

تأثیر منابع مختلف کود نیتروژن و بقایای گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط تنش آبی انتهایی فصل

مریم نیازی اردکانی¹، وحید براتی^{2*}، احسان بیژن‌زاده³ و علی بهپوری²

تاریخ دریافت: 1398/01/20

تاریخ پذیرش: 1398/04/10

نیازی اردکانی، م.، براتی، و.، بیژن‌زاده، ا. و بهپوری، ع. 1399. تأثیر منابع مختلف کود نیتروژن و بقایای گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط تنش آبی انتهایی فصل. بوم‌شناسی کشاورزی، 12 (1): 107-126.

چکیده

به منظور ارزیابی تأثیر منابع مختلف نیتروژن و بقایای گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط تنش آبی آخر فصل، آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب - دانشگاه شیراز در سال زراعی 97-1396 انجام شد. تیمارها شامل دو سطح آبیاری [1- مطلوب: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و 2- تنش آبی: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا انتهای مرحله گل‌دهی (قطع آبیاری پس از مرحله گل‌دهی)] به‌عنوان کرت‌های اصلی و دو سطح بقایای گیاهی [1- حذف بقایا و 2- برگرداندن 30 درصد بقایای گندم به خاک] و چهار سطح کود [1- صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار (شاهد)، 2- کاربرد 100 کیلوگرم نیتروژن در هکتار، 3- استفاده تلفیقی از باکتری آزوسپیریلوم (*Azospirillum brasilense*) و 50 کیلوگرم نیتروژن در هکتار و 4- تلقیح بذرها با باکتری آزوسپیریلوم] که به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که قطع آبیاری پس از گل‌دهی، تنش آبی شدیدی را در مرحله‌ی پر شدن دانه بر گیاه جو وارد کرد و وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد پنجه بارور در مترمربع را کاهش داد. برهم‌کنش تیمار آبیاری و منبع کود نیتروژن بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری مطلوب و استفاده تلفیقی از کود نیتروژن و باکتری (4049 کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. اثر برهم‌کنش آبیاری × منبع کود نیتروژن نشان داد که تنش آبی عملکرد دانه را در همه سطوح کودی نسبت به آبیاری مطلوب کاهش داد. اما، این کاهش در تیمارهای مختلف کود نیتروژن متفاوت بود (46/8، 24/1، 44/3 و 22/1 درصد، به ترتیب در تیمارهای شاهد، نیتروژن خالص، تلفیقی و زیستی). با توجه به این که کمترین مقدار کاهش عملکرد دانه به واسطه تنش آبی در شرایط استفاده از کود زیستی و سپس در شاهد رخ داد، می‌توان این تیمارهای کودی را برای استفاده در شرایط قطع آبیاری پس از گل‌دهی توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: باکتری آزوسپیریلوم، تلقیح، شاخص برداشت، عملکرد زیست‌توده

مقدمه

(et al., 2017). از طرفی فراهم نمودن غذای کافی و البته باکیفیت از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی جهان امروز به‌شمار می‌رود؛ بنابراین، کاهش استفاده از نهاده‌های شیمیایی به‌عنوان یک ضرورت در کشاورزی امروز جهان مطرح است (Anderson & Russell, 1964; Sharma, 2003). کشاورزی زیستی یک نظام تلفیقی کشاورزی بر پایه اصول بوم‌شناسی است که با روش‌های مختلف در کاهش استفاده از نهاده‌های شیمیایی سهم داشته و با کمک چرخه عناصر غذایی، حاصلخیزی خاک را بهبود می‌بخشد (Wallace et al.,

استفاده نامناسب از نهاده‌های شیمیایی سبب بروز آسیب به موجودات سودمند خاک، تحلیل منابع غیرقابل تجدید، به خطر انداختن کیفیت آب و خاک و سلامت مصرف‌کنندگان شده است (Wallace

1، 2 و 3- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیاران و دانشیار بخش اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، ایران.
* - نویسنده مسئول: (Email: v.barati@shirazu.ac.ir
Doi:10.22067/jag.v12i1.79989

(2017).

دسترس‌ی به عملکرد مطلوب و کاهش مخاطرات زیست‌محیطی نیازمند راهکارهای نوین کشاورزی است که تلقیح با کودهای زیستی یکی از آنها است (Hedge et al., 1999). در سال‌های اخیر، کود-های زیستی در جهت تأمین ماده آلی خاک و عناصر غذایی گیاهان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین راهبردهای تغذیه‌ای برای نیل به اهداف کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گرفته است (Kumer & Goh, 2005; Wu et al., 1999). در منابع مختلف تعاریف متعددی از جمله کود سبز، کود حیوانی، عصاره گیاهی برای کود زیستی بیان شده است (Rahimzadeh et al., 2011). اما، برخی از پژوهشگران (Sharma, 2003) کودهای زیستی را شامل یک یا چند گونه از ریزجانداران خاک‌زی می‌دانند که در بستری از مواد نگهدارنده قرار می‌گیرند و به‌عنوان حاصلخیزکننده خاک به کار می‌روند.

باکتری *Azospirillum brasilense* از مهم‌ترین ریزجانداران آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن در خاک مناطق گرمسیری است (Heydarian-burkhub et al., 2011). برخی مطالعات نشان می‌دهد که با توجه به توانایی باکتری *آزوسپیریوم* که در تطبیق با محیط دارد، در شرایط تنش آبی دارای سازوکار کاهش تنش می‌باشد (Arzaneh et al., 2010; Hadi et al., 2012). گزارش‌هایی مبنی بر توانایی زنده ماندن باکتری *آزوسپیریوم* در شرایط تنش آبی به‌دلیل تولید اگزوپلی‌ساکارید وجود دارد. این ماده به‌وسیله افزایش نگهداری آب، باکتری *آزوسپیریوم* را از تنش آبی محافظت می‌کند (Sandhya et al., 2010). هرچند جزئیات مکانیسم عمل *آزوسپیریوم* برای کاهش اثرات تنش در گیاهان هنوز به‌طور کامل شناخته نشده است، ولی نتایج بیشتر پژوهش‌ها (Amoo-aghajie et al., 2004; Hadi et al., 2012; Sharma, 2003) گویای آن است که *آزوسپیریوم* به‌کمک تثبیت زیستی نیتروژن، تولید هورمون‌های رشد و برخی از ویتامین‌ها سبب گسترش سطح ریشه و در نتیجه جذب بهینه آب و عناصر غذایی و در نهایت، کاهش اثرات تنش آبی می‌شود.

حدود 70 درصد آزمایش‌ها، توانایی ریزجاندارانی همانند *آزوسپیریوم* در افزایش پنج تا 30 درصدی عملکرد گیاهان زراعی (از جمله گندم و جو) را تأیید کرده‌اند (Kandil et al., 2011; Kasim et al., 2013; Pour-Eid et al., 2004; Kennedy et al., 2016). به‌عنوان مثال، کاسیم و همکاران (Kasim et al., 2016) نشان دادند

که تلقیح بذرهای جو با 20 نوع باکتری محرک رشد در جهت بهبود شاخص‌های رشدی از جمله عملکرد مؤثر بوده است. همچنین، در آزمایش دیگری (Kandil et al., 2011) تلقیح بذرهای گندم (*Triticum aestivum* L.) با باکتری *آزوسپیریوم*، ارتفاع گیاه، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد زیست‌توده و در نهایت عملکرد دانه را به‌طور مثبت و معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. به‌علاوه، کاربرد ریز جانداران به‌عنوان کود به‌واسطه‌ی تولید موادی مانند هورمون‌ها، ویتامین‌ها و همچنین، محلول کردن عناصر غیرقابل جذب خاک و افزایش میزان جذب آن‌ها در بهبود کیفیت بذر مؤثر بوده است (Hadi et al., 2012). در پژوهشی بر روی گندم (Pour-Eid et al., 2013) استفاده تلفیقی از کود نیتروژن و باکتری محرک رشد بر وزن هزار دانه، عملکرد دانه، ارتفاع بوته، عملکرد زیست‌توده و وزن سنبله اثر مثبت و معنی‌داری نشان داد. همچنین فدایی و همکاران (Fadaei et al., 2014) نیز تأثیر مثبت تیمار تلفیقی را بر تعداد پنجه گندم گزارش کردند.

