج نشان داد، تلقیح باکتری‌های محرک رشد توانست عملکرد دانه گندم دیم را در هر شش ایستگاه افزایش دهد که این افزایش در اغلب مکان‌های آزمایشی از لحاظ آماری معنی‌دار بود. حداکثر افزایش عملکرد دانه در مراغه، کرمانشاه، کردستان، ایلام، زنجان و گچساران به‌ترتیب به‌میزان ۱۹/۶، ۴۵/۱، ۱۲/۴، ۱۸/۴، ۱۰/۲ و ۱۱/۶ درصد بود که متوسط این افزایش برای مطلوب‌ترین باکتری‌های محرک رشد در مناطق مورد مطالعه ۳۸۲ کیلوگرم در هکتار بود. با روش GGE بای‌پلات باکتری‌های محرک رشد به دو گروه دارای عملکرد بالا (تیمارهای شماره ۲، ۳، ۶، ۸، ۹ و ۱۰) و پائین (تیمارهای شماره ۱، ۴، ۵، ۷، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶) و مکان‌های مورد مطالعه به سه گروه (گروه اول کردستان و گچساران، گروه دوم مراغه، زنجان و ایلام و گروه سوم کرمانشاه) تفکیک شد. مناسب‌ترین تیمار برای گروه کردستان و گچساران شماره ۹، برای مراغه، زنجان و ایلام شماره ۲ و برای کرمانشاه شماره ۵ بود، امّا چنانچه هدف معرفی تنها یک باکتری محرک رشد برای کل مناطق باشد، مایه تلقیح شماره ۹ مناسب‌ترین است. بنابراین استنباط می‌شود، از باکتری‌های محرک رشد می‌توان در بهبود عملکرد گندم دیم در دیمزارهای ایران استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: بهبود عملکرد، تلقیح بذر، GGE بای‌پلات.

مقدمه

در اکثر جوامع بشری، گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان

۱- استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- استادیار مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران.
۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران.
۴- مربی پژوهشی معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
۵- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کهگیلویه و بویراحمد، ایران.
۶- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران.
۷- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Vfeiziasl@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.68276

یک محصول راهبردی تأمین‌کننده اصلی جیره غذایی و بخش اعظم پروتئین و کالری مورد نیاز افراد جامعه به شمار می‌آید. سالیانه حدود ۴/۵ میلیون هکتار (۶۲ درصد سطح زیر کشت گندم) از اراضی در چرخه تولید و ۳۳ درصد تولید گندم در ایران به گندم دیم اختصاص می‌یابد که تولید آن وابسته به نزولات جوی و مسائل اقلیمی و مدیریتی است و توجه ناکافی به مسائل دیم موجب خسارات جبران‌ناپذیر به این اراضی می‌شود (Ministry of Agriculture Jihad, 2015). با توجه به این‌که بخش اعظمی از این اراضی کم‌بازده بوده و تولیدات آن کمتر از ۷۰ درصد پتانسیل نظری این محصول است، لذا بهبود عملکرد این گیاه می‌تواند نقش بسزایی در خودکفایی کشور و ارتقاء وضعیت اقتصادی تولیدکنندگان گندم دیم داشته باشد. اگر چه اعتقاد بر این است که عملکرد دانه گندم از دهه ۱۹۵۰ در کشور ما نیز همانند سایر کشورها افزایش چشمگیری داشته است و حدود نیمی از این بهبود عملکرد از طریق پیشرفت ژنتیکی و نیمی دیگر به‌دلیل فن‌آوری‌ها و عملیات زراعی بوده است (Reynolds et al., 2004; Slafer & Satorre, 1999)، امّا به نظر می‌رسد تا نزدیک شدن به پتانسیل ژنتیکی این محصول، باید تحقیقات گسترده‌ای در خصوص مسائل به‌زراعی و رفع موانع بهبود عملکرد گندم دیم انجام پذیرد. یکی از مناسب‌ترین و مفیدترین راهکارها در این خصوص، استفاده از فن‌آوری زیستی و ترکیبات غیرآلاینده محیط زیست به‌ویژه باکتری‌های تولیدکننده محرک‌های رشد گیاهی است. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه[1] (PGPR) قادرند در طول فصل رشد با استفاده از مکانیسم‌های مختلف، در یک یا چند مرحله شاخص‌های مختلف رشد را بهبود بخشیده و در نهایت، منجر به افزایش کمّی و کیفی عملکرد در گیاهان مختلف از جمله گندم شوند (Ahemad & Kibret, 2014). این گروه از باکتری‌ها به‌طور طبیعی در خاک‌ها وجود دارند، ولی تعداد و تراکم آن‌ها در خاک پایین است، بنابراین تلقیح بذرهای گیاهان با این باکتری‌ها می‌تواند جمعیت آن‌ها را به حد مطلوب رسانده و در نتیجه، منجر به بروز اثر مفید آن‌ها در خاک گردند (Nazarly & Seyed Sharifi, 2013). افزایش درصد جوانه‌زنی، افزایش سطح سبز مزرعه، استقرار بهتر گیاهچه‌ها، بهبود ساختمان خاک و جذب عناصر غذایی، زیست‌پالایی[2] خاک‌های آلوده از طریق جداسازی گونه‌های مختلف فلزات سنگین (کروم، نیکل و ...)، کاهش ترکیبات بیگانه‌زی[3] در خاک، تعدیل اثر نامطلوب انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی (pH اسیدی، تنش اسمزی، تنش رطوبتی و محدودیت کربن) از طریق تعدیل و تنظیم تولید اکسین، تغییر زمان گل‌دهی، بهبود بسیاری از شاخص‌های رشد مانند ارتفاع گیاه، سطح برگ و ...، حفظ سلامت گیاه در مقابل بیمارگرهای ریشه و بالاخره افزایش عملکرد از مهم‌ترین مزایای استفاده از این باکتری‌ها است (Çakmakçi et al., 2014; Fallahi et al., 2015; Majeed et al., 2015).

گیاهان گرامینه مانند گندم برخلاف گیاهان دولپه‌ای قادر نیستند که در شرایط کمبود مواد غذایی، مقدار اسیدهای آلی موجود در تراوه‌های ریشه‌ای را از قبیل سیترات، مالات، اگزالات و استات افزایش دهند (Marschner & Römheld, 1994). این ترکیبات نقش مهمی را در جذب فسفر و آهن و همچنین افزایش عملکرد دارند، لذا تلقیح بذور گندم با سویه‌های PGPR و بررسی تأثیر آن‌ها روی جذب عناصر غذایی از خاک توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است (Mäder et al., 2011; Rosas et al., 2009; Sharma et al., 2011). مادر و همکاران (Mäder et al., 2011) با بررسی عکس‌العمل گندم به تلقیح با قارچ‌های میکوریز و باکتری‌های محرک رشد گیاه شامل دو *سودوموناس فلورسنت* به نام‌های *Pseudomonas jessenii* و *Pseudomonas synxantha* در هفت منطقه در هندوستان گزارش کردند، این عمل ۳۱ درصد عملکرد گندم را نسبت به شاهد (بدون تلقیح) افزایش داد. همچنین تلقیح موجب افزایش میزان پروتئین خام دانه (نیتروژن × ۵/۷)، غلظت عناصر غذایی و شاخص‌های کیفی خاک مانند فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اسیدی، اوره‌آز و دئیدروژناز شد. شارما و همکاران (Sharma et al., 2011) نیز افزایش معنی‌دار فعالیت‌های آنزیمی خاک، جذب عناصر غذایی توسط گیاه و عملکرد دانه گندم را در شرایط مزرعه‌ای با تلقیح باکتری‌های محرک رشد سودوموناس جدایه‌های *Pseudomonas* spp. گزارش نمودند. افزایش عملکرد گندم در اثر تلقیح بذور آن با باکتری‌های محرک رشد را پژوهشگران زیادی مورد تأیید قرار داده‌اند (Ahemad & Kibret, 2014; Çakmakçi et al., 2014; Jarak et al., 2006; Majeed et al., 2015; Lucy et al., 2004; Yousefpoor et al., 2014).

1- Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)
2- Bioremediation
3- Xenobiotic materials

باکتری‌های محرک رشد به‌راحتی به‌طرف ریشه گیاهان حرکت کرده و نقش مهمی را در کلونیزه کردن ریشه دارند. به‌طور کلی میزان کلونیزاسیون ریشه با سرعت رشد نسبی ریشه و باکتری‌ها ارتباط دارد. خالد و همکارن (Khalid et al., 2004) با بررسی توانایی تولید اکسین در سویه‌های PGPR و اثر آن بر گندم نتیجه گرفتند که طول ریشه، وزن خشک ریشه، طول اندام‌های هوایی و وزن خشک اندام‌های هوایی بذور تلقیح شده به‌ترتیب به‌میزان ۱۷/۳، ۱۳/۵، ۳۷/۷ و ۳۶/۳ درصد افزایش یافت. همچنین آن‌ها همبستگی مثبت و خطی (r=0.99) بین میزان تولید اکسین و پارامترهای رشد را در گیاه گزارش نمودند. در تحقیقی دیگر باربیر و گیل (Barbieri & Galli, 1993) افزایش طول و تعداد ریشه‌های جانبی و تراکم تارهای کشنده گیاه گندم را در اثر تلقیح سویه‌های PGPR گزارش کردند. همچنین آن‌ها بیان داشتند، کارایی استفاده از آب و مواد غذایی در تیمارهای تلقیح شده به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. الیوت و همکاران (Elliott et al., 1985) گزارش کردند که ریشه‌های تیره غلات به‌طور فراوان با سودوموناس‌ها کلونیزه می‌شوند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که تعداد زیادی از سودوموناس‌های آنتاگونیست، ریشه‌های گندم را کلونیزه می‌کنند. این *سودوموناس‌های* کلونیزه‌کننده ریشه از این طریق موجب کاهش جمعیت قارچ‌ها و باکتری‌ها در ریزوسفر می‌شوند. همچنین ثابت شده است که تولید سیدروفورها نیز نقش مهمی در کلونیزاسیون ریشه دارد. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه با جلوگیری از تکثیر پاتوژن‌های گیاهی و حفاظت گیاه در مقابل عوامل بیماری‌زا از طریق سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیباتی مانند HCN (سیانید هیدروژن) نقش مؤثری در بهبود عملکرد گیاه دارند. باکتری‌های خاک به‌ویژه سودوموناس‌ها، ترکیباتی با وزن مولکولی پایین تولید می‌کنند که پتانسیل ضد قارچی دارند و سبب کنترل برخی بیماری‌ها مانند بیماری پاخوره[1] در گندم می‌شوند (Duffy & Deeago, 1999; Vlassak et al., 1992). با توجه به اهمیت ریشه در جذب عناصر غذایی به‌ویژه آب در شرایط دیم، می‌توان نقش مؤثر PGPR را در بهبود وضعیت ریشه در شرایط تنش رطوبتی به‌ویژه خشکی آخر فصل در شرایط دیم پیش‌بینی نمود، بر این اساس مقرر گردید، اثر تعدادی از سویه‌های PGPR جداسازی شده در مؤسسه تحقیقات خاک و آب در قالب پژوهش حاضر جهت بهبود عملکرد گندم دیم در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم مناطق سرد، معتدل و گرم ایران مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار، در چهار تکرار و به‌مدت یک سال زراعی (۸۹-۱۳۸۸) در شش ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم کشور اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۱۵ باکتری ریزوبیومی محرک رشد گیاه (PGPR) آماده‌سازی شده در بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب و یک شاهد بدون تلقیح باکتری بود.

ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم محل اجرای این آزمایش طوری انتخاب شدند که سویه‌های مورد نظر در اقلیم‌های مختلف از سرد تا کاملاً گرم مورد بررسی قرار گیرند. ایستگاه مراغه، قاملو (کردستان) و خدابنده (زنجان) به‌عنوان ایستگاه‌های مناطق سرد، سرارود (کرمانشاه) به‌عنوان ایستگاه معتدل، شیروان چرداول (ایلام) به‌عنوان ایستگاه نیمه‌گرمسیری و گچساران به‌عنوان ایستگاه گرمسیری انتخاب شد (جدول ۱).

قبل از کاشت از محل اجرای آزمایش از عمق صفر الی ۲۵ سانتی‌متری نمونه خاک به‌روش مرکب تهیه شد (جدول ۲).

باکتری در محیط کشت مایع TSB تلقیح شد و پس از رسیدن باکتری به غلظت مناسب ۱×۱۰^{۹} باکتری در میلی‌لیتر سانتریفیوژ و در بافر سوسپانسیون گردید. از باکتری‌های تهیه شده به‌صورت بذرمال در مایه‌زنی بذور مورد استفاده قرار گرفت. باکتری‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل سویه‌های شماره ۴۱، ۱۰۸، ۱۰۳، ۱۶۸، ۱۱، ۱۵۹ و ۱۷۷ *سودوموناس پوتیدا* و سویه‌های ۷۳، ۹۹، ۹۳، ۱۶۹، ۱۸۷، ۱۳۶ و ۱۲۰ *سودوموناس فلورسنس* بودند.

بذر گندم از رقم دیم آذر ۲ و با تراکم ۳۵۰ دانه در مترمربع، در عمق پنج تا هفت سانتی‌متری با استفاده از دستگاه کاشت آزمایشی (وینتراشتایگر) کشت شد. عرض کرت‌ها ۲/۴ متر (۱۲ ردیف کشت با فاصله ردیف‌های ۲۰ سانتی‌متر) و طول آن‌ها هفت متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌ها نیم متر و فاصله بین بلوک‌ها دو متر بود.

نیتروژن مورد نیاز گندم دیم به‌میزان ۶۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره (Feiziasl & Pourmohammad, 2014; Feiziasl et al., 2014) و در صورت نیاز فسفر بر اساس کمبود از حد بحرانی این عنصر غذایی از ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از منبع

1- Take-all

سوپرفسفات تریپل (Feiziasl et al., 2004) و پتاسیم بر اساس کمبود از حد بحرانی آن از ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از منبع سولفات دو پتاس (Malakouti & Gheybi, 1997) به‌صورت یکنواخت برای تمامی تیمارهای آزمایشی و به‌صورت جای‌گذاری در پائیز هم‌زمان با کاشت محاسبه و مصرف گردید. حد بحرانی عناصر کم مصرف آهن، منگنز، روی، مس و بور در این پژوهش به‌ترتیب ۸/۵، ۱۱، ۰/۹، ۱/۷ و ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در نظر گرفته شد (Feiziasl et al., 2009) که در صورت کمبود، به‌ترتیب از منابع سکوسترین آهن، سولفات منگنز، سولفات روی، سولفات مس و اسید بوریک محاسبه و هم‌زمان با کاشت و به‌همراه کودهای دیگر به‌صورت جای‌گذاری تأمین گردید.

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (GS_{91}) ابتدا صفات گیاهی از قبیل متوسط تعداد پنجه در بوته، ارتفاع بوته، تعداد سنبله در واحد سطح (چهار ردیف یک متری در هر کرت)، طول سنبله (بدون لحاظ ریشک‌های انتهایی) و تعداد دانه در سنبله اندازه‌گیری و سپس دو ردیف کناری و ۰/۵ متر از انتهای دو طرف کرت‌ها به‌منظور از بین بردن اثر حاشیه‌ای احتمالی حذف و باقی‌مانده کرت‌ها برای تعیین عملکرد بیولوژیک و دانه به‌صورت دستی (کف‌بر) برداشت و پس از توزین، عملکرد بیولوژیک خرمن‌کوبی و عملکرد دانه و کاه و وزن هزار دانه تعیین گردید.

داده‌های جمع‌آوری شده از این آزمایش ابتدا به‌صورت جداگانه و پس از آزمون یکنواختی واریانس‌ها به‌صورت مرکب با استفاده از نرم‌افزار GenStat12 تجزیه و تحلیل و مقایسات میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. همچنین به‌منظور تجزیه و تحلیل اثر متقابل تیمارهای آزمایشی (PGPR) و محیط (مکان‌های آزمایشی) از روش آماری GGE بای‌پلات به‌کمک نرم‌افزار GenStat 12 استفاده شد (Yan et al., 2000).

جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸

Table 1- Climate data in dryland agricultural research stations in cropping year (2009-2010)

مکان Location	متوسط رطوبت نسبی هوا Relative humidity (%)	میزان بارش Rainfall (mm)	متوسط دما Mean Temperature (°C)	متوسط حداقل دما Mean Min. Temperature (°C)	متوسط حداکثر دما Mean Max. Temperature (°C)	تبخیر Evaporation (mm)
مراغه Maragheh	61.6	498.2	6.8	2.9	11.5	669.3
قاملو Ghamlo	49.3	424.2	8.7	1.6	16.3	928.4
سرارود Sararood	56.4	455.7	11.7	4.9	19.0	776.4
خدابنده Khodabandeh	55.0	514.7	8.9	4.1	14.3	538.8
گچساران Ghachsaran	52.0	402.8	20.2	13.3	28.6	1186.5
شیروان چرداول Shirvan Chardavool	59.8	511.6	14.5	8.7	22.9	897.7

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک قبل از کاشت در عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری

Table 2– Soil physical and chemical characteristics before sowing in 0-25 cm depth

عمق Depth (cm)	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	کربنات کلسیم معادل $CaCO_3$ (%)	کربن آلی Organic C (%)	نیتروژن کل Total N (%)	بافت Ttexture	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu
							($mg.kg^{-1}$)					
مراغه Maragheh	7.7	0.48	5.1	0.41	0.07	Clay loam	5.8	480	7.6	13.6	1.1	2.3
قاملو Ghamlo	7.8	0.41	16.4	0.40	0.06	Clay	12.4	360	2.7	8.0	0.6	1.6
سرارود Sararood	7.7	0.31	24.7	1.01	0.21	Silty loam	8.0	530	2.0	2.4	0.4	0.7
خدابنده Khodabandeh	7.9	1.10	15.0	0.61	0.06	Silty clay	14.6	434	5.3	11.7	1.8	1.7
گچساران Ghachsaran	7.3	0.75	32.5	0.79	0.08	Silty clay loam	7.0	322	6.8	16.1	1.9	1.4
شیروان چرداول Shirvan Chardavool	7.4	0.32	27.0	0.94	0.09	Silty loam	11.0	185	3.8	4.6	0.9	1.1

نتایج و بحث

الف) عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج تجزیه مرکب عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد، اثر مکان روی تمامی صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و از لحاظ این صفات بین مکان‌های مورد مطالعه تفاوت وجود داشت. اثر تیمارهای آزمایشی روی عملکرد دانه، شاخص برداشت، درجه باردهی، ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد و روی عملکرد بیولوژیک و تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمار در مکان آزمایشی تنها روی شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

ب) اثر مکان‌های آزمایشی بر عملکرد و صفات گیاهی

بیشترین عملکرد بیولوژیک با ۹۲۶۳ و ۸۳۲۷ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب از کرمانشاه و کردستان به‌دست آمد که از لحاظ آماری در کلاس برتر (a) قرار داشتند و کمترین این صفت به‌میزان ۴۹۹۱ کیلوگرم در هکتار به مراغه اختصاص یافت. بنابراین در ایستگاه‌های ایلام، کرمانشاه و کردستان عملکرد بیولوژیک بیشتری نسبت به ایستگاه مراغه تولید شد. از لحاظ عملکرد دانه ایلام و کردستان بیشترین تولید را داشتند که از لحاظ آماری در کلاس مشابه (a) قرار گرفتند و دو ایستگاه کرمانشاه و مراغه از لحاظ آماری عملکرد دانه کمتری (کلاس b) نسبت به دو ایستگاه یاد شده داشتند. با مقایسه این نتایج، ایستگاه‌های ایلام، کرمانشاه و کردستان به‌ترتیب ۳۸، ۸ و ۳۰ درصد تولید دانه بیشتری نسبت به ایستگاه مراغه داشتند که این افزایش در مقایسه با افزایش عملکرد بیولوژیک و کاه برای دو ایستگاه کرمانشاه و کردستان بسیار ناچیز می‌باشد. بیشترین میزان عملکرد کاه همانند عملکرد بیولوژیک با ۷۱۱۹ کیلوگرم در هکتار از ایستگاه کرمانشاه (کلاس a) و سپس ایستگاه‌های کردستان، ایلام و مراغه به‌دست آمد که هرکدام از ایستگاه‌ها از لحاظ آماری در کلاس متفاوتی قرار گرفتند. همچنین افزایش عملکرد کاه ایستگاه‌های ایلام، کرمانشاه و کردستان نسبت به ایستگاه مراغه به‌ترتیب ۳۹، ۱۳۶ و ۹۱ درصد بود (جدول ۴). رابطه بین میزان بارندگی سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ (متغیر مستقل) با عملکرد دانه (متغیر وابسته) در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم نشان داد که با افزایش میزان بارندگی سالیانه، عملکرد دانه نیز به‌صورت خطی افزایش ($p< ۰/۰۱$) یافت. مطابق این رابطه، با افزایش هر میلی‌متر بارندگی سالیانه (معادل ۱۰ مترمکعب بارش در هکتار)، عملکرد دانه گندم دیم به‌میزان ۸/۱۲ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (شکل ۱- الف). لذا استنباط می‌شود که عمده تغییرات عملکرد دانه گندم دیم بین ایستگاه‌های مختلف، وابسته به تغییرات بارندگی بوده است. فیضی اصل و همکاران (Feiziasl et al., 2010 a) با تجزیه و تحلیل آمار هواشناسی بلندمدت منطقه مراغه به این نتیجه رسیدند که اولاً میزان بارندگی رابطه مستقیمی با عملکرد دانه گندم دیم دارد و با افزایش هر میلی‌متر بارندگی، عملکرد دانه گندم دیم ۲/۶ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد. ثانیاً مهم‌ترین عوامل اقلیمی محدودکننده تولید گندم دیم به‌ترتیب متوسط دمای سالیانه و میزان بارندگی است که با افزایش میزان بارندگی سالیانه، عملکرد دانه گندم دیم نیز به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. توکلی و همکاران (Tavakoli et al., 2013) چنین رابطه‌ای را بین میزان بارندگی سالیانه و عملکرد جو (*Hordeum vulgare* L.) دیم گزارش کردند. آن‌ها بیان داشتند که با افزایش هر میلی‌متر بارندگی، عملکرد دانه جو دیم ۲/۵ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد که این مقدار کمتر از یک سوم افزایش عملکرد دانه برای گندم دیم در پژوهش حاضر است. تاتاری و همکاران (Tatari et al., 2009) نیز با تجزیه و تحلیل داده‌های ۲۰ ساله (۸۳-۱۳۶۲) مناطق دیم‌کاری استان خراسان به این نتیجه رسیدند که مقادیر بارندگی در تعدادی از ماه‌های سال (فروردین، خرداد، آبان و اسفند) عملکرد گندم دیم را توجیه می‌نماید. طلیعی و بهرامی (Talliee & Bahrami, 2003) معتقدند بارندگی‌های ماه‌های فروردین و اردیبهشت بیش از ۵۰ درصد از تغییرات عملکرد دانه گندم دیم را در استان کرمانشان توجیه می‌نماید. نتایج این پژوهشگران، با نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر در خصوص ارتباط میزان بارندگی با عملکرد دانه گندم دیم مطابقت می‌نماید.