مدیریت بقایای گیاهان زراعی یکی از ارکان اصلی تولید در کشاورزی زیستی است، زیرا با تأثیر مستقیم بر ویژگی‌های خاک در بلندمدت، نقش به‌سزایی در افزایش عملکرد گیاهان زراعی دارد (Farhoodi et al., 2008). اندام‌های گیاهی حاوی مقادیر زیادی از عناصر مورد نیاز گیاه می‌باشند و برگرداندن آن‌ها به خاک علاوه‌بر حاصلخیزی خاک باعث افزایش فعالیت ریزجانداران مفید خاک می‌شود (Torbert et al., 2000). نتایج یک پژوهش در اهواز نشان داد که استفاده از کود زیستی سوپرنیتروپلاس و بقایای گیاهی بر عملکرد گندم تأثیر مثبت داشت (Sohrabi et al., 2015). همچنین، شهپری و فاتح (Shahpary & Fateh, 2016) گزارش کردند که اثرات منابع مختلف نیتروژن و مدیریت بقایا بر عملکرد گندم معنی‌دار بود. در این پژوهش تیمار تلفیق کود نیتروژن و باکتری به همراه کاربرد بقایا عملکرد گندم را بهبود بخشید.

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر مدیریت بقایای گیاهی و منابع مختلف نیتروژن (کاربرد کود نیتروژن خالص، تلقیح بذر با باکتری *آزوسپیریوم* و استفاده تلفیقی از باکتری *آزوسپیریوم* و کود نیتروژن) در شرایط تنش آبی پس از گل‌دهی بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد دانه جو در شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک جنوب استان فارس (داراب) اجرا شد.

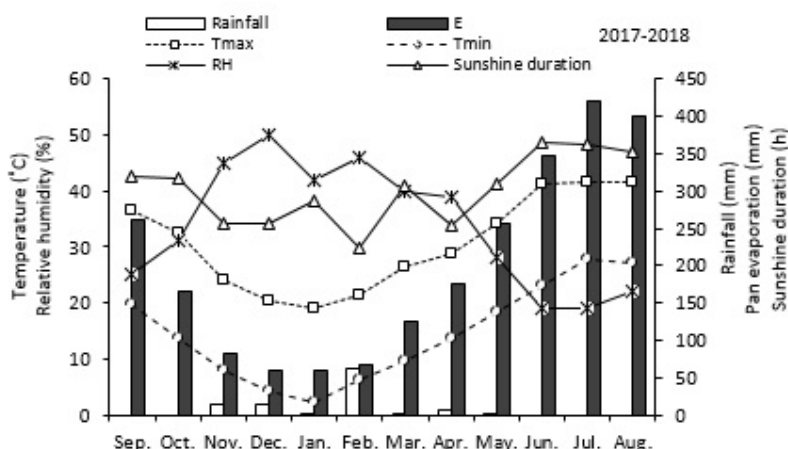
مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت اسپلینت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب - دانشگاه شیراز (طول جغرافیای 54° و $30'$ شرقی و عرض جغرافیایی 28° و $50'$ شمالی و با ارتفاع 1180 متری از سطح دریا) در سال زراعی 97-1396 اجرا شد. منطقه داراب دارای آب‌وهوای خشک و میانگین بلندمدت بارش سالیانه 250 میلی‌متر می‌باشد. وضعیت آب‌وهوایی منطقه در سال زراعی 1397-1396 در شکل 1 ارائه شده است. جهت بررسی ویژگی‌های خاک، نمونه‌ای مرکب (عمق صفر تا 30 سانتی‌متر) از خاک مزرعه به‌طور تصادفی تهیه و برای اندازه‌گیری به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی داراب فرستاده شد. در جدول 1 نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داده شده است.

دو سطح آبیاری به‌عنوان عامل اصلی [1- مطلوب: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و 2- تنش آبی: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا انتهای مرحله گل‌دهی (قطع آبیاری پس از مرحله گل‌دهی)] و عامل‌های فرعی شامل دو سطح بقایای گیاهی [1- حذف بقایا و 2- برگرداندن 30 درصد بقایای گندم به خاک] و چهار منبع کودی [1- صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار (شاهد)، 2- کاربرد 100 کیلوگرم نیتروژن در هکتار به صورت اوره (46 درصد نیتروژن) با توجه به آزمون خاک، 3- استفاده تلفیقی از باکتری *Azospirillum brasilense* و نیتروژن به‌مقدار نصف نیاز نیتروژنی گیاه (50 کیلوگرم نیتروژن در هکتار به صورت اوره) و 4- تلقیح بذر با باکتری *آزوسپیریوم*] بود که به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

جدول 1- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق صفر تا 30 سانتی‌متر
Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil in 0-30 cm depth

ویژگی Characteristics	واحد Unit	مقدار Amount
شن Sand	%	38.12
سیلت Silt	%	44
رس Clay	%	17.88
کربن آلی O.C.	%	0.97
ماده آلی O.M.	%	1.68
هدایت الکتریکی EC	dS.m ⁻¹	1.09
اسیدیته pH		7.42
نیتروژن کل Total N	%	0.08
پتاسیم قابل‌دسترس Available K	mg.kg ⁻¹	320
فسفر قابل‌دسترس Available P	mg.kg ⁻¹	10
آهن Fe	mg.kg ⁻¹	5.67
منگنز Mn	mg.kg ⁻¹	16.72
مس Cu	mg.kg ⁻¹	1.69
روی Zn	mg.kg ⁻¹	0.66



شکل 1- بارندگی ماهیانه، تبخیر از تشت تبخیر، طول دوره روشنایی، میانگین کمینه و بیشینه‌ی دمای هوا و رطوبت نسبی در طول سال زراعی

1396 - 97

Fig. 1- Monthly rainfall, pan evaporation (E), sunshine duration, mean minimum and maximum air temperatures (T_{min} and T_{max} , respectively) and relative humidity (RH) during 2017- 2018 growing season

مؤسسه تحقیقات آب و خاک تهیه گردید. قبل از کاشت بر اساس روش‌های موجود (Somasegaran et al., 2012; Tale and Haddad, 2011) تلقیح بذرها با باکتری *آزوسپیریلوم* در محیط آزمایشگاهی انجام شد. به این صورت که قبل از تلقیح برای گندزدایی بذرها و جلوگیری از آلودگی میکروبی آن‌ها برای مدت 10 دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد قرار گرفته و سپس با آب مقطر سترون چندین بار شستشو شدند. در تیمار تلقیح، بذرها در داخل یک کیسه پلی‌اتیلن ریخته شد و محلول آب و شکر به‌عنوان ماده چسباننده (مقدار 20 میلی‌لیتر محلول شکر 20 درصد برای هر کیلوگرم بذر) به آن اضافه گردید. آن‌گاه کیسه حاوی بذر و ماده چسباننده برای مدت 30 ثانیه به‌شدت تکان داده شد تا سطح تمامی بذرها به‌طور یکنواخت چسبناک گردد. پس از آن، مایه تلقیح (مقدار 20 گرم از مایه تلقیح برای هر کیلوگرم بذر) به بذرها چسبناک اضافه شد و پس از 45 ثانیه تکان دادن و اطمینان از چسبیدن یکنواخت مایه تلقیح به آن‌ها، بذرها آغشته به مایه تلقیح برای خشک شدن بر روی ورقه آلومینیوم تمیز در زیر سایه پهن شدند. هم‌چنین، کود نیتروژن در سه مرحله [سه‌برگه‌ای (کد 13)، پنجه‌زنی (کد 23) و ساقه رفتن (کد 31)] (Zadoks et al., 1974) و به‌مقدار مساوی استفاده شد. در تیمارهای کود زیستی و تلفیقی علاوه بر تلقیح بذرها، باکتری *آزوسپیریلوم* به همراه آب آبیاری (به‌مقدار 10 گرم برای

جهت آماده‌سازی زمین عملیات شخم با گاوآهن برگردان‌دار و دیسک در مهر ماه انجام شد. سپس، جهت آماده‌سازی کرت‌ها و جلوگیری از نشت جانبی آب و کود نیتروژن در اطراف هر کرت فرعی پشته‌ای به‌عرض نیم متر ایجاد شد. برای اطمینان بیشتر از عدم حرکت جانبی آب و نیتروژن فاصله‌ی بین کرت‌های اصلی (آبیاری نرمال و تنش آبی) دو متر در نظر گرفته شد. اندازه کرت‌های فرعی 2×3 مترمربع بود. با توجه به نتایج آزمون خاک کود سوپر فسفات تریپل (50 کیلوگرم در هکتار) قبل از کاشت به‌صورت نواری زیر بذر استفاده شد. بذر جو (رقم زهک) (رقم جو آبی با سازگاری وسیع و مناسب برای کشت در مناطق گرم جنوب کشور) از مؤسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر (ایستگاه حسن‌آباد داراب) تهیه و با توجه به تاریخ بهینه کاشت در منطقه (نیمه دوم آذر ماه) در 23 آذر در ردیف‌های به‌فاصله 25 سانتی‌متر در شش ردیف به‌طول سه متر بر اساس مقدار توصیه شده (182/2 کیلوگرم در هکتار) کاشته شدند.