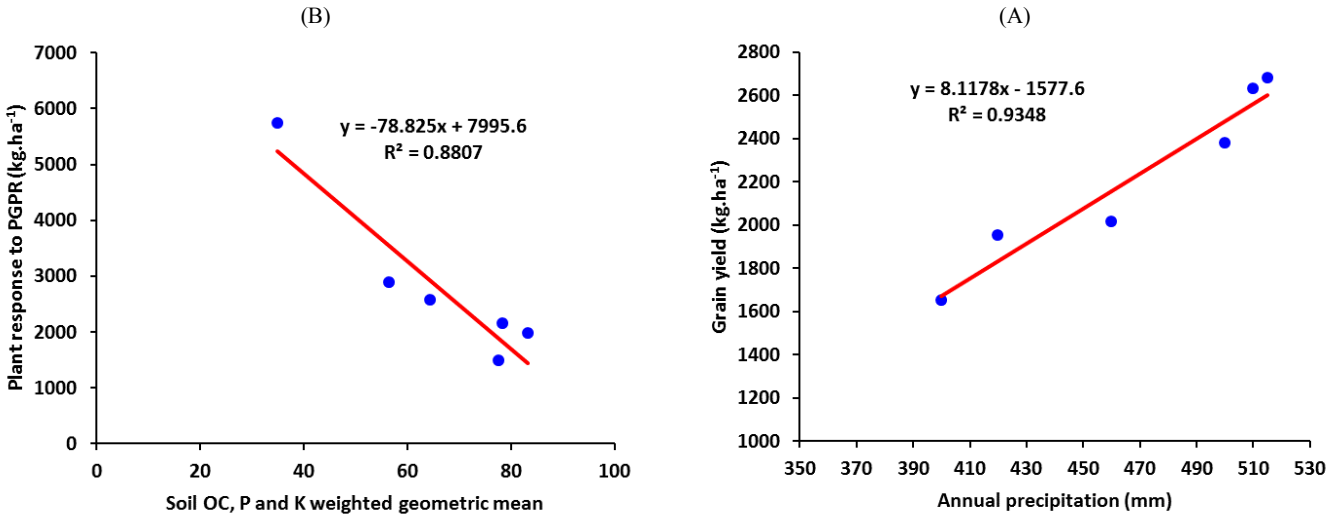
بیشترین شاخص برداشت بر عکس عملکرد کاه، از مراغه و ایلام به‌دست آمد که در کلاس برتر (a) قرار داشتند و کمترین این صفت با ۰/۲۳۵ به ایستگاه کرمانشاه تعلق داشت. این نتایج نشان داد که سهم عملکرد اقتصادی از کل فتوسنتز انجام گرفته به‌ترتیب در ایستگاه کرمانشاه و کردستان کمترین مقدار بوده و در ایستگاه‌های مراغه و ایلام نیز بیشترین بوده است که نتایج درجه باردهی نیز دقیقاً با نتایج

شاخص برداشت مطابقت دارد و این موضوع را تأیید می‌نماید (جدول ۴). بررسی وزن هزار دانه نشان داد که بیشترین این صفت از کردستان در کلاس برتر (a) و کمترین آن از ایلام به‌دست آمد. بیشترین تعداد سنبله در واحد سطح از کردستان و کمترین این صفت از ایلام گزارش شد. این در حالی است که بیشترین تعداد دانه در سنبله از ایلام و کمترین آن از مراغه گزارش شد (جدول ۴). این نتایج نشان داد، بین اجزای عملکرد گندم (وزن هزار دانه، تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله) و عملکرد دانه نمی‌توان رابطه منطقی تعریف نمود، این در حالی است که نتایج پژوهش‌های انجام گرفته پیشین نشان می‌دهد که عملکرد گندم دیم از سه جزء یاد شده، بیشتر وابسته به تعداد سنبله در واحد سطح می‌باشد، امّا در گندم آبی تغییرات عملکرد دانه بیشتر وابسته به وزن هزار دانه است (Feiziasl et al., 2014). شاید دلیل این تفاوت تجمیع داده‌های مربوط به ایستگاه‌های مناطق سرد و نیمه‌سرد با مناطق گرم و نیمه‌گرم در پژوهش حاضر علی‌رغم یکنواختی اشتباه‌های آزمایشی این ایستگاه‌ها بوده است، زیرا که در مناطق سرد و همچنین در شرایطی که رطوبت خاک کافی باشد، تعداد سنبله در واحد سطح جزئی از عملکرد است که بیشترین اثر را در تولید محصول دارد. در حالی که در شرایط تنش خشکی و مناطق گرم، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه سهم بیشتری در تولید عملکرد دارند (Feiziasl et al., 2014; Tavakkoli, 2013). معمولاً ارقامی که تعداد پنجه‌های بیشتری دارند، تعداد سنبله در واحد سطح آن‌ها نیز افزایش می‌یابد، در این صورت دو جزء دیگر عملکرد یعنی تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه کاهش پیدا می‌کند. اجزای عملکرد، صفات کمّی پیچیده‌ای هستند و توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شوند که تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرند (Ghobadi et al., 2007).

ج) اثر تیمارهای PGPR بر عملکرد و صفات گیاهی

نتایج مقایسه میانگین صفات گیاهی برای تیمارهای مورد مطالعه نشان داد که تیمار شماره ۱۱ (PGPR شماره ۱۳۶) بیشترین مقادیر عملکرد بیولوژیک، دانه و کاه را در بین تیمارهای مورد آزمایش PGPR به خود اختصاص داد که این افزایش نسبت به شاهد (بدون تلقیح) به‌ترتیب ۱۳/۷، ۲۰/۵ و ۱۰/۶ درصد و از لحاظ آماری برای عملکرد دانه ($p<0/01$) و بیولوژیک ($p<0/05$) معنی‌دار بود. کمترین مقادیر عملکرد بیولوژیک، دانه و کاه به‌ترتیب از PGPR شماره ۱۳۶، ۱۳۶ و ۱۸۷ به‌دست آمد. مطابق این نتایج از ۱۵ تیمار مورد ارزیابی (بدون احتساب شاهد)، ۱۰ تیمار عملکرد بیولوژیک بیشتری نسبت به شاهد داشتند که میانگین عملکرد بیولوژیک این تیمارها ۷۵۸۱ کیلوگرم در هکتار بود که در مقایسه با شاهد به‌طور متوسط شش درصد افزایش داشت. در خصوص عملکرد دانه، ۱۳ تیمار از ۱۵ تیمار مورد ارزیابی عملکرد دانه بیشتری نسبت به شاهد داشتند که متوسط عملکرد دانه آن‌ها ۲۳۹۵ کیلوگرم در هکتار بود که ۷/۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. این در حالی است که تعداد و تیمارهای دارای عملکرد کاه بیشتر، دقیقاً مشابه با تیمارهای عملکرد بیولوژیک (۱۰ تیمار) با متوسط مقدار ۵۱۷۰ کیلوگرم در هکتار بود که افزایش عملکرد کاه به‌طور میانگین در این تیمارها ۵/۱ درصد نسبت به شاهد بود (جدول ۵). پژوهشگران زیادی افزایش عملکرد گندم را با تلقیح PGPR در شرایط مزرعه‌ای گزارش کرده‌اند (Çakmakçi et al., 2014; Khalid et al., 2004; Kumar et al., 2014; Majeed et al., 2015; Shaharoona et al., 2008; Sharma et al., 2011) که با نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر کاملاً مطابقت دارد. شهارونا و همکاران (Shaharoona et al., 2008) معتقدند، اثربخشی تلقیح با باکتری‌های محرک رشد (PGPR) در سطوح پائین مصرف کودهای NPK افزایش می‌یابد، زیرا در چنین شرایطی فعالیت زیاد ۱- آمینوسیکلوپروپان ۱-کربوکسیلات[1] (ACC) دی‌آمین‌آز باعث تولید کمتر بازدارنده رشد اتیلن در ریشه‌ها از طریق هیدرولیز ACC به NH_3 و آلفاکتوبوتیرات شده و این موضوع باعث افزایش رشد می‌شود. این امر می‌تواند اهمیت بیشتر استفاده از PGPR را در اراضی کم‌بازده دیم‌زارهای کشور با سطوح پائین عناصر غذایی به‌خوبی توجیه نماید. رابطه بین میانگین حسابی موزون بین کربن آلی، فسفر و پتاسیم خاک موجود در شش ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم کشور به‌عنوان متغیر مستقل با میانگین پاسخ گندم دیم به تلقیح با باکتری‌های محرک رشد (PGPR) به‌عنوان متغیر وابسته نشان داد، این رابطه از نوع خطی منفی و معنی‌داری ($p<0/01$) است (شکل ۱-ب). به‌تعبیر دیگر، با افزایش سطح حاصلخیزی خاک در ایستگاه‌های تحقیقاتی، پاسخ گندم دیم به تلقیح PGPR به‌صورت خطی کاهش یافته است که این نتایج با نتایج شهارونا و همکاران (Shaharoona et al., 2008) مبنی بر اثربخشی تلقیح PGPR در سطوح پائین حاصلخیزی خاک کاملاً مطابقت دارد و اهمیت بیشتر PGPR را در چنین اراضی نشان می‌دهد.

1- Aminocyclopropane-1- carboxylate (ACC)



شکل ۱- رابطه بین میزان بارندگی سالیانه با عملکرد دانه (A) و میانگین وزنی موزون کربن آلی، فسفر و پتاسیم خاک با پاسخ گیاه به تلقیح PGPR (B) در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم کشور

Fig. 1- Relationship between annual precipitation and grain yield (A) and soil organic matter (OC), P (av.) and K (av.) weighted geometric mean and plant response to PGPR (B) in Iran's dryland research stations

نتایج مقایسه میانگین شاخص برداشت برای تیمارهای آزمایشی نشان داد، حجم مواد فتوسنتزی اختصاص یافته به بخش اقتصادی گیاه (عملکرد دانه) در PGPR شماره ۱۰۸ (تیمار شماره ۹) بیشترین مقدار را در بین تیمارهای آزمایشی داشت و کمترین این صفت با نسبت ۰/۳۱ مربوط به PGPR شماره ۴۱ بود. به‌تعبیر دیگر، در PGPR شماره ۱۰۸ از کل مواد فتوسنتزی تولید شده نزدیک به ۳۵ درصد آن به عملکرد دانه و ۶۵ درصد به عملکرد کاه تبدیل شده است. از ۱۵ تیمار PGPR مورد بررسی در پژوهش حاضر، ۱۳ تیمار شاخص برداشت بیشتری نسبت به شاهد (به‌طور میانگین ۵/۳ درصد) داشتند که تنها افزایش در یک تیمار (PGPR شماره ۱۰۸) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری (P<۰/۰۱) با شاهد (بدون تلقیح) داشت که توانست ۸/۴ درصد شاخص برداشت گندم دیم را افزایش دهد (جدول ۵). پژوهشگران زیادی توانسته‌اند با استفاده از باکتری‌های محرک رشد، شاخص برداشت گندم را بهبود بخشند. صابر و همکاران (Saber et al., 2012) با تلقیح بذور با جدایه‌های *سودوموناس Pseudomonas putida* و *Pseudomonas fluorescens* توانستند شاخص برداشت گندم را ۴۶/۶ تا ۴۸/۸ درصد افزایش دهند. توران و همکاران (Turan et al., 2010) نیز گزارش کردند، تلقیح بذور گندم با جدایه‌هایی مختلفی از *Bacillus* و *Azospirillum* توانست شاخص برداشت این گیاه را در مقایسه با شاهد و تیمارهای مصرف کود، افزایش دهد. سیدلر و همکاران (Seyedlar et al., 2014) با تلقیح بذور گندم با جدایه‌هایی از *Azotobacter*، *Azospirillum*، *Pseudomonas* و *Bacillus* گزارش مشابهی را روی گندم داشتند، امّا بارنیگس و همکاران (Barneix et al., 2005) با تلقیح بذور گندم با دو جدایه از *Bacillus* بیان داشتند، مصرف نیتروژن و تلقیح بذور با PGPR نتوانست شاخص برداشت گندم را تحت تأثیر قرار دهد. با توجه به اینکه هدف اصلی از اعمال اغلب مدیریت‌های به‌زراعی مانند تلقیح PGPR و مصرف کود، علاوه‌بر بهبود خصوصیات مطلوب ریشه به‌عنوان اندام جذب‌کننده آب و عناصر غذایی و پوشش سبز به‌عنوان اندام‌های فتوسنتزکننده گیاه در شرایط دیم می‌باشد، امّا در نهایت، نباید سهم مواد فتوسنتزی انتقال یافته به بخش اقتصادی گیاه را که درآمد واقعی کشاورز را تأمین می‌نماید، در این میان نادیده گرفت. به‌همین دلیل شاخص برداشت در بین صفات گیاهی به‌عنوان مهم‌ترین صفت در افزایش عملکرد دانه گندم به شمار می‌آید (Farina et al., 2014). کومار و همکاران (Kumar et al., 2005) نیز معتقدند، افزایش عملکرد بیولوژیک زمانی مؤثر خواهد بود که کربن تولید شده در طی فتوسنتز به‌طرف اندام‌های اقتصادی یا دانه‌ها انتقال یابد. بر این اساس احتمالاً می‌توان PGPR شماره ۱۰۸ را به‌دلیل داشتن