جهت اعمال مدیریت بقایا، در اوایل آبان ماه 30 درصد از بقایای برجای مانده از اندام‌های هوایی گیاه زراعی سال قبل [کاه گندم ($C/N=80/1$) (1500 کیلوگرم در هکتار) محاسبه شد (Keshavarz-nezhad et al., 2014) و به کرت‌های مورد نظر افزوده و با خاک مخلوط شد. باکتری *آزوسپیریلوم* (*Azospirillum brasilense*) (10^8 سلول بر گرم) مورد استفاده در این پژوهش از

اطراف هر کرت به عنوان اثر حاشیه در نظر گرفته شد. جهت اندازه-گیری تعداد دانه در سنبله و طول سنبله، 30 بوته به طور تصادفی از مرکز هر کرت انتخاب شد. همچنین، تعداد پنجه‌های بارور از یک متر طولی دو ردیف وسط هر کرت مورد شمارش قرار گرفت و بر اساس آن تعداد پنجه بارور در مترمربع محاسبه گردید. برای محاسبه وزن هزار دانه (برحسب گرم) پنج دسته هزارتایی از بذور توزین و میانگین‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته، ارتفاع 10 بوته از هر کرت به صورت تصادفی اندازه‌گیری شد. تجزیه آماری داده‌ها به روش تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 (SAS Institute, 2004) صورت گرفت و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

محتوای کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد که میزان کلروفیل برگ پرچم در مرحله شیری (کد زیداکس 75) به طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر کاربرد کود نیتروژن قرار گرفت. مصرف کود نیتروژن (100 کیلوگرم نیتروژن در هکتار)، کود تلفیقی (آزوسپیریولوم + 50 کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و کود زیستی (آزوسپیریولوم) به ترتیب مقدار کلروفیل را به میزان 21/1، 9/2 و 0/4 درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول 3). بالاترین مقدار کلروفیل (48/55) مربوط به تیمار کود کامل نیتروژن و کمترین مقدار کلروفیل (40/07) مربوط به شاهد بود. نیتروژن از جمله عناصر ضروری در رشدونمو گیاهان است و نقش مهمی در شکل‌گیری مولکول‌های کلروفیل دارد (Taiz & Zeiger, 2010). اثر مثبت کاربرد کود نیتروژن بر میزان کلروفیل برگ پرچم را سایر پژوهشگران (Siosemarde et al., 2014) نیز گزارش کرده‌اند. همچنین، دیده‌بان و همکاران (Dideban et al., 2012) اثبات کردند که بیشترین محتوای کلروفیل برگ کلزا در بالاترین سطح کود نیتروژن (200 کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد.

تنش آبی تأثیر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل برگ پرچم نداشت (جدول 3)؛ اما، محتوای کلروفیل در شرایط تنش آبی نسبت به تیمار آبیاری مطلوب افزایش جزئی نشان داد (جدول 3). این روند احتمالاً به دلیل توقف بزرگ شدن سلول و افزایش تراکم سلول‌های مزوفیلی

هر کرت) در مراحل پنجه‌زنی (کد زیداکس 21) و ساقه رفتن (کد زیداکس 31) (Zadoks et al., 1974) به کار رفت.

جهت آبیاری زمین، در کرت‌های مربوط به تیمار آبیاری مطلوب محتوای رطوبتی خاک به وسیله روش وزنی (Barati et al., 2015) در فواصل 30 سانتی‌متری تا عمق 60 سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری شد. در این روش از عمق‌های اشاره شده نمونه‌ای با مته برداشت شد و پس از وزن کردن نمونه مربوط آن را به مدت 24 ساعت در آون (دمای 105 درجه سانتی‌گراد) قرار دادیم تا خشک شود. پس از خشک شدن و وزن کردن دوباره مقدار رطوبت خاک اندازه‌گیری شد (Alizadeh, 2001). وقتی که میانگین رطوبت خاک به کمتر از 50 درصد از رطوبت قابل دسترس رسید، آبیاری انجام گرفت و رطوبت عمق صفر تا 60 سانتی‌متری خاک به ظرفیت مزرعه رسانده شد. مقدار آب مورد نیاز به وسیله معادله 1 (Barati et al., 2016) محاسبه و مقدار آب کاربردی برای هر کرت به وسیله روش حجمی - زمانی (Barati et al., 2016; Grimes et al., 1987) اندازه‌گیری شد. در این روش در هر کرت مقدار آب محاسبه شده به وسیله معادله 1 که بر اساس میلی‌متر بود تبدیل به لیتر شد و سپس با توجه به دبی خروجی از لوله‌های تعبیه شده برای هر کرت، زمان مورد نیاز برای آبیاری آن مشخص شد. در کرت‌های مربوط به تیمار تنش آبی نیز تا مرحله گل‌دهی آبیاری به همین صورت انجام گرفت و پس از گل‌دهی آبیاری به طور کامل قطع شد. لازم به ذکر است که پس از مرحله گل‌دهی تا انتهای رسیدگی بارندگی رخ نداد.

$$D = \sum_{i=1}^n (\theta_{fci} - \theta_i) \Delta Z_i \quad (1)$$

در این معادله، D: عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، i: یک لایه، n: تعداد لایه‌های خاک، θ_{fci} : محتوای حجمی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب) در i امین لایه خاک، θ_i : محتوای حجمی رطوبت خاک (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب) در i امین لایه خاک و ΔZ_i : ضخامت هر لایه (میلی‌متر) می‌باشد.

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل برگ پرچم در مرحله شیری (کد زیداکس 75) (Zadoks et al., 1974) با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD) انجام شد. پس از مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در تاریخ 30 اردیبهشت به منظور تعیین عملکرد نهایی (عملکرد دانه و زیست‌توده) و شاخص برداشت (نسبت عملکرد دانه به زیست‌توده) دو متر طولی دو ردیف وسط کرت با داس کف‌بر شدند (50 سانتی‌متر

شد (جدول 3). در تأیید نتایج این آزمایش پژوهشی روی گندم نشان داد که افزودن بقایا باعث کاهش ارتفاع گیاه شد (Keshavarz-Nejad et al., 2014). برخی از محققین (Sohrabi et al., 2015) معتقدند که اضافه کردن بقایا به خاک به‌ویژه در ابتدای فصل رشد به دلیل کاهش موقتی نیتروژن به‌واسطه رقابت با ریزجانداران خاک‌زی باعث کاهش رشد و ارتفاع بوته در ابتدای دوره رشد می‌شود که گاهی ممکن است این کاهش در انتهای دوره رشد جبران شود.

طول سنبله

نتایج تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد که برهم‌کنش تیمار آبیاری \times منبع کود نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. در شرایط آبیاری مطلوب، استفاده از کود نیتروژن، تلفیقی و زیستی طول سنبله را به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به‌میزان 152/3، 166/3 و 42/9 درصد نسبت به شاهد افزایش داد. تیمار کود خالص نیتروژن و تلفیقی تفاوت معنی‌داری در این شرایط نداشتند (جدول 4). در مقابل، در شرایط تنش آبی نیز استفاده از کود نیتروژن خالص و کود تلفیقی طول سنبله را به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به‌مقدار 154/7 و 159/6 درصد نسبت به شاهد افزایش داد؛ اما کود زیستی تغییری در طول سنبله ایجاد نکرد. به‌عنوان یک نتیجه می‌توان بیان کرد که طول سنبله در شاهد نیتروژن، کود نیتروژن خالص و کود تلفیقی به‌واسطه تنش آبی کاهش نیافت؛ اما، در تیمار کود زیستی کاهش معنی‌داری به‌واسطه تنش آبی در طول سنبله مشاهده شد (جدول 4). در تأیید نتایج این آزمایش، عجم‌نوروزی و همکاران (Ajam-Noroz et al., 2016) نشان دادند که کاربرد کود نیتروژن در مرحله رویشی سبب افزایش طول سنبله شد. همچنین، واکنش مثبت طول سنبله به تیمار تلفیقی در آزمایش حاضر موافق با یافته‌های پاک‌کی (Pazoki, 2016) است. در توجیه این‌که در آزمایش حاضر واکنش طول سنبله به تیمار کود تلفیقی در مقایسه با کود زیستی نسبت به شاهد در شرایط تنش آبی بسیار زیاد و معنی‌دار بود را شاید بتوان به موفقیت بیشتر باکتری-ها در صورت استفاده تلفیقی با کود نیتروژن در شرایط تنش آبی نسبت داد. احتمالاً، شاخص سطح برگ بالاتر در تیمار تلفیقی نسبت به کود زیستی در شرایط تنش آبی سبب سایه‌اندازی بیشتر و تبخیر کمتر شده و در نتیجه رطوبت بیشتر محیط، فعالیت زیادتر باکتری‌ها را سبب شده‌است. در چنین شرایطی تثبیت زیستی بیشتر نیتروژن، جذب زیادتر آن و رشد بیشتر سنبله را باعث شد.

در واحد سطح در شرایط تنش آبی بوده است (Siosemarde et al., 2014). سایر پژوهش‌ها روی گندم، ذرت و اطلسی (Bredemeier, 2005; Kamali et al., 2018) نیز نشان دادند که اعداد کلروفیل‌متر در شرایط تنش آبی نسبت به شرایط مطلوب بیشتر بود. در مطالعه حاضر کاربرد بقایا باعث افزایش جزئی و غیرمعنی‌دار مقدار کلروفیل شد (جدول 3). هرچند حضور مقدار زیاد بقایای گیاهی در خاک به‌علت تحریک فعالیت ریزجانداران، نیتروژن خاک را به‌طور موقت از دسترس گیاه خارج می‌کند (Sohrabi et al., 2015) و بنابراین محتوای کلروفیل گیاه را کاهش می‌دهد. اما، به نظر می‌رسد که در آزمایش حاضر افزودن 30 درصد بقایای گندم به خاک رقابت جدی ریزجانداران و گیاه برای نیتروژن را سبب نشد و از این‌رو محتوای کلروفیل برگ پرچم دست‌خوش تغییرات معنی‌داری به‌واسطه کاربرد بقایا نگردید و حتی تجزیه بقایا سطح نیتروژن خاک را در مراحل انتهایی رشدونمو گیاه افزود و جذب بیشتر نیتروژن توسط بوته‌های جو، محتوای کلروفیل برگ پرچم را هرچند جزئی، افزایش داد. فلاح‌هروی و همکاران (Fallah-Heravi et al., 2015) نیز نشان دادند که کاربرد بقایای گیاهی تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل برگ پرچم گندم نداشت که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد که ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر منبع کود نیتروژن قرار گرفت. مصرف کود نیتروژن خالص، تلفیقی و زیستی به‌ترتیب ارتفاع بوته را به‌میزان 37/1، 42/8 و 0/8 درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول 3). بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار کود نیتروژن خالص (73/8 سانتی‌متر) و کمترین مقدار ارتفاع بوته مربوط به شاهد (51/7 سانتی‌متر) بود (جدول 3). پژوهش‌های دیگری (Barik & Goswami, 2003; Sohrabi et al., 2015) نیز تأثیر مثبت کود نیتروژن، تلفیقی و زیستی را بر ارتفاع بوته نشان داده‌اند که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. در دسترس بودن آب و عناصر غذایی ضروری گیاه از جمله نیتروژن از طریق افزایش تقسیمات سلولی، تعداد گره و طول میان‌گره ارتفاع گیاه را به‌طور مثبت تحت تأثیر قرار می‌دهند (Wallace et al., 2017). در آزمایش حاضر، اگرچه حضور بقایا تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته در مقایسه با عدم حضور بقایا نداشت؛ اما، کاربرد بقایا باعث کاهش جزئی ارتفاع بوته

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبه، تعداد سنبه در مترمربع، ارتفاع بوته، طول سنبه و محتوای کلروفیل جو
 Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of grain yield, biomass yield, harvest index, 1000-grain weight, seed no. per spike, spike no. m⁻², plant height, spike length and chlorophyll content of barley

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares										عملکرد دانه Grain yield
		محتوای کلروفیل Chlorophyll content	طول سنبه Spike length	ارتفاع بوته Plant height	تعداد سنبه در مترمربع Spike no. m ²	تعداد دانه در سنبه Seed no. per spike	وزن هزار دانه 1000-grain weight	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد زیست توده Biomass yield			
تکرار Replication (R)	2	90.45**	27.08 ^{ns}	64.58 ^{ns}	33125.9 ^{ns}	2.77 ^{ns}	19.65 ^{ns}	80.06 ^{ns}	5083840**			212087 ^{ns}
رژیم آبیاری Irrigation regime (Ir)	1	0.46 ^{ns}	4.68 ^{ns}	133.33 ^{ns}	1792.5 ^{ns}	6.02 ^{ns}	2249.26**	19.76 ^{ns}	929633 ^{ns}			17096958 ^{ns}
خطای (الف) Error (a)	2	30.77	6.25	77.08	22337.1	13.27	37.94	198.96	6017174			2879829 ^{ns}
بقایا Residue (Re)	1	45.43 ^{ns}	4.68 ^{ns}	33.33 ^{ns}	4537.1 ^{ns}	11.02 ^{ns}	3.09 ^{ns}	42.11 ^{ns}	3350876*			87049 ^{ns}
منبع کود نیتروژن (کود) N Fertilizer source (N)	3	190.26**	2829.68**	1684.72**	200195.1**	1253.90**	95.39**	76.31 ^{ns}	18120580**			2285913**
Ir × Re	1	5.95 ^{ns}	13.02 ^{ns}	8.33 ^{ns}	3114.8 ^{ns}	0.02 ^{ns}	2.57 ^{ns}	24.27 ^{ns}	615467 ^{ns}			16219 ^{ns}
Ir × N	3	9.14 ^{ns}	54.68*	37.5 ^{ns}	14758.1 ^{ns}	15.90 ^{ns}	157.70**	45.30 ^{ns}	3511584**			1395353**
Re × N	3	11.56 ^{ns}	28.68 ^{ns}	15.27 ^{ns}	18672.8 ^{ns}	4.79 ^{ns}	12.24 ^{ns}	5.31 ^{ns}	562256 ^{ns}			148994 ^{ns}
Ir × Re × N	3	29.57 ^{ns}	46.35 ^{ns}	23.61 ^{ns}	22714.3 ^{ns}	32.02**	7.02 ^{ns}	24.37 ^{ns}	1975866*			58783120 ^{ns}
خطای (ب) Error (b)	28	14.54	18.45	21.43	12288.1	7.06	6.80	29.46	649074			206544
ضریب تغییرات (درصد) CV ^ε (%)		8.83	13.01	7.45	16.1	12.07	6.99	13.72	11.87			16.93

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

ns: Non significant.