عملکرد بیولوژیک نسبتاً بالا (افزایش ۲۷۵ الی ۱۰۷۱ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین شاخص برداشت، از سویه‌های مناسب برای معرفی در نظر گرفت. در درجه باردهی نیز بیشترین مقدار این صفت (۴۵/۲) به PGPR شماره ۱۰۸ تعلق داشت که این تیمار از لحاظ آماری با تیمار شماره ۱۱ (PGPR شماره ۳۶) در کلاس A قرار داشتند و کمترین این صفت به‌میزان ۴۰/۷ همانند صفت شاخص برداشت به PGPR شماره ۴۱ اختصاص داشت. از ۱۵ تیمار اعمال شده در این پژوهش، شاخص برداشت ۱۳ تیمار نسبت به شاهد برتری (به‌طور میانگین ۴/۹ درصد) داشت که نوع تیمارها نیز دقیقاً مشابه با تیمارهای شاخص برداشت بود (جدول ۵). بنابراین بررسی روند تغییرات شاخص برداشت و درجه باردهی نشان می‌دهد که دو صفت یاد شده به‌دلیل اجزای تشکیل‌دهنده آن‌ها، همبستگی مثبت بالایی (r=۰/۹۴**) با یکدیگر دارند (جدول ۶). در نتیجه، در مطالعات مشابه می‌توان از یکی از صفات یاد شده برای حجم مواد انتقال یافته به بخش اقتصادی گیاه استفاده نمود.

مطالعه اجزای عملکرد برای سویه‌های مختلف PGPR نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه به سویه‌های شماره ۱۱ و ۱۰۸ اختصاص داشت. برای سویه شماره ۱۱ علاوه‌بر وزن هزار دانه، صفات عملکرد بیولوژیک، دانه و کاه، درجه باردهی، ارتفاع بوته و طول سنبله نیز در بین سویه‌های مورد بررسی بیشترین بود. کمترین وزن هزار دانه از تلقیح سویه شماره ۱۲۰ به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۳/۲ درصد کاهش داشت. در خصوص وزن هزار دانه تنها پنج سویه از ۱۵ سویه اعمال شده نسبت به شاهد برتری داشتند که این برتری به‌طور میانگین نزدیک به ۱/۵ درصد بود و از لحاظ آماری با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. تعداد سنبله در واحد سطح همانند طول سنبله از جمله صفاتی بودند که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی از نظر این صفات وجود نداشت و هر ۱۶ تیمار در یک کلاس آماری قرار داشتند، امّا در خصوص تعداد سنبله در واحد سطح، چهار تیمار و برای طول سنبله ۱۳ تیمار نسبت به شاهد برتری نسبی نشان دادند که این تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. صفت تعداد دانه در سنبله به‌عنوان آخرین جزء از اجزای عملکرد دانه گندم برای تیمار شماره ۱۳۶ بیشترین میزان (۲۵/۶ دانه در سنبله) بود و کمترین آن (۲۰/۶ دانه در سنبله) مربوط به تیمار شماره ۱۵۹ بود که این دو تیمار تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند، امّا هیچ‌کدام با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند. از بین ۱۵ سویه مورد آزمایش تعداد نه سویه تعداد دانه در سنبله بیشتری (به‌طور میانگین ۳/۶ درصد) نسبت به شاهد تولید نمودند که هیچ‌کدام از لحاظ آماری با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۵). مطابق نتایج حاصل از تجزیه واریانس، به‌منظور افزایش عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن، به نظر می‌رسد رویکرد انتخاب سویه‌های برتر بر اساس درجه باردهی یا شاخص برداشت بالا و همچنین ارتفاع بوته و سنبله بیشتر مناسب باشد که در این صورت احتمالاً معرفی سویه‌های شماره ۱۱ (تیمار ۲) و ۱۰۸ (تیمار ۹) به‌ترتیب مناسب‌ترین و مطمئن‌ترین تیمار در بین تیمارهای مورد بررسی برای مناطق مورد مطالعه خواهد بود.

نتایج همبستگی صفات گیاهی و اجزای عملکرد برای میانگین تیمارهای آزمایشی نشان داد، رابطه بین عملکرد دانه، عملکرد کاه و ارتفاع بوته با عملکرد بیولوژیک مثبت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. این در حالی است که عملکرد دانه با درجه باردهی همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و با شاخص برداشت، ارتفاع بوته و طول سنبله در سطح احتمال پنج درصد رابطه مثبت و معنی‌داری داشت. در خصوص عملکرد کاه، تنها رابطه ارتفاع بوته با این صفت به‌صورت مثبت و در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). بررسی دقیق رابطه رگرسیونی بین میزان افزایش ارتفاع بوته و عملکرد دانه نسبت به شاهد (بدون تلقیح) در ۱۲ سویه مؤثر در افزایش عملکرد دانه نشان داد که این ارتباط از نوع خطی افزایشی و معنی‌دار (p<۰/۰۵) است. به‌تعبیر دیگر، سویه‌های موفق باعث افزایش ارتفاع بوته تا هفت سانتی‌متر و به دنبال آن افزایش عملکرد دانه گندم دیم شده‌اند (شکل ۲- الف). پژوهشگران دیگری نیز افزایش ارتفاع بوته گندم را در اثر تلقیح با PGPR و به دنبال آن افزایش عملکرد دانه گزارش کرده‌اند (Çakmakçı et al., 2007; Sahin et al., 2004). افزایش ارتفاع بوته باعث افزایش سطح سبز و به دنبال آن افزایش فتوسنتز جاری گیاه و ذخیره بیشتر مواد هیدروکربنی در گیاه می‌شود که در صورت نیاز و رخداد تنش رطوبتی به‌ویژه در اواخر فصل رشد هم‌زمان با مرحله پر شدن دانه، امکان انتقال مواد ذخیره‌ای به سنبله و بهبود عملکرد دانه را مهیا می‌سازد (Zhang et al., 2015). فیضی اصل و همکاران (Feiziasl et al., 2010 b) نیز با مطالعه بیش از ۱۰ هزار ژنوتیپ گندم دیم در ایستگاه‌های مناطق سرد و نیمه‌سرد کشور نشان دادند که رابطه بین عملکرد دانه با ارتفاع بوته (تا ۱۲۰ سانتی‌متر) مثبت است و با افزایش ارتفاع بوته عملکرد دانه گندم دیم افزایش می‌یابد. دونمز و همکاران

(Donmez et al., 2001) و وایت و ویلسون (White & Wilson, 2006) نیز رابطه مثبت بین ارتفاع بوته با عملکرد دانه و بیولوژیک را در ژنوتیپ‌های مختلف گندم گزارش کرده‌اند. در خصوص سایر صفات، رابطه شاخص برداشت با درجه باردهی به‌دلیل اشتراک اجزای تشکیل‌دهنده این صفات مثبت و معنی‌دار بود. همچنین رابطه وزن هزار دانه و ارتفاع بوته با طول سنبله در سطح احتمال یک درصد مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۶).

ب) نتایج تجزیه GGE بای‌پلات

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها با استفاده از روش GGE بای‌پلات برای گروه‌بندی مناطق مورد مطالعه و تیمارهای PGPR نشان داد که اولاً شش منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر از لحاظ پاسخ به تیمارهای مایه تلقیح به سه گروه مجزا تفکیک شدند. گروه اول شامل مناطق گچساران و کردستان، گروه دوم شامل مناطق مراغه، زنجان و ایلام، و گروه سوم شامل منطقه کرمانشاه بود. ثانیاً در سه گروه تفکیک شده، گندم دیم به تیمارهای مشخصی پاسخ داده است، لذا بر این اساس در گروه اول تیمارهای شماره ۹ (سویه ۱۰۸) و ۱۰ (سویه ۱۲۰)، در گروه دوم تیمارهای شماره ۲ (سویه ۱۱)، ۳ (سویه ۳۶)، ۸ (سویه ۱۰۳) و ۶ (سویه ۹۳) و در گروه سوم تیمارهای شماره ۷ (سویه ۹۹)، ۴ (سویه ۴۱) و ۵ (سویه ۷۳) قرار دارند. با این حال، احتمالاً مناسب‌ترین تیمارها از بین تیمارهای مورد اشاره برای مناطق مختلف عبارتند از تیمار شماره ۹ (سویه ۱۰۸) برای مناطق کردستان و گچساران (گروه اول)، تیمار شماره ۲ (سویه ۱۱) برای مناطق زنجان، مراغه و ایلام و تیمار شماره ۵ (سویه ۷۳) مناسب‌ترین تیمار برای منطقه کرمانشاه پیش‌بینی شد (شکل ۲–ب). پژوهشگران زیادی استفاده از سویه‌های مختلف از مایه تلقیح سودوموناس‌ها را بر روی گرامینه‌های مختلف مانند گندم، جو و ذرت (*Zea mays* L.) بررسی و علت افزایش کمّی و کیفی عملکرد در آن‌ها را بهبود تولید سیدروفورها، اکسین، وضعیت رشد گیاه و قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک عنوان نموده‌اند (Cassán et al., 2014; Jarak et al., 2012; Mäder et al., 2011; Sharma et al., 2011). مطابق نتایج پژوهش حاضر، سویه‌های ۱۵، ۵، ۱۴، ۱۲، ۱۶، ۱۱ و ۱۳ در هیچ‌کدام از ایستگاه‌های تحقیقاتی موفق نبودند (شکل ۲–ب). از مزایای مهم GGE بای‌پلات در بررسی اثر متقابل دو فاکتور (مکان × سویه) اختصاص واقعی تیمارهای مناسب (سویه‌ها) به مکان‌های مورد مطالعه می‌باشد که در اغلب موارد روش میانگین‌گیری نتایج متفاوتی ارائه می‌دهد. دلیل این تفاوت در تفسیر داده‌های اثر متقابل سویه × مکان و تعیین سهم سویه‌ها و مکان‌ها می‌تواند استفاده از انحراف معیار داده‌ها به‌جای میانگین داده‌ها در این روش باشد (Yan et al., 2000).

علاوه‌بر گروه‌بندی یاد شده برای مکان‌های آزمایشی، بررسی دقیق‌تر این مناطق از طریق زاویه بین بردارهای مکانی (نوع و مقدار همبستگی) و طول این بردارها (توانایی تفکیک محیط‌ها یا نقش آن در اثر متقابل محیط × سویه) به‌خوبی امکان‌پذیر است (Yan, 2001). از چهار ایستگاه ایلام، زنجان، گچساران و کردستان که همبستگی مثبتی بین تعدادی از این ایستگاه‌ها وجود دارد، ایستگاه‌های زنجان، کردستان و گچساران به‌دلیل زاویه حاده بین بردارهای آن‌ها، وضعیت نسبتاً مشابهی را در پاسخ به سویه‌های مختلف PGPR داشتند. به‌تعبیر دیگر، این مکان‌ها سویه‌های مورد بررسی را در یک جهت تفکیک نمودند. با این تفاوت که در ایستگاه گچساران به‌دلیل طول بردار بیشتر تنوع بسیار زیادی در پاسخ به سویه‌های PGPR (سویه‌ها توانسته‌اند هرکدام تا حدودی نقش واقعی خود را آشکار نمایند) در مقایسه با کردستان و در کردستان نیز تنوع بیشتری نسبت به ایستگاه زنجان وجود داشت. بنابراین، ایستگاه زنجان به‌دلیل کوتاه‌ترین طول بردار در بین چهار ایستگاهی که همبستگی مثبتی داشتند، حداقل نقش را در اثر متقابل محیط × سویه‌های PGPR از خود نشان داد و ایستگاه گچساران بیشترین نقش را در این خصوص ایفا نمود. از نگاه دیگر، در ایستگاه گچساران و سپس در کردستان از لحاظ عملکرد دانه بین سویه‌های PGPR تنوع و تفاوت‌های زیادی که ناشی از اثر خود سویه‌های PGPR باشد، مشاهده گردید. این در حالی است که در ایستگاه زنجان سویه‌های مورد بررسی عملکردهای بسیار نزدیک به هم داشته و تنوع لازم در بین سویه‌ها از لحاظ عملکرد دانه مشاهده نشد. چنین وضعیتی در ایستگاه ایلام نیز از لحاظ تنوع بین سویه‌ها همانند ایستگاه زنجان مشهود است (شکل ۲–ج). دلیل این موضوع می‌تواند بالا بودن میزان بارندگی سالیانه در ایستگاه‌های خدابنده (زنجان) و شیروان چرداول (ایلام) باشد، زیرا در این دو ایستگاه میزان بارندگی سال زراعی ۸۹–۸۸ بیش از ۵۰۰ میلی‌متر بود (جدول ۱). از سوی دیگر، نتایج پژوهش‌های انجام گرفته بر روی تلقیح سویه‌های مختلفی از PGPR نشان می‌دهد که این سویه‌ها در شرایط تنش خشکی اثر مطلوب‌تری روی گیاه دارند و تلقیح آن‌ها باعث اثر تنش‌های زیستی و غیرزیستی روی گیاه می شود (Chakraborty et al., 2013; Niu et al., 2018).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد، اجزای عملکرد و سایر صفات گیاهی گندم دیم

Table 3- Combined analysis of variance for yield, yield components and plant other traits of dryland wheat

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares									
		عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Gain yield	عملکرد کاه Straw yield	شاخص برداشت Harvest index	درجه باردهی Degree productivity	وزن هزار دانه T.K.W	تعداد سنبله در واحد سطح No. spike.m^{-2}	تعداد دانه در سنبله No. seed.spike^{-1}	ارتفاع بوته Plant height	طول سنبله Spike length
مکان Location (L)	3	220900000**	7917832**	206078951**	0.398361**	2584.13**	0.398361**	8267389**	2586.68**	2579.85**	63.869**
خطای مکان $Error_a$	12	6201000	469771	4026543	0.002127	23.2	0.002127	15102	11.48	135.01	0.449
تیمار Treatment (T)	15	1826000*	298765**	1023202^{ns}	0.002193**	26.0**	0.002193**	7540^{ns}	29.29*	81.34**	0.52^{ns}
L×T	45	862000^{ns}	100657^{ns}	711415^{ns}	0.001747**	15.8*	0.001747**	10139^{ns}	13.25^{ns}	52.81^{ns}	0.071*
خطای اصلی $Error_b$	180	1127000	106725	728368	0.001071	11.2	0.001071	13474	17.51	39.05	1.107
C.V. (%)	-	14.4	13.9	17.0	9.8	7.7	9.8	20.6	17.9	7.1	15.0

ns، *،**: به ترتیب غیرمعنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, * and **: non-significant, significant at the 5 and 1%

جدول ٤- مقایسه میانگین عملکرد، اجزای عملکرد و سایر صفات گیاهی گندم در ایستگاه‌های مختلف دیم

Table 4- Mean effect of yield components and plant other traits of wheat under different dryland stations

مکان Location	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Gain yield	عملکرد کاه Straw yield	شاخص برداشت Harvest index	درجه باردهی Degree productivity	وزن هزار دانه T.K.W (g)	تعداد سنبله در واحد سطح No. spike.m^{-2}	تعداد دانه در سنبله No. seed.spike^{-1}	ارتفاع بوته Plant height	طول سنبله Spike length
	(kg.ha^{-1})								(cm)	
مراغه Maragheh	4991^{c*}	1980^{b}	3011^{d}	0.402^{a}	47.1^{b}	37.1^{b}	563.4^{b}	23.4^{c}	88.9^{b}	7.0^{b}
کردستان Kordestan	8327^{a}	2573^{a}	5755^{b}	0.309^{b}	41.8^{c}	40.0^{a}	977.6^{a}	16.1^{d}	79.7^{c}	6.3^{c}
کرمانشاه Kermanshah	9263^{a}	2143^{b}	7119^{a}	0.235^{c}	34.9^{d}	36.7^{bc}	377.8^{c}	26.3^{b}	94.7^{a}	7.0^{b}
ایلام Ilam	6925^{b}	2727^{a}	4198^{c}	0.394^{a}	49.1^{a}	34.6^{c}	334.6^{c}	27.8^{a}	90.9^{ab}	7.7^{a}
LSD5%	959	264	773	0.018	1.9	2.3	49.1	1.4	4.5	0.29

* در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan,s Multiple Range Test.

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد، اجزای عملکرد و سایر صفات گیاهی گندم دیم برای تیمارهای PGPR

Table 5- Mean effect of yield, yield components and plant other traits dryland wheat affected as PGPR treatments

تیمار Treatment	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Gain yield	عملکرد کاه Straw yield	شاخص برداشت Harvest index	درجه باردهی Degree productivity	وزن هزار دانه T.K.W (g)	تعداد سنبله در واحد سطح No. spike.m^{-2}	تعداد دانه در سنبله No. seed.spike^{-1}	ارتفاع بوته Plant height	طول سنبله Spike length
	(kg.ha^{-1})								(cm)	
شاهد Control	7147^{bc*}	2226^{cd}	4921^{abc}	0.323^{bcd}	41.6^{bcd}	37.3^{ab}	581.5^{a}	23.30^{abcd}	84.6^{d}	6.8^{a}
11	8126^{a}	2683^{a}	5443^{a}	0.338^{abcd}	44.6^{a}	38.1^{a}	548.7^{a}	24.96^{ab}	91.5^{a}	7.3^{a}
36	7868^{ab}	2458^{abc}	5410^{a}	0.328^{abcd}	43.2^{abcd}	36.8^{ab}	584.4^{a}	23.93^{abcd}	91.1^{ab}	7.1^{a}
41	7372^{abc}	2169^{d}	5203^{abc}	0.312^{d}	40.7^{d}	37.2^{ab}	568.8^{a}	21.26^{cd}	90.8^{abc}	7.1^{a}
73	7458^{abc}	2352^{bcd}	5106^{abc}	0.332^{abcd}	43.0^{abcd}	36.6^{ab}	578.1^{a}	23.89^{abcd}	89.3^{abcd}	6.8^{a}
93	7523^{abc}	2350^{bcd}	5173^{abc}	0.331^{abcd}	42.9^{abcd}	36.5^{ab}	565.3^{a}	21.82^{bcd}	89.3^{abcd}	6.8^{a}
99	7397^{abc}	2435^{bcd}	4962^{abc}	0.345^{ab}	44.4^{ab}	36.8^{ab}	567.8^{a}	23.19^{abcd}	89.6^{abcd}	7.0^{a}
103	7334^{abc}	2409^{bcd}	4924^{abc}	0.341^{abc}	43.9^{abc}	37.8^{ab}	591.9^{a}	24.77^{abc}	91.4^{a}	7.1^{a}
108	7589^{abc}	2561^{ab}	5028^{abc}	0.350^{a}	45.2^{a}	38.1^{a}	582.1^{a}	24.47^{abc}	90.6^{abc}	7.3^{a}
120	7469^{abc}	2385^{bcd}	5084^{abc}	0.345^{ab}	44.3^{ab}	36.1^{b}	595.9^{a}	22.46^{abcd}	85.7^{cd}	6.9^{a}
136	6963^{c}	2164^{d}	4799^{abc}	0.325^{abcd}	41.7^{bcd}	37.0^{ab}	548.0^{a}	25.59^{a}	88.8^{abcd}	6.9^{a}
159	7064^{bc}	2297^{bcd}	4767^{abc}	0.339^{abc}	43.2^{abcd}	36.7^{ab}	540.2^{a}	20.62^{d}	85.8^{cd}	6.9^{a}
168	7678^{abc}	2311^{bcd}	5367^{ab}	0.315^{cd}	41.5^{cd}	36.7^{ab}	552.8^{a}	23.60^{abcd}	87.8^{abcd}	6.9^{a}
169	6942^{c}	2281^{cd}	4661^{bc}	0.345^{ab}	43.7^{abc}	37.7^{ab}	547.4^{a}	23.48^{abcd}	86.0^{bcd}	6.8^{a}
177	7097^{bc}	2254^{cd}	4842^{abc}	0.340^{abc}	43.3^{abcd}	37.3^{ab}	542.5^{a}	22.89^{abcd}	87.8^{bcd}	7.2^{a}
187	6996^{bc}	2356^{bcd}	4640 ^{c}	0.348^{ab}	44.2^{abc}	36.8^{ab}	518.4^{a}	24.21^{abc}	86.9^{abcd}	6.9^{a}
LSD5%	741	228	595	0.023	2.3	1.4	81.2	2.9	4.4	0.74

* در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level using Duncan,s Multiple Range Test.

جدول ٦- همبستگی خصوصیات گیاهی و اجزای عملکرد در گندم دیم

Table 6- Coefficient correlations between plant traits and yield component of dryland wheat

همبستگی Correlation	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد کاه Straw yield	شاخص برداشت Harvest index	درجه باردهی Degree productivity	وزن هزاردانه TKW	تعداد سنبله در مترمربع No head per m^2	ارتفاع گیاه Plant height	طول سنبله Head height
عملکرد دانه Grain yield	0.746^{**}								
عملکرد کاه Straw yield	0.933^{**}	0.456^{ns}							
شاخص برداشت Harvest Index	-0.141^{ns}	0.514^{*}	-0.466^{ns}						
درجه باردهی Degree productivity	0.216^{ns}	0.777^{**}	-0.131^{ns}	0.936^{**}					
وزن هزاردانه TKW	0.094^{ns}	0.353^{ns}	-0.066^{ns}	0.220^{ns}	0.265^{ns}				
تعداد سنبله در مترمربع No. head per m^2	0.389^{ns}	0.195^{ns}	0.414^{ns}	-0.084^{ns}	0.047^{ns}	-0.039^{ns}			
ارتفاع گیاه Plant height	0.618^{**}	0.496^{*}	0.557^{*}	-0.080^{ns}	0.144^{ns}	0.370^{ns}	0.270^{ns}		
طول سنبله Head height	0.396^{ns}	0.499^{*}	0.258^{ns}	0.206^{ns}	0.348^{ns}	0.640^{**}	0.089^{ns}	0.648^{**}	
تعداد دانه در سنبله No. seed per head	0.171^{ns}	0.366^{ns}	0.031^{ns}	0.188^{ns}	0.258^{ns}	0.437^{ns}	0.019^{ns}	0.356^{ns}	0.269^{ns}

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد

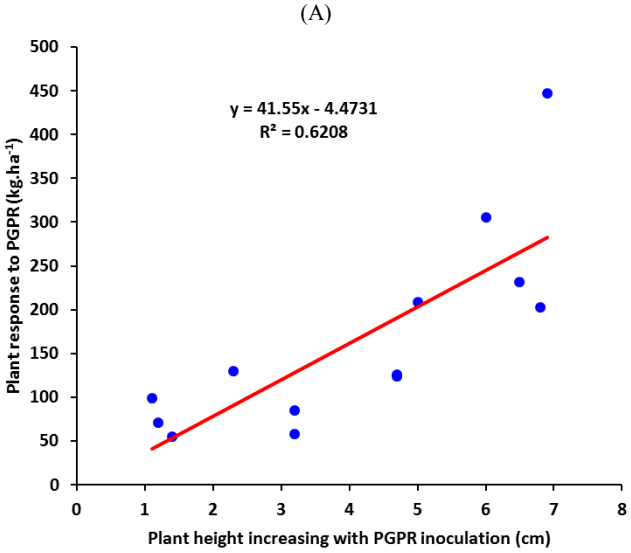
ns, * and **: non-significant, significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.