ε: Coefficient of variation

* و **: پدتنیب معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد
 ns: غیر معنی داری

جدول 3- مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری، منبع کود و بقایا بر محتوای کلروفیل، تعداد سنبله در مترمربع، شاخص برداشت و ارتفاع بوته جو
 Table 3- Mean comparison for effects of irrigation regime, N fertilizer source and residue on chlorophyll content, spikes No.m⁻², harvest index and plant height of barley

فاکتور Factor	محتوای کلروفیل Chlorophyll content	تعداد سنبله در مترمربع Spikes No. m ⁻²	شاخص برداشت Harvest index (%)	ارتفاع بوته Plant height (cm)
رژیم آبیاری Irrigation regime				
مطلوب Normal	43.07 ^{a*}	698.3 ^a	40.19 ^a	60.4 ^a
تنش آبی Water stress	43.26 ^a	686.1 ^a	38.91 ^a	63.8 ^a
کود Fertilizer				
صفر [£] N ₀	40.07 ^c	551.7 ^b	42.07 ^a	51.7 ^b
100 ^{££} N ₁₀₀	48.55 ^a	831.1 ^a	36.37 ^b	73.8 ^a
کود تلفیقی [¥] Bio + N ₅₀	43.81 ^b	767.2 ^a	40.97 ^{ab}	70.8 ^a
کود زیستی ^{¥¥} Bio	40.23 ^c	618.9 ^b	38.79 ^{ab}	52.8 ^b
بقایا Residue				
با بقایا With residue	44.14 ^a	701.9 ^a	40.49 ^a	61.3 ^a
بدون بقایا Without residue	42.19 ^a	682.5 ^a	38.61 ^a	62.9 ^a

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. £: صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار (شاهد)، ££: 100 کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ¥: کود تلفیقی (باکتری آزوسپیریوم + 50 کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و ¥¥: کود زیستی (باکتری آزوسپیریوم).

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncans multiple range test. N₀, no nitrogen fertilizer (control); N₁₀₀, 100 kg N ha⁻¹; Bio + N₅₀, Biofertilizer (*Azospirillum brasilense*) + 50 kg N ha⁻¹; Bio, Biofertilizer (*Azospirillum brasilense*).

زیستی). با توجه به این که کمترین میزان کاهش عملکرد دانه به واسطه تنش آبی در شرایط استفاده از کود زیستی و سپس تیمار تلفیقی نسبت به کاربرد کود نیتروژن خالص به دست آمد، می‌توان نتیجه گرفت که باکتری در کاهش اثرات تنش آبی موفق بوده است. ریزجانداران می‌توانند باعث مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها شوند (Compont et al., 2010). پژوهشگران متعددی نشان داده‌اند که تلقیح با باکتری آزوسپیریوم تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه در شرایط تنش آبی داشته‌است (Hadi et al., 2012; Marulanda et al., 2009; Sharma, 2009). در همین راستا، ساریچ و همکاران (Sarig et al., 1988) نشان دادند که تلقیح بذر باعث افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش آبی از طریق بهبود بهره‌وری از رطوبت خاک شد. مطالعات نشان داده‌اند که باکتری آزوسپیریوم به کمک تثبیت زیستی

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد که برهم‌کنش تیمار آبیاری × منبع کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه (4049 کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار آبیاری مطلوب و استفاده تلفیقی از باکتری و کود نیتروژن بود و کمترین عملکرد دانه (2009 کیلوگرم در هکتار) در تیمار تنش آبی و عدم استفاده از کود نیتروژن به دست آمد (جدول 4). اثر برهم‌کنش آبیاری × منبع نیتروژن (جدول 4) نشان داد که تنش آبی عملکرد دانه را در همه سطوح کودی نسبت به آبیاری مطلوب کاهش داد؛ اما این کاهش در تیمارهای مختلف کودی متفاوت بود (24/1، 46/8، 44/3 و 22/1 درصد کاهش به ترتیب در شاهد، کود نیتروژن خالص، تلفیقی و

بیشتر عملکرد دانه به واسطه کاربرد کود نیتروژن در شرایط تنش آبی به پدیده "hay off" نسبت داده می‌شود. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که کود نیتروژن به مقدار زیاد در مراحل رشد رویشی غلاتی که در معرض تنش آبی انتهایی هستند، به کار رود. در چنین شرایطی عملکرد زیست‌توده بالا رفته و ریشه‌ها آب بیشتری را از نیم‌رخ خاک تخلیه می‌کنند و این باعث کاهش فراهمی آب در دوره پر شدن دانه شده و نهایتاً کاهش وزن هزار دانه و عملکرد دانه را به دنبال خواهد داشت. سایر پژوهشگران (Barati & Ghadiri, 2015; Barati et al., 2016) نیز در مطالعات خود بر روی گیاه جو نشان دادند که در شرایط آبیاری مطلوب مصرف کود نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد. اما، در شرایط تنش آبی انتهایی کاربرد مقدار بالای کود نیتروژن عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار نداد.

نیتروژن، تولید هورمون‌های رشد و برخی از ویتامین‌ها سبب گسترش سطح ریشه و در نتیجه جذب بهینه‌ی آب و عناصر غذایی و در نهایت، کاهش اثرات تنش آبی شده‌است (Amoo-aghajie et al., 2004; Hadi et al., 2012; Sharma, 2003). هم‌چنین، برخی دیگر از محققین (Amoo-aghajie et al., 2004) گزارش کردند که تلقیح با باکتری آروسپیریوم اثرات مثبتی بر عملکرد دانه گندم در شرایط مطلوب رطوبتی داشته‌است.

بیشترین کاهش عملکرد دانه به واسطه تنش آبی در شرایط استفاده از کود نیتروژن خالص (46/2 درصد) مشاهده شد (جدول 4) که نشان می‌دهد گیاهانی که کود نیتروژن خالص دریافت کرده‌اند نسبت به خشکی حساسیت بیشتری نشان می‌دهند. بر اساس نظر ون هرواردن و همکاران (Van Harwarden et al., 1998) کاهش

جدول 4- اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری × منبع نیتروژن بر عملکرد دانه، وزن هزار دانه و طول سنبله جو
Table 4 - Interaction effect of irrigation regime × nitrogen source on grain yield, 1000-grain weight and spike length of barley

رژیم آبیاری Irrigation regime	منبع کود نیتروژن Nitrogen fertilizer source	عملکرد دانه Grain yield (kg. ha ⁻¹)	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	طول سنبله Spike length (mm)
آبیاری مطلوب Normal irrigation	صفر [£] N ₀	2648.3 ^{b*}	42.61 ^a	17.5 ^c
	100 ^{££} N ₁₀₀	3843.1 ^a	45.06 ^a	46.6 ^a
	کود تلفیقی [¥] Bio + N ₅₀	4049.1 ^a	44.52 ^a	44.1 ^a
	کود زیستی ^{¥¥} Bio	2578.4 ^b	44.42 ^a	25.0 ^b
	صفر [£] N ₀	2008.8 ^b	36.40 ^b	18.3 ^c
تنش آبی Water stress	100 ^{££} N ₁₀₀	2068.6 ^b	23.46 ^c	46.6 ^a
	کود تلفیقی [¥] Bio + N ₅₀	2256.1 ^b	26.62 ^c	47.5 ^a
	کود زیستی ^{¥¥} Bio	2009.6 ^b	35.37 ^b	18.3 ^c
	صفر [£] N ₀	2008.8 ^b	36.40 ^b	18.3 ^c

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. £: صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار (شاهد)، ££: 100 کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ¥: کود تلفیقی (باکتری آروسپیریوم + 50 کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و ¥¥: کود زیستی (باکتری آروسپیریوم).

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncans multiple range test. N₀, no nitrogen fertilizer (control); N₁₀₀, 100 kg N ha⁻¹; Bio + N₅₀, Biofertilizer (*Azospirillum brasilense*) + 50 kg N ha⁻¹; Bio, Biofertilizer (*Azospirillum brasilense*).

(جدول 2). بیشترین وزن هزار دانه (45/06 گرم) در تیمار آبیاری مطلوب و کود نیتروژن خالص و کمترین وزن هزار دانه (23/46 گرم) در تیمار تنش آبی و کود نیتروژن خالص به‌دست آمد (جدول 4).

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تأثیر برهم‌کنش تیمار آبیاری و منبع کود نیتروژن قرار گرفت

کاهش بیشتری می‌یابد (Barati & Ghadiri, 2015; Van Harwarden et al., 1998).

تعداد دانه در سنبله

تعداد دانه در سنبله به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تأثیر برهم‌کنش منبع نیتروژن \times بقایای گیاهی \times رژیم آبیاری قرار گرفت (جدول 2). به‌طوری‌که در مقایسه میانگین‌های آن بیشترین تعداد دانه در سنبله مربوط به تیمار آبیاری مطلوب، برگرداندن بقایا و کود نیتروژن خالص (33/3 دانه در سنبله) و کمترین آن مربوط به تیمار آبیاری مطلوب، برگرداندن بقایا و شاهد نیتروژن (10/7 دانه در سنبله) بود. (شکل 2).

در شرایط آبیاری مطلوب، تعداد دانه در سنبله در تیمار بدون بقایا به‌طور مثبت و معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد کود نیتروژن قرار گرفت. به‌طوری‌که تعداد دانه در سنبله در تیمار کود نیتروژن خالص، تلفیقی و زیستی به‌ترتیب به‌میزان 148/5، 193/6 و 54/5 درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل 2). اگرچه تیمار تلفیقی افزایش بیشتری را در تعداد دانه در سنبله باعث شد اما، اختلاف معنی‌داری با تیمار کود نیتروژن خالص نداشت. در شرایط استفاده از بقایا نیز تعداد دانه در سنبله با کاربرد کود نیتروژن (صرف نظر از منبع آن) افزایش معنی‌داری داشت. هرچند واکنش به کود نیتروژن خالص (212/6 درصد) بیشتر از کاربرد تلفیقی کود (193/1 درصد) بود. اما، اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت. همچنین، تیمار زیستی افزایش 50/1 درصدی تعداد دانه در سنبله را نسبت به شاهد باعث شد (شکل 2). اثر مثبت کود نیتروژن بر تعداد دانه در سنبله به‌وسیله سایر محققین (Barati & Ghadiri, 2015; Sadeghi & Bahrani, 2009) نیز به اثبات رسیده‌است. همچنین، محققین دیگر (Bahari et al., 2014; Barik & Goswami, 2003) اثر مثبت کاربرد باکتری آروسپیریوم بر تعداد دانه در سنبله گندم و نهایتاً عملکرد دانه را گزارش کرده‌اند.

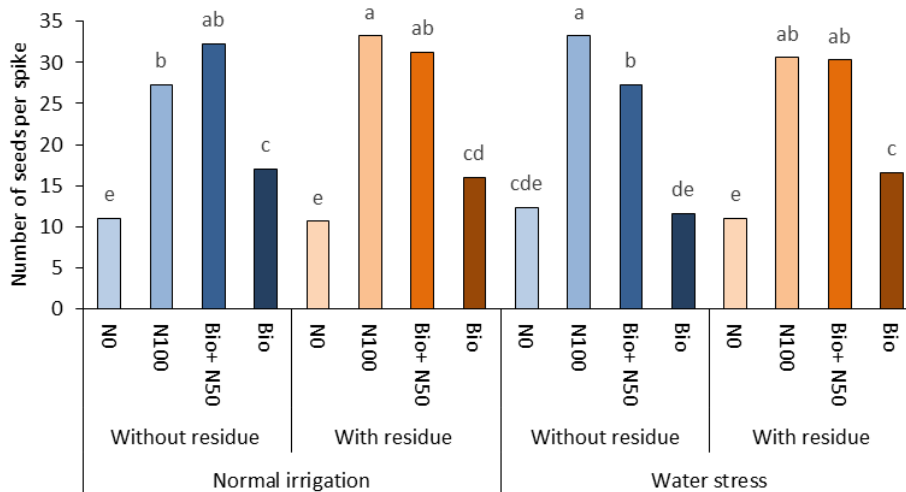
در شرایط تنش آبی و حذف بقایا، کود نیتروژن خالص و تلفیقی تعداد دانه در سنبله را به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به‌مقدار 170/3 و 121/7 درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. بیشترین تعداد دانه در سنبله در تیمار کود نیتروژن خالص به‌دست آمد که دارای اختلاف معنی‌دار با تیمار تلفیقی بود (شکل 2). در تیمار برگرداندن بقایا نیز کود نیتروژن خالص، تلفیقی و زیستی به‌ترتیب 178/7، 175/7 و

هم‌چنین، برهم‌کنش تیمار آبیاری و منبع کود نیتروژن نشان داد که کاربرد کود نیتروژن (صرف نظر از منبع آن) سبب افزایش جزئی و غیرمعنی‌دار وزن هزار دانه در شرایط آبیاری مطلوب شد (جدول 4). در پژوهشی روی گندم کاربرد کود نیتروژن به‌صورت خالص و تلفیقی تأثیر مثبتی بر وزن هزار دانه در شرایط آبیاری مطلوب داشت (Sohrabi et al., 2015). هم‌چنین آزادی و همکاران (Azadi et al., 2015) نشان دادند که تلقیح بذر گندم با باکتری آروسپیریوم تأثیر مثبت و معنی‌داری بر وزن هزار دانه داشت. آن‌ها افزایش وزن هزار دانه را به اثرات مثبت کاربرد کود زیستی بر افزایش جذب آب و مواد غذایی به‌واسطه توسعه ریشه‌ها و هم‌چنین انجام فرآیند تثبیت زیستی نیتروژن نسبت دادند. اما، کاربرد کود نیتروژن باعث کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش آبی شد که این کاهش فقط در تیمار نیتروژن خالص و تلفیقی معنی‌دار و به‌ترتیب به‌مقدار 35/7 و 26/8 درصد بود. اما، تیمار کود زیستی کاهش جزئی (2/8 درصد) و غیرمعنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد (جدول 4) بنابراین، با توجه به کاهش‌های کمتر در تیمارهای تلفیقی و زیستی، به نظر می‌رسد که باکتری آروسپیریوم در کاهش اثرات تنش مؤثر بوده‌است. کامپونت و همکاران (Compant et al., 2010) نیز کاهش اثرات مخرب تنش بر وزن هزار دانه گندم در شرایط استفاده از باکتری آروسپیریوم را گزارش کرده‌اند.

با بررسی برهم‌کنش آبیاری و منبع کود نیتروژن از منظری دیگر می‌توان نتیجه گرفت که تنش آبی پس از گل‌دهی وزن هزار دانه را در شاهد نیتروژن، نیتروژن خالص، تلفیقی و زیستی به‌ترتیب به‌میزان 14/6، 47/9، 40/2 و 20/4 درصد کاهش داد (جدول 4). وزن هزار دانه از جمله صفاتی است که میزان آن در دوره پر شدن دانه تعیین می‌گردد و با توجه به این‌که تنش آبی در پژوهش حاضر، پس از گل‌دهی و در این دوره اعمال شد، تأثیر به‌سزایی بر این صفت گذاشت. کاهش بیشتر وزن هزار دانه در تیمار نیتروژن خالص در شرایط تنش آبی نسبت به آبیاری مطلوب، حساسیت بیشتر وزن هزار دانه گیاهان دریافت‌کننده کود نیتروژن خالص نسبت به سایر تیمارهای کود نیتروژن به تنش آبی پس از گل‌دهی را نشان می‌دهد. کاربرد کود نیتروژن به‌دلیل افزایش شاخص سطح برگ و در نتیجه افزایش تخلیه رطوبتی از خاک، شدت تنش آبی را در مراحل انتهایی دوره رشد افزایش می‌دهد و به دنبال آن مقدار فتوسنتز جاری و انتقال مواد پرورده و در نهایت، میانگین وزن هزار دانه در شرایط تنش آبی

خاک از طریق حفظ رطوبت خاک در شرایط تنش آبی و یا ایجاد منبع تغذیه‌ای برای باکتری‌های *آزوسپیریلوم*، فعالیت بیشتر باکتری را باعث شده است (Khosravi, 2015; Sadeghi & Bahrani, 2009;) (Sohrabi et al., 2015).