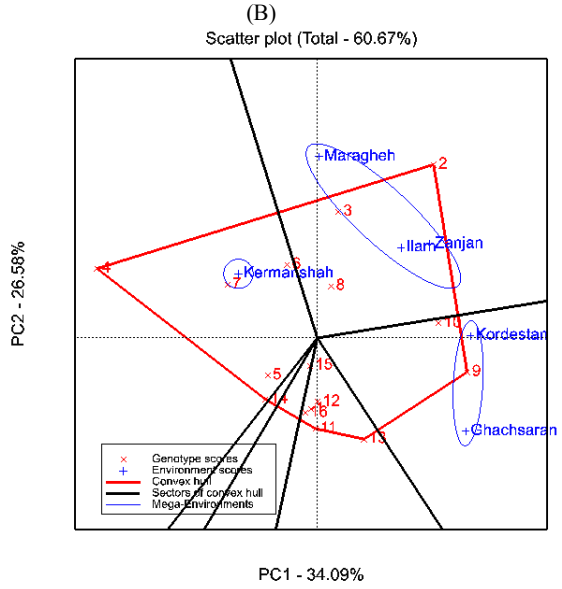
ساراواناکومار و همکاران (Saravanakumar et al., 2011) معتقدند کارایی مقاومت به تنش خشکی و کاهش اثر تنش رطوبتی بر روی ماش در جدایه *سودوموناس فلورسنس Pseudomonas fluorescens* بیشتر از سایر جدایه‌ها بود. با توجه به اینکه زاویه بین بردارهای ایستگاه‌های ایلام و کردستان نزدیک به قائمه می‌باشد، لذا تشابه ایستگاه ایلام با زنجان و همچنین ایلام با کردستان از لحاظ پاسخ به سویه‌های به‌کار رفته، بسیار کمتر از ایستگاه‌های زنجان، کردستان و گچساران است. بررسی گروه‌های مکانی اول، دوم و سوم نشان می‌دهد (شکل ۲-ب) که ایستگاه کرمانشاه نسبت به ایستگاه‌های مراغه و همچنین نسبت به ایستگاه‌های گروه دوم (گچساران، کردستان و زنجان) در پاسخ به سویه‌های مختلف PGPR کاملاً مستقل عمل نموده و تنوع زیادی همانند ایستگاه گچساران بین سویه‌های مورد بررسی در این ایستگاه نیز وجود داشته است، زیرا که زاویه تقریبی گروه‌های مکانی یادشده قائمه می‌باشد و این مستقل بودن ایستگاه کرمانشاه را از دو گروه دیگر نشان می‌دهد. این در حالی است که ایستگاه مراغه در این خصوص دقیقاً مخالف با ایستگاه‌های گروه دوم عمل نموده و تنوع بیشتری در پاسخ به سویه‌های مورد بررسی نسبت به دو ایستگاه ایلام و زنجان داشته است (شکل ۲-ج). نتایج پژوهش‌های انجام گرفته در خصوص گروه‌بندی ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم از لحاظ پاسخ گندم با استفاده از روش GGE بای‌پلات نشان می‌دهد که این روش برای ژنوتیپ‌ها اغلب مناطق را بر اساس سرد، معتدل و گرم گروه‌بندی می‌نماید. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2014) با روش GGE بای‌پلات بیان داشتند، ایستگاه مراغه (سرد) و ایلام (نیمه‌گرم) کاملاً در دو گروه متفاوتی قرار گرفتند و ایستگاه کرمانشاه (معتدل) نیز بسته به سال زراعی در گروه‌های مختلفی قرار می‌گیرد. همچنین محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2013) با این روش نشان دادند که محیط‌های سرد (مراغه و خراسان شمالی) نسبت به محیط‌های گرم (ایلام) در رتبه‌بندی و تعیین سازگاری ژنوتیپ‌ها کاملاً متفاوت بودند. مقایسه نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر با نتایج این پژوهشگران در خصوص گروه‌بندی محیط‌ها نشان می‌دهد که گروه‌بندی مکان‌های آزمایشی برای ژنوتیپ‌ها کاملاً متفاوت از سویه‌های PGPR می‌باشد. به‌نحوی که کاربرد سویه‌ها در پژوهش حاضر باعث می‌شود که ایستگاه گرمسیری گچساران هم‌گروه با ایستگاه‌های مناطق سرد مانند کردستان و زنجان و همچنین ایستگاه معتدل کرمانشاه به‌صورت مستقل قرار گیرد. چنین تغییری در چیدمان ایستگاه‌های سرد و گرم همانند نتایج حاصل از پژوهش حاضر با اعمال فاکتور آبیاری تکمیلی روی ژنوتیپ‌ها مشاهده گردیده است که می‌تواند اثر میزان آب و بارندگی را در این تغییرات اثبات نماید (Mohammadi et al., 2011).

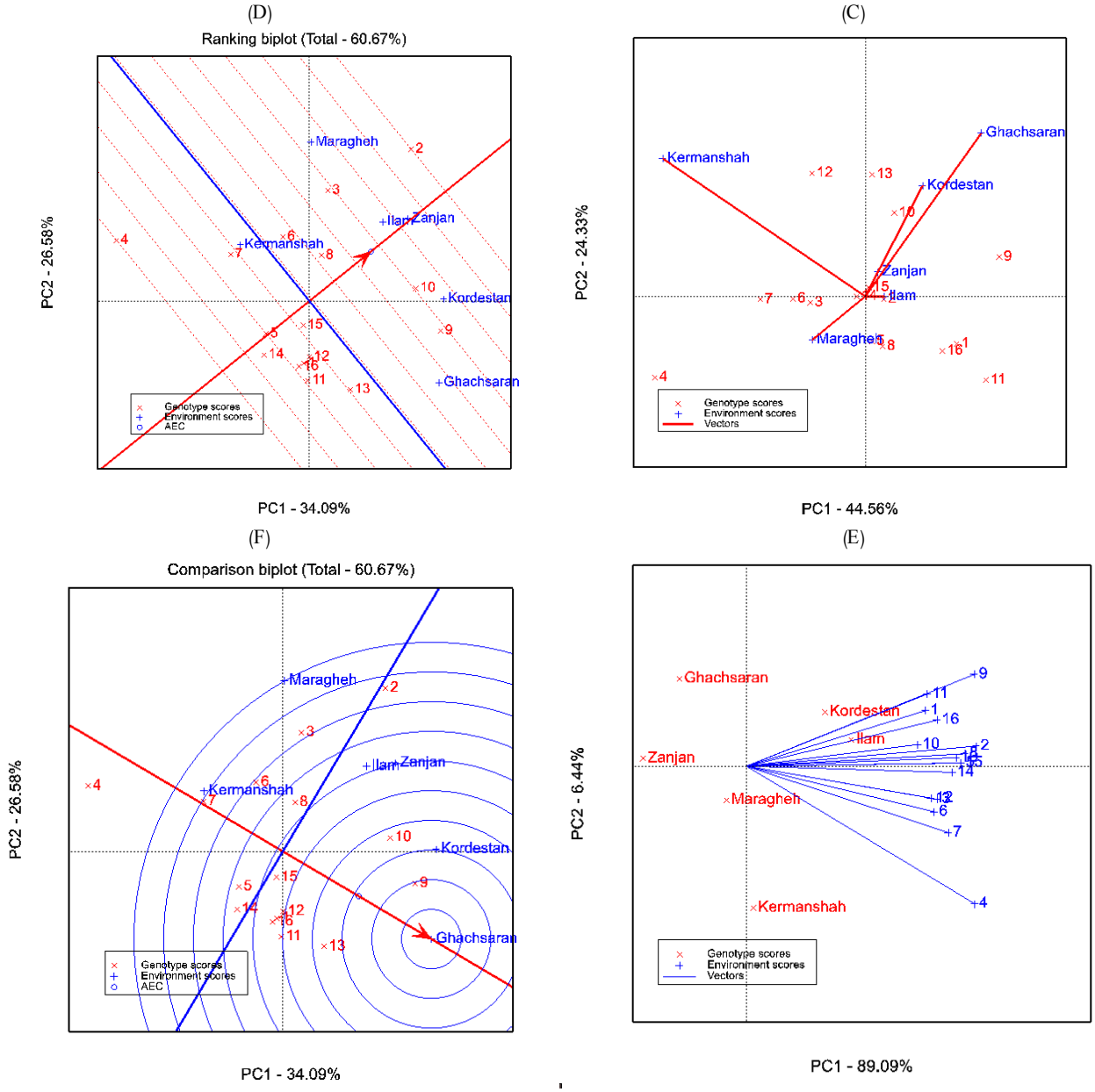
روش بای‌پلات تیمارهای آزمایشی را ابتدا با استفاده از خط میانگین عملکرد (خط آبی)، به دو گروه دارای عملکرد بالا (سمت راست خط آبی) و پائین (سمت چپ خط آبی) تقسیم نمود (شکل ۲-د). بر این اساس تیمارهای شماره ۲ (سویه ۱۱)، ۳ (سویه ۳۶)، ۶ (سویه ۹۳)، ۸ (سویه ۱۰۳)، ۹ (سویه ۱۰۸) و ۱۰ (سویه ۱۲۰) دارای عملکرد بالاتر از میانگین و تیمارهای شماره ۱ (بدون تلقیح)، ۴ (سویه ۴۱)، ۵ (سویه ۷۳)، ۷ (سویه ۹۹)، ۱۱ (سویه ۱۳۶)، ۱۲ (سویه ۱۵۹)، ۱۳ (سویه ۱۶۸)، ۱۴ (سویه ۱۶۹)، ۱۵ (سویه ۱۷۷) و ۱۶ (سویه ۱۸۷) دارای عملکرد پائین‌تر از میانگین گروه‌بندی شدند. در بین تیمارهای دارای عملکرد بالا، تیمار شماره ۲ (سویه ۱۱) بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. تیمارهای شماره ۳ (سویه ۳۶)، ۱۰ (سویه ۱۲۰) و ۹ (سویه ۱۰۸) در رتبه دوم و تیمارهای شماره ۶ (سویه ۹۳) و ۸ (سویه ۱۰۳) در رتبه سوم از لحاظ تولید عملکرد دانه قرار گرفتند. همچنین تیمارهای رتبه اول و دوم دارای عملکرد مطلوب‌تر از شرایط ایده‌آل آزمایش (نوک پیکان خط قرمز) بودند. از سوی دیگر، در بین تیمارهای دارای عملکرد بالا تیمارهای شماره ۸ (سویه ۱۰۳)، ۶ (سویه ۹۳) و ۲ (سویه ۱۱) بیشترین پایداری را در بین تیمارهای مورد مطالعه داشتند، بدین معنی که تیمار شماره ۲ (سویه ۱۱) در مکان‌های مورد مطالعه کمترین تغییرپذیری و تیمار شماره ۹ (سویه ۱۰۸) بیشترین تغییرپذیری را از لحاظ عملکرد دانه داشت (شکل ۲-د). شاید بتوان گفت یکی از معایب اصلی مطالعات PGPR به‌ویژه در شرایط مزرعه‌ای، نامشخص بودن مؤثرترین تعداد و جمعیت باکتری بر رشد یک گیاه خاص است. بر همین اساس در مطالعات مشابه تعداد زیادی سویه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا از بین آن‌ها یک و یا چند سویه مؤثر قابل شناسایی باشد. بنابراین، در چنین پژوهش‌هایی یافتن سویه‌های مؤثر از بین تعداد زیادی جدایه، یکی از اهداف و دغدغه‌های مهم میکروبیولوژیست‌های خاک است (Khosravi, 2013).