51/5 درصد افزایش در تعداد دانه در سنبله را باعث شدند. در مقایسه استفاده از بقایا نسبت به حذف بقایا در سطوح مختلف کود، تیمار زیستی و تلفیقی در حضور بقایا موفقیت بیشتری داشتند، به طوری که در تیمار تلفیقی و زیستی به ترتیب 11 و 42/1 درصد افزایش در حضور بقایا نسبت به حذف بقایا مشاهده شد. به نظر می‌رسد وجود بقایا در



شکل 2- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری، بقایا و منبع نیتروژن بر تعداد دانه در سنبله جو

Fig. 2- Interaction effect of irrigation regime, residue and nitrogen source on seed No. per spike of barley

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. N₀: صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار (شاهد)، N₁₀₀: 100 کیلوگرم نیتروژن در هکتار، Bio + N₅₀: کود زیستی (باکتری *آزوسپیریلوم*) + 50 کیلوگرم نیتروژن در هکتار و Bio: کود زیستی (باکتری *آزوسپیریلوم*).

The means followed the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan's multiple rang test N₀, no nitrogen fertilizer (control); N₁₀₀, 100 kg N ha⁻¹; Bio + N₅₀, Biofertilizer (*Azospirillum brasilense*) + 50 kg N ha⁻¹ and Bio, Biofertilizer (*Azospirillum brasilense*).

به دلیل عدم تلقیح مناسب گلچه‌ها کاهش دهند (Barati & Ghadiri, 2015). بنابراین، در پژوهش حاضر به دلیل این‌که تیمار تنش آبی بعد از مرحله گل‌دهی اعمال شد، تأثیر جزئی و غیرمعنی‌دار بر تعداد سنبله در مترمربع گذاشت. همچنین، کاربرد بقایا باعث افزایش جزئی (2/85 درصد) تعداد سنبله در مترمربع شد (جدول 3). صادقی و بحرانی (Sadeghi & Bahrani, 2009) در پژوهشی روی گندم اثرات مثبت استفاده از بقایا بر تعداد سنبله در مترمربع را گزارش کردند. همچنین، در این مطالعه اشاره شده‌است که با استفاده از بقایای گیاهی در شرایط خشک و نیمه‌خشک می‌توان تبخیر و تعرق را به‌وسیله افزایش انعکاس نور، کاهش دما و افزایش آب خاک در ناحیه اطراف ریشه، کاهش داد و بدین‌وسیله شرایط را برای بقاء بیشتر پنجه‌ها فراهم نمود. بر این اساس، به نظر می‌رسد که حضور بقایای

تعداد سنبله در مترمربع

نتایج تجزیه واریانس (جدول 2) نشان داد که اثر منبع نیتروژن بر تعداد سنبله در مترمربع در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. کود نیتروژن، تلفیقی و زیستی به ترتیب 50/6، 39/1 و 12/2 درصد تعداد سنبله در مترمربع را نسبت به شاهد افزایش داد. بیشترین تعداد سنبله در مترمربع (831/1) در تیمار کود نیتروژن حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار تلفیقی نداشت (جدول 3). افزایش میزان نیتروژن در دسترس گیاه باعث تحریک رشد رویشی و افزایش پنجه‌زنی در بوته می‌گردد (Barati & Ghadiri, 2015).

تعداد سنبله در مترمربع در تیمار تنش آبی نسبت به تیمار آبیاری مطلوب به‌طور جزئی (1/8 درصد) کاهش یافت (جدول 3). تنش‌های آبی در مراحل زایشی، ممکن است تعداد پنجه‌های بارور را احتمالاً

و بنابراین جلوگیری از فعالیت آن مانع از رشد و توسعه گیاه و در نهایت، باعث کاهش عملکرد زیست‌توده گیاه می‌شود. علاوه بر اسید آبسزیک عوامل دیگری از جمله تغییر در پتانسیل اسمزی گیاه و بسته شدن روزنه‌ها و در نهایت محدود شدن فتوسنتز نیز در کاهش عملکرد زیست‌توده گیاهی در شرایط تنش کم‌آبی دخالت دارد (Cox & Jolliff, 2007; Foroud et al., 2008; Pazoki, 2016).

با توجه به اثرات مثبتی که تلقیح با باکتری *آزوسپیریوم* بر عملکرد گیاهان زراعی مختلف (گندم و جو) داشته (Marulanda et al., 2009) و نقشی که در افزایش میزان تجمع مواد فتوسنتزی دارد (Sohrabi et al., 2015)، می‌توان بهبود عملکرد زیست‌توده در شرایط استفاده از باکتری را توجیه کرد. کمبود مواد آلی از عوامل محدودکننده رشد ریزجانداران خاک است. بر اساس نتایج خسروی (Khosravi, 2015) اضافه کردن مواد آلی و هوموس به خاک بر جمعیت، رشد و نهایتاً تثبیت نیتروژن توسط آن‌ها تأثیر به‌سزایی دارد. بنابراین، حضور بقایای گیاهی و حیوانی در خاک با افزایش رشد و فعالیت باکتری‌ها در بهبود عملکرد زیست‌توده اثرگذار است (Khosravi, 2015). همچنین، توانایی حفظ رطوبت توسط بقایا در شرایط تنش به افزایش بیشتر عملکرد زیست‌توده کمک خواهد کرد (Sadeghi & Bahrani, 2009).

در برخی از منابع (Demir et al., 2006; Foroud et al., 2008; Pazoki, 2016) گزارش شده است که آثار مفید باکتری‌های محرک رشد به‌عنوان یک عامل القاءکننده مقاومت به تنش در گیاه در شرایط تنش بیشتر مشهود است. برخی از محققین (Pazoki, 2016) موفقیت باکتری در شرایط تنش آبی را به سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر نسبت داده‌اند. در مقابل، محققین دیگر (Kapulnik et al., 2010; Liu et al., 1996; Remans et al., 2010) نیز اظهار داشتند که باکتری‌ها از جمله گونه *آزوسپیریوم* از طریق افزایش شکل محلول قابل جذب عناصر غذایی در محیط ریشه، باعث افزایش مقدار جذب عناصر غذایی و رشد گیاه می‌شوند و در نتیجه، عملکرد زیست‌توده را می‌افزایند.

تنش آبی شاخص برداشت را به‌مقدار $3/2$ درصد کاهش داد (جدول 3). تیلر و همکاران (Taylor et al., 2001) و براتی و غدیری (Barati & Ghadiri, 2015) نیز کاهش شاخص برداشت در اثر کمبود آب را نشان دادند و بیان کردند که تأثیر نامطلوب خشکی انتهای بر عملکرد دانه بیشتر از عملکرد زیست‌توده است. در آزمایش

گیاهی در خاک می‌تواند با توسعه تعداد پنجه‌های بارور به‌واسطه کاهش اثرات تنش آبی به افزایش عملکرد دانه در مناطق خشک منجر شود.

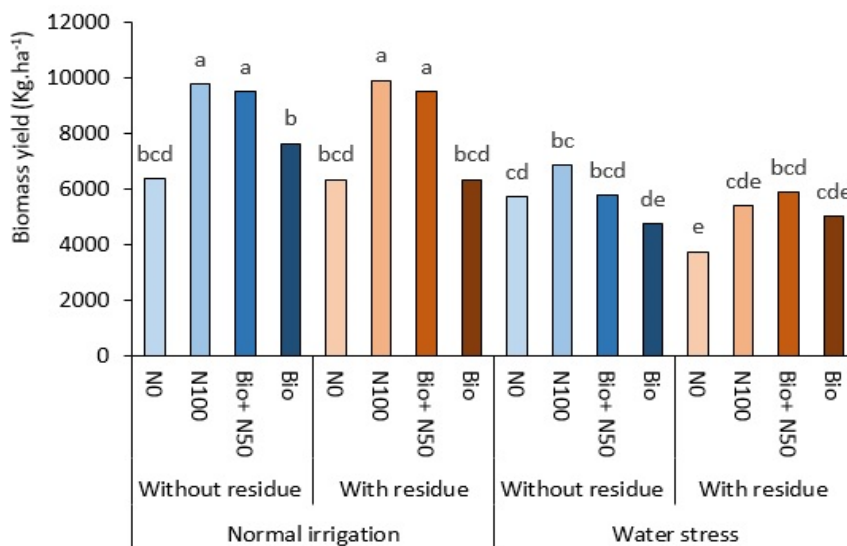
عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت

عملکرد زیست‌توده به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال پنج درصد) تحت تأثیر برهم‌کنش منبع نیتروژن \times بقایای گیاهی \times رژیم آبیاری قرار گرفت (جدول 2). بیشترین عملکرد زیست‌توده در تیمار آبیاری مطلوب و برگرداندن بقایا و کود نیتروژن (9921 کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد زیست‌توده نیز در تیمار تنش آبی و برگرداندن بقایا و شاهد نیتروژن (3745 کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (شکل 3). در شرایط آبیاری مطلوب و حذف بقایای تیمارهای کود نیتروژن و تلفیقی، عملکرد زیست‌توده را به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به‌میزان $54/2$ و $49/7$ درصد افزایش دادند. همچنین، در شرایط استفاده از بقایای تیمارهای کود نیتروژن و تلفیقی عملکرد زیست‌توده را به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به‌مقدار $56/7$ و $50/1$ درصد افزودند. در شرایط استفاده از بقایا و عدم استفاده از بقایا اگرچه تیمار کود نیتروژن خالص به‌طور جزئی نسبت به تیمار تلفیقی برتری نشان داد؛ اما، این دو تیمار اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل 3).