بررسی ارتباط بین تیمارهای PGPR نشان داد که اولاً زاویه بین تمامی سویه‌ها از نوع بسته (حاده) می‌باشد و همبستگی مثبتی بین آن‌ها وجود دارد. بر این اساس، تیمارهای شماره ۲، ۳، ۵، ۸، ۱۴ و ۱۵ دارای همبستگی بالایی با یکدیگر بوده و تیمارهای شماره ۴ (سویه ۴۱) و ۹ (سویه ۱۰۸) کمترین همبستگی را از لحاظ تولید عملکرد دانه داشتند. مطابق این نتایج، تیمارهای شماره ۹، ۱۱، ۱ و ۱۶ همبستگی بالا با یکدیگر و تیمارهای شماره ۱۲، ۱۳، ۶ و ۷ نیز همبستگی بالایی با هم دارند. برخلاف همبستگی‌های نزدیکی که بین تیمارهای آزمایشی مشاهده شد، این همبستگی برای مکان‌های آزمایشی از پراکنش بیشتری برخوردار بود و لذا محیط‌های آزمایشی دارای تنوع بیشتری در مقایسه با تیمارهای PGPR بودند (شکل ۲-ه). این موضوع نشان می‌دهد که در انتخاب سویه‌های مورد نظر برای شرایط دیم، با توجه به گستردگی خصوصیات اقلیمی این مناطق، باید دامنه گسترده‌ای از سویه‌ها از شرایط تنش‌های محیطی انتخاب و مورد ارزیابی قرار گیرد و سپس مؤثرترین آن‌ها وارد آزمایش‌های مشابه شود. از سوی دیگر، سویه‌های انتخابی از شرایط آبی مطمئناً شرایط مناسبی در آزمایش‌های دیم و تنش رطوبتی و حرارتی آخر فصل نخواهند داشت.

در روش GGE بای‌پلات علاوه‌بر انتخاب مایه تلقیح‌های مناسب برای هر منطقه، می‌توان ایده‌آل‌ترین مایه تلقیح را برای کل مناطق مورد مطالعه نیز انتخاب و توصیه نمود. مایه تلقیح ایده‌آل باید دارای مشخصات بیشترین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه و پایدار نسبت به شرایط محیطی باشد. چنین تیماری دارای بیشترین طول بر روی بردار میانگین تیمارها (محور قرمز رنگ دارای فلش) با عملکرد بالا و دارای حداقل نقش در پدیده اثر متقابل تیمار در محیط می‌باشد (Yan, 2002). اگرچه وجود چنین تیمار ایده‌آلی غیرمحتمل می‌باشد (دایره کوچک بر روی محور میانگین عملکرد)، امّا می‌توان از این تیمار به‌عنوان رفرنسی برای ارزیابی سایر تیمارهای مورد بررسی استفاده نمود و نزدیک به شرایط تیمار ایده‌ال را که در اغلب محیط‌های آزمایشی وضعیت مطلوبی را داشته‌اند، شناسایی و احتمالاً معرفی نمود. بر این اساس مایه تلقیح شماره ۹ (سویه ۱۰۸) از جمله تیمارهای نزدیک به تیمار ایده‌ال می‌باشد که برای تمامی محیط‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر می‌توان استفاده نمود. پس از مایه تلقیح شماره ۹، تیمارهای شماره ۱۳ و ۱۰ رتبه دوم نزدیک به شرایط ایده‌ال قرار دارند (شکل ۲-و). لازم به ذکر است که این گروه‌بندی، گروه‌بندی‌های قبلی را در خصوص شناسایی مایه‌های تلقیح مناسب برای مکان‌های آزمایشی خاص نفی نمی‌کند، زیرا که در این گروه‌بندی احتمال این که پژوهشگر به‌دلیل مشکلات کاربردی نتواند برای هر منطقه‌ای مایه تلقیح مناسب را توصیه نماید (به‌عنوان مثال مشکلات تجاری‌سازی مایه‌های تلقیح)، لذا مجبور خواهد بود یک و یا دو مایه تلقیح و یا ترکیبی از آن‌ها را از بین تمامی تیمارها انتخاب و جهت توصیه در مناطق مورد مطالعه تجاری‌سازی نماید.







شکل ۲- رابطه بین میزان افزایش ارتفاع بوته و افزایش عملکرد دانه گندم دیم (A)، توصیه برای مکان‌های آزمایشی (B)، همبستگی بین مکانی (C)، گروه‌بندی توان تولیدی سویه‌ها (D)، همبستگی بین مایه‌های تلقیح (E) و شناسایی سویه ایده‌آل برای مناطق مختلف (F)

Fig. 2- Relationship between amount of plant height increasing and plant response of dryland wheat (A), graphical display of PGPRs in 6 dryland environments (B), correlation between environments (C) evolution of PGPRs based on both yield and stability performance in environments (D), correlation between PGPRs (E) and evaluates of PGPRs relative to an ideal PGPR (F)

نتیجه‌گیری

اختلاف عملکرد دانه بین ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیـم، بیشتر وابسته به میزان اختلاف بارندگی سالیانه آن‌ها بود. تلقیح بـذر گندم دیم با جدایه‌های PGPR باعث افزایش عملکرد دانه گندم دیم در تمامی ایستگاه ها شد. تعداد ۱۳ جدایه از ۱۵ جدایه مورد بررسـی، عملکرد دانه بیشتری نسبت به شاهد (بدون تلقـیح) داشـتند. از بـین

صفات گیاهی، ارتفاع گیاه بیشتر از سایر صفات عملکرد دانه را توجیه نمود و سویه‌های موفق باعث افزایش ارتفاع گیاه و به دنبال آن افزایش عملکرد دانه شدند. ایستگاه‌های گچساران، کرمانشاه و کردستان به‌ترتیب بیشترین تفکیک پاسخ گیاه به سویه‌های PGPR را داشتند. تیمار شماره ۹ (سویه ۱۰۸) برای مناطق کردستان و گچساران (گروه اول)، تیمار شماره ۲ (سویه ۱۱) برای مناطق زنجان، مراغه و ایلام و تیمار شماره ۵ (سویه ۷۳) برای منطقه کرمانشاه مناسب‌ترین شناخته شد. مایه تلقیح شماره ۹ (سویه ۱۰۸) از جمله تیمارهای نزدیک به تیمار ایده‌ال بود که بیشترین مقدار شاخص برداشت را تولید نمود و در تمامی مناطق مورد بررسی وضعیت مطلوبی داشت.

References

Barbieri, P., and Galli, E., 1993. Effect on wheat root development of inoculation with an *Azospirillum brasilence* mutant with altered indole-3-acetic acid production. Research Microbiology 144: 69-75.

Barneix, A.J., Saubidet, M.I., Fatta, N., and Kade, M., 2005. Effect of *rhizobacteria* on growth and grain protein in wheat. Agronomy for Sustainable Development 25: 505–511.

Çakmakç R., Turan, M., Güllüce, M., and Şahin, F., 2014. Rhizobacteria for reduced fertilizer inputs in wheat (*Triticum aestivum* spp. vulgare) and barley (*Hordeum vulgare*) on Aridisols in Turkey. International Journal of Plant Production 8(2): 163-181.

Çakmakçı, R., Erat, M., Erdoğan, Ü., and Dönmez, F., 2007. The influence of plant growth promoting *rhizobacteria* on growth and enzyme activities in wheat and spinach plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 170: 288-295.

Cassán, F., Vanderleyden, J., and Spaepen, S., 2014. Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) belonging to the genus *Azospirillum*. Journal of Plant Growth Regulation 33(2): 440-459.

Chakraborty, U., Chakraborty, B.N., Chakraborty, A.P., and Dey, P.L., 2013. Water stress amelioration and plant growth promotion in wheat plants by osmotic stress tolerant bacteria. World Journal of Microbiology and Biotechnology 29(5): 789-803.

Donmez, E., Sears, R.G., Shroyer, J.P., and Paulsen, G.M., 2001. Genetic gain in yield attributes of winter wheat in the Great Plains. Crop Science 41: 1412–1419.

Duffy, B.K., and Deeago, G., 1999. Environmental factors modulating antibiotic and siderophore biosynthesis by *Pseudomonas* biocontrol strain. Applied and Environmental Microbiology 65: 2429-2438.

Elliott, L.F., and Lynch, J.M., 1985. Plant growth-inhibitory pseudomonads colonizing winter wheat (*Triticum aestivum* L.) roots. Plant and Soil 64: 51-65.

Fallahi, H., Rezvani Moghaddam, P., Amiri, M., Aghhavani-Shajari, M., and Yazdani-Biuki, R., 2015. The study of nutritional management of mother plant and seed priming by biofertilizers on improve salinity tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Sayonz at germination period. Journal of Agroecology 6(4): 689-700. (In Persian with English Summary)

Farina, A., Nakhjavan, S., Khodaei, F., and Shahverdi, M., 2014. Effect of plant density on physiological characteristics of growth and yield of varieties of dry farming wheat in Lorestan province. New Finding in Agriculture 8(4): 291-302. (In Persian with English Summary)

Feiziasl, V., and Pourmohammad, A., 2014. Effects of nitrogen rates and Application time on agronomic efficiency of nitrogen and seed yield of dryland's wheat genotypes. Iranian Journal of Water and Soil Science 24(3): 93104. (In Persian with English Summary)

Feiziasl, V., Fotovat, A., Astarae, A.R., Lakzian, A., and Mousavi, S.B., 2014. Effect of optimized nitrogen application in reducing drought stress effect on grain yield of some rainfed bread wheat genotypes. Iranian Journal of Seed and Plant Production 30(2): 169-198. (In Persian with English Summary)

Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Abdolrahmani, B., Mosavi, S.B., and Karimi, E., 2010 a. Studies on the effects of climatic factors on dryland wheat grain yield in Maragheh region. Iranian Journal of Field Crops Research 8(1): 121. (In Persian with English Summary)

Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Amri, A., Ansari, Y., Mousavi, S.B., and Ahmadpour Chenar, M., 2010 b. Analysis of yield stability of wheat genotypes using new Crop Properties Balance Index (CPBI) method. Notulae Botanicae Horti

Agrobotanici Cluj-Napoca 38(1): 223-228.

Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Pala M., and Mosavi, S.B., 2009. Determination of micronutrient critical levels by plant response column order procedure for dryland wheat (*T. aestivum*. L.) in Northwest of Iran. International Journal of Soil Science 4(1): 14-19.

Feiziasl, V., Kasraei, R., Moghaddam, M., and Valizadeh, G.R., 2004. Investigation on uptake limitation and nutrient deficiency diagnosis at applied phosphorus and zinc fertilizers by different methods in Sardari wheat. Iranian Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11: 23-33. (In Persian with English Summary)

Ghobadi, M., Kashani, A., Mamghani, S.A., and EghbalGhobadi, M., 2007. Studying tillering trend and its relationship with grain yield in wheat under different plant densities. Journal of Agricultural Sciences 3: 23-36.

Jarak, M., Mrkovački, N., Bjelić, D., Jošić, D., Hajnal-Jafari, T., and Stamenov, D., 2012. Effects of plant growth promoting *rhizobacteria* on maize in greenhouse and field trial. African Journal of Microbiology Research 6(27): 5683-5690.

Jarak, M., Protio R., Jankovio, S., and Colo, J., 2006. Response of wheat to *Azotobacter Actinomycet* inoculation and nitrogen fertilizers. Romanian Agriculture Research Number 23.

Khalid, A., Arshad, M., and Zahir, Z.A., 2004. Screening plant growth promoting *Rhizobacteria* for improving growth and yield of wheat. Journal of Applied Microbiology 96: 473–480.

Khosravi., H., 2013. Biofertilizers containing plant growth promoting rhizobacteria: Strengths and weaknesses. Journals Management system 1(1): 33-46.

Kumar, A., Maurya, B.R., and Raghuwanshi, R., 2014. Isolation and characterization of PGPR and their effect on growth, yield and nutrient content in wheat (*Triticum aestivum* L.). Biocatal. Agricultural Biotechnology 3: 121–128.

Kumar, S., Mittal, R.K., Gupta, D., and Katna, G., 2005. Correlation among some morpho-physiological characters associated with drought tolerance in wheat. Annals of Agri-bio Research 10: 129-134.

Lucy, M., Reed, E., and Glick, B.R., 2004. Application of free living plant growth- promoting *rhizobacteria*. Antonie Van Leeuwenhoek 86: 1-25.

Mäder, P., Kaiser, F., Adholeya, A., Singh, R., Uppal, S.H., Sharma, A.K., Srivastava, R., Sahai, V., Aragno, M., Wiemken, A., Johri, B.N., and Fried, P.M., 2011. Inoculation of root microorganisms for sustainable wheat–rice and wheat–black gram rotations in India. Soil Biology and Biochemistry 43: 609-619.

Majeed, A., Abbasi, M.K., Hameed, S., Imran, A., and Rahim, N., 2015. Isolation and characterization of plant growth promoting rhizobacteria from wheat rhizosphere and their effect on plant growth promotion. Original Research 6: 1-10.

Malakouti, M.J., and Gheybi, M.N., 1997. Determination of nutrient critical levels in strategic crops and correct fertilizer recommendation in Iran. Agricultural Education Publication, Iran Tehran, pp. 56. (In Persian)

Marschner, H., and Römheld, V., 1994. Strategies of plants for acquisition of iron. Plant and Soil 165(2): 261-274.

Ministry of Agriculture Jihad. 2015. Agricultural statistics, crop year 2013-2014. Volume one, crops (In Persian)

Mohammadi, R., Armion, M., Zadhassan, E., and Eskandari, M., 2014. Analysis of genotype × environment interaction for grain yield in rainfed durum wheat. Iranian Dryland Agronomy Journal 2(2): 114. (In Persian with English Summary)

Mohammadi, R., Armiyoun, M., Zade-Hassan, I., Ahmadi, M.M., and Sadeghzadeh, D., 2013. Genotype × environment interaction for grain yield of rainfed durum wheat using the GGE biplot model. Seed and Plant Improvement Journal 28-1(3): 504-518. (In Persian with English Summary)

Mohammadi, R., Sadeghzadeh, D., Armion, M., and Ahmadi, M.M., 2011. Analysis of stability and adaptability of grain yield in durum wheat genotypes. Pajouhesh and Sazandegi (Agronomy) 91: 70-78. (In Persian with English Summary)

Nazarly, H., and Seyed Sharifi, R., 2013. Study of qualitative and quantitative yield and some agronomic characteristics of sunflower (*Helianthus annus* L.) in response of seed inoculation with PGPR in various levels of nitrogen fertilizer. Journal of Agroecology 5(3): 308-317. (In Persian with English Summary)

Niu, X., Song, L., Xiao, Y., and Ge, W., 2018. Drought-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria associated with foxtail millet in a semi-arid agroecosystem and their potential in alleviating drought stress. Front Microbiol 8: 2580.

Reynolds, M., Skovmand, B., Trethowan, R., and Pfeiffer, W., 2004. Evaluating conceptual model for drought tolerance. CIMMYT, Mexico.

Rosas, B.S., Avanzini, G., Carlier, E., Pasluosta, C., Pastor, N., and Rovera, M., 2009. Root colonization and growth promotion of wheat and maize by Pseudomonas aurantiaca SR1. Soil Biology and Biochemistry 41: 1802-1806.

Saber, Z., Pirdashti, H., and Esmaeili, M., 2012. Response of wheat growth parameters to co-inoculation of plant growth promoting *rhizobacteria* (PGPR) and different levels of inorganic nitrogen and phosphorus. World Applied Science Journal 16(2): 213-219.

Sahin, F., Çakmakçi, R., and Kantar, F., 2004. Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N_2-fixing and phosphate solubilizing bacteria. Plant and Soil 265: 123-129.

Saravanakumar, D., Kavino, M., Raguchander, T., Subbian, P., and Samiyappan, R., 2011. Plant growth promoting bacteria enhance water stress resistance in green gram plants. Acta Physiologiae Plantarum 33:203–209.

Seyedlar, S.M, Habibi, D., Sani, B., and Hasanpor, H., 2014. Improving wheat yield and quality through an integrated nutrient management system. International Journal of Biosciences 5(1): 273-281.

Shaharoona, B., Naveed, M., Arshad, M., and Zahir, Z.A., 2008. Fertilizer-dependent efficiency of *Pseudomonads* for improving growth, yield, and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). Applied and Environmental Microbiology 79: 147‑155.

Sharma, S.K., Johri, B.N., Ramesh, A., Joshi, O.P., and Prasad, S.V.S., 2011. Selection of plant growth-promoting *Pseudomonas* spp. that enhanced productivity of soybean-wheat cropping system in central India. Journal of Microbiology and Biotechnology 21: 1127–1142.

Slafer, A.G., and Satorre, E.H., 1999. An introduction to physiological- ecological analysis of wheat yield. Pp. 3-12 In: E.H. Satorre and G.A. Slafer (Eds.) Wheat ecology and physiology of yield determination. Food Product Press, New York. p. 3-12.

Talliee, A.A., and Bahramy, N., 2003. The effects of rainfall and temperature on the yield of dryland wheat in Kermanshah province. Journal of Water Research in Agriculture (Journal of Soil and Water Sciences) 17: 106-113. (In Persian with English Summary)

Tatari, M., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2009. Dryland wheat yield prediction using precipitation and edaphic data by applying of regression models. Iranian Journal of Field Crop Research 7(2): 357-365. (In Persian with English Summary)

Tavakoli, A.R., Liaghat, A., and Alizadeh, A., 2013. Influence of topography and latitude on rain water productivity and rainfed barley yield. Iranian Dryland Agronomy Journal 2(1): 85-99. (In Persian with English Summary)

Turan, M., Gulluce, M., Cakmakci, R., Oztas, T., and Sahin, F., 2010. The effect of PGPR strain on wheat yield and quality parameters. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, pp. 140-143.

Vlassak, K., Holm, L.V., Duchateau, L., Vanderleyden, J., and De Mot, R., 1992. Isolation and characterization of fluorescent Pseudomonas associated with the roots of rice and banana growth in Sri Lanka. Plant and Soil 145: 51-63.

White, E.M., and Wilson, F.E.A., 2006. Responses of grain yield, biomass and harvest index and their rates of genetic progress to nitrogen availability in ten winter wheat varieties. Irish Journal of Agricultural and Food Research 45: 85–101.

Yan, W., 2001. GGE biplot–A windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. Agronomy Journal 93: 1111–1118.

Yan, W., 2002. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data. Agronomy Journal 94: 990–996.

Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., and Szlavnics, Z., 2000. Genotype evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science 40: 597–605.

Yousefpoor, Z., Yadavi, A., Balouchi, H., and Farajee, H., 2014. Evaluation of some physiological, morphological and phonological characteristics in sunflower (*Helianthus annuus* L.) influenced by biological and chemical sources of nitrogen and phosphorus. Journal of Agroecology 6(3): 508-519. (In Persian with English Summary)

Zhang, J.J., Chen, W., Dell, B., Vergauwen, R., Zhang, X.M., Mayer, J.E., and Van den Ende, W., 2015. Wheat genotypic variation in dynamic fluxes of WSC components in different stem segments under drought during grain filling. Frontiers in Plant Science 6(624): 624.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 447-467

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۴۶۷-۴۴۷

Yield Enhancement by Application of Plant Growth Promoting Rhizobacterial (PGPR) Inoculants in Dryland Wheat (*Triticum aestivum* L.)

K. Khavazi[1], V. Feiziasl[2*], M.H. Sedri[3], A. Taliee[4], J. Ghohargani[5], M. Ismaili[6] and R. Solaimani[7]

Submitted: 27-10-2017
Accepted: 24-06-2019

Khavazi, K., Feiziasl, V., Sedri, M.H., Taliee, A., Ghohargani, J., Ismaili, M., and Solaimani, R., 2020. Yield enhancement by application of plant growth promoting rhizobacterial (PGPR) inoculants in dryland wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agroecology 12(3):447-467.

Introduction

The explosion of world population in recent decades has caused excessive application of chemical fertilizers in agricultural systems; resulting in critical environmental and health issues. Integrated Nutrient Management (INM) method or biofertilizers are considered as logical strategies to reduce the rate of chemical fertilizers. . Biofertilizers consist of various types of microorganisms in soil which are in close relation with plant roots and are called Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR). Several mechanisms have been postulated to explain how PGPR benefit the host plant, which could be classified into four categories a) The ability to produce plant growth regulators or phytohormones such as indole acetic acid (IAA), cytokines, and gibberellins; b) Enhancing a symbiotic N_2 fixation; c) Solubilizing inorganic phosphate and mineralization of organic phosphate and/or other nutrients; d) Antagonistic effect against phytopathogenic microorganisms by production of siderophores, the synthesis of antibiotics, enzymes, and/or fungicidal compounds, and competition with detrimental microorganisms. Therefore, PGPR are commonly used as inoculants for improving the growth and yield of agricultural crops, however screening for the selection of effective PGPR strains is very critical. This study focuses on the screening of effective PGPR strains on the basis of their potential for plant growth promoting activity under water stress conditions in Iran's cold temperate and warm dryland areas.

Materials and Methods

Experiments were carried out in randomized complete block design (RCBD) with four replications in 2009-2010 cropping year. Treatment included fifteen PGPRs with a control (without inoculation) in six dryland agricultural research stations; including Maragheh, Ghamloo (Kurdistan), Sararood (Kermanshah), Gachsaran, Khodabandeh (Zanjan), Shirvan Chardavol (Ilam). Soil samples collected from 0-25 cm depths before planting time and was characterized through determination of soil available P, K, Fe, Mn, Zn and Cu, soil texture, organic carbon, pH, EC and calcium carbonates equivalent. Dryland wheat Azar2 cultivar was cultivated with 350 seed per m^2 in 5 to 7 cm soil depth. Moreover,plant traits such as grain, straw and biological yields, TKW (1000-

1- Professor, Soil and Water Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
2- Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran.
3- Assistant Professor, Research Center for Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kurdistan, Iran.
4- Research member, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran.
5- Assistant Professor, Research Center for Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), kohgiluyeh and boyer-ahmad, Iran.
6- Scientific member, Research Center for Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran.
7- Assistant Professor, Research Center for Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ilam, Iran.
(*- Corresponding Author Email: Vfeiziasl@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.68276

kernel weight), number of spikes per m^2, number of seed per spike, harvest index (HI), plant height and spike length, were measured. All research data was analyzed via GenStat14 statistical software.

Results and Discussion

The results showed that, the plant growth promoting bacteria (PGPR) had increased the grain yield of dryland wheat in the Maragheh, Kermanshah, Kurdistan, Ilam, Zanjan and Gachsaran regions. This increase in most experimental dryland stations has been significant statistically. The maximum grain yield increase in Maragheh, Kermanshah, Kurdistan, Ilam, Zanjan and Gachsaran were in the order amount of 19.6 (treatment no. 2), 45.1 (treatments no's 4 and 12), 12.4 (treatment no 8), 18.4 (treatment no 11) 10.2 (treatment no. 11) and 11.6 (treatment no. 11) $kg.ha^{-1}$, which was 382 $kg.ha^{-1}$ for the best average plant growth promoting bacteria in all the study regions. With the use of GGE biplot method, the inoculating treatments of plant growth promoting bacteria had 2 groups, including the high yielding groups with treatments (2, 3, 6, 8, 9 and 10), and low yielding treatments (1, 4, 5, 7, 11, 12. 13, 14, 15 and 16).The study locations were separated in 3 groups, first group including; Gachsaran and Kurdistan regions, second group including; Maragheh, zanjan and Ilam regions, and the third group including; Kermanshah region. The suitable treatments were the treatment numbers 9 and 10 for the first group, treatment numbers 2, 3, 8 and 6 for the second group and treatment numbers 7, 4 and 5 for the third group. Among the mentioned treatments, the most suitable treatments for first, second and third groups are treatment number 9, treatment number 2 and number 5, respectively.. According to these results, if the first aim is introducing the growth promoting bacteria for all the regions, this strain is the inoculating bacteria number 9. In the second order, the treatment numbers 13 and 10had the closest conditions to the estimated ideal treatment.

Conclusion

Therefore, for the plant growth promoting bacteria, we can use them in reducing the effects of environmental stresses, and conducting non-environmental stresses on dryland conditions, as well as increasing in grain yield of dryland wheat.

Keywords: GGE Biplot, Seed inoculation, Yield improvement.