تنش آبی عملکرد زیست‌توده را در تمام منابع کود نیتروژن و در حضور و عدم حضور بقایا کاهش داد (شکل 3). در شرایط تنش آبی و حذف بقایا، تیمارهای کود نیتروژن و تلفیقی اختلاف معنی‌داری نداشتند. اما، هر دو تیمار عملکرد زیست‌توده را به‌ترتیب به‌میزان $19/9$ و $1/4$ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. در شرایط تنش آبی و حفظ بقایا، تیمارهای کود نیتروژن، تلفیقی و زیستی عملکرد زیست‌توده را به‌ترتیب به‌میزان‌های $44/5$ ، $57/1$ و 34 درصد افزودند. حضور بقایا در مزرعه سبب کاهش عملکرد زیست‌توده در شاهد نیتروژن ($34/4$ درصد) و حتی تیمار کود نیتروژن خالص ($20/1$) شد؛ اما، در تیمارهای زیستی و تلفیقی باعث افزایش عملکرد زیست‌توده به‌ترتیب به‌مقدار $5/8$ و $1/7$ درصد شد (شکل 3). کاهش عملکرد زیست‌توده در شرایط کمبود آب احتمالاً مرتبط با اسید آبسزیک تولید شده در سلول‌های گیاهی می‌باشد که فعالیت این هورمون سبب کاهش تقسیم سلولی می‌گردد. اسید آبسزیک تولید شده در اثر شرایط کم‌آبی سبب القای بیان ژنی می‌شود که از فعالیت پروتئین وابسته به سیکلین جلوگیری می‌کند. این پروتئین در فرآیندهای تقسیم سلولی مؤثر است

زیادی پنجه در واحد سطح تولید خواهند شد، که این پنجه‌ها دانه کمتری نسبت به ساقه اصلی تولید می‌کنند و یا این که دانه‌ای تولید نمی‌کنند و این باعث کاهش شاخص برداشت خواهد شد (Sieling et al., 1998). نتایج آزمایش حاضر نشان داد که شاخص برداشت در اثر کاربرد بقایای گیاهی به میزان (4/9 درصد) افزایش یافت (جدول 3) که با نتایج صادقی و کاظمینی (2015) (Sadeghi & Kazemini) مطابقت دارد.

حاضر، همه منابع کودی (صرف نظر از منبع آن) شاخص برداشت را کاهش دادند که این کاهش فقط در کود نیتروژن خالص معنی‌دار بود (جدول 3). براتی و غدیری (2016) (Barati & Ghadiri) نیز نشان دادند که استفاده از کود نیتروژن شاخص برداشت را نسبت به شاهد کاهش داد. کاهش شاخص برداشت به واسطه کاربرد کود نیتروژن به-ویژه در شرایط تنش آبی انتهایی به پدیده "hay off" نسبت داده می‌شود (Van Herwaarden et al., 1998). در این شرایط تعداد



شکل 3- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری، بقایا و منبع نیتروژن بر عملکرد زیست‌توده جو

Fig. 3- Interaction effect of irrigation regime, residue and nitrogen source on biomass yield of barley

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. N₀: صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار (شاهد)، N₁₀₀: 100 کیلوگرم نیتروژن در هکتار، Bio + N₅₀: کود زیستی (باکتری آزوسپیریلوم) + 50 کیلوگرم نیتروژن در هکتار و Bio: کود زیستی (باکتری آزوسپیریلوم).
The means followed the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan's multiple rang test. N₀, no nitrogen fertilizer (control); N₁₀₀, 100 kg N ha⁻¹; Bio + N₅₀, Biofertilizer (*Azospirillum brasilense*) + 50 kg N ha⁻¹ and Bio, Biofertilizer (*Azospirillum brasilense*).

جدول 5 ضرایب رگرسیون و احتمال معنی‌داری صفات ارزیابی شده در پیش‌بینی عملکرد دانه جو در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش خشکی پس از گل‌دهی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، معادله پیشگویی عملکرد دانه گندم در هر دو شرایط رطوبتی به‌صورت زیر فرموله شد:

$$GY = -3427.553 + 0.385 X_1 + 78.363 X_2 + 10.354 X_3 + 13.608 X_4 - 0.102 X_5 - 3.234 X_6 - 45.865 X_7 + 1.485 X_8$$

(شرایط مطلوب رطوبتی)

$$GY = -1753.207 + 0.398 X_1 + 52.580 X_2 - 4.633 X_3 + 4.146 X_4 + 0.049 X_5 + 0.830 X_6 - 66.073 X_7 - 4.074 X_8$$

(شرایط تنش آبی پس از گل‌دهی)

همبستگی ساده و تجزیه رگرسیون خطی چندگانه

عملکرد دانه در شرایط مطلوب رطوبتی با تمامی صفات مورد مطالعه به‌جز وزن هزار دانه و محتوای کلروفیل برگ پرچم همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول 5). بیشترین همبستگی عملکرد دانه در این شرایط با عملکرد زیست‌توده ($r=0/799^{**}$) و سپس با تعداد سنبله در مترمربع ($r=0/744^{**}$) و تعداد دانه در سنبله ($r=0/743^{**}$) بود. در صورتی که، بیشترین همبستگی عملکرد دانه در شرایط تنش آبی با عملکرد زیست‌توده ($r=0/773^*$) و بعد از آن با شاخص برداشت ($r=0/477^*$) مشاهده شد (جدول 5).

جدول 5- همبستگی ساده و ضریب رگرسیون (b)، اشتباه استاندارد (SE)، مقادیر t و احتمال معنی داری صفات در پیش بینی عملکرد دانه جو (کیلوگرم در هکتار) در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش آبی پس از گل‌دهی با استفاده از تجزیه رگرسیون خطی چندگانه

Table 5- Simple correlation and regression coefficient (b), standard error (SE), T-value and significance level in barley grain yield (kg.ha⁻¹) prediction under normal irrigation and water stress after anthesis conditions using multiple linear regression analysis

رژیم آبیاری Irrigation regime	صفات Characters	همبستگی ساده Simple correlation	ضریب رگرسیون Regression coefficient (b)	اشتباه استاندارد Standard error (SE)	مقدار t T-Value	احتمال معنی داری Sig. (Prob> T)
آبیاری مطلوب Normal irrigation	عملکرد زیست توده Biological yield (X ₁)	0.799**	0.385	0.044	8.810	0.000
	شاخص برداشت Harvest index (X ₂)	0.543**	78.363	4.708	16.646	0.000
	وزن هزار دانه 1000-grain weight (X ₃)	0.196 ^{ns}	10.354	14.401	0.719	0.483
	تعداد دانه در سنبله Seed no. per spike (X ₄)	0.743**	13.608	11.031	1.234	0.236
	تعداد پنجه در متر مربع Spike no. per meter (X ₅)	0.744**	-0.102	0.335	-0.305	0.764
	ارتفاع گیاه Plant height (X ₆)	0.445*	-3.234	6.418	-0.504	0.662
	طول سنبله Spike length (X ₇)	0.631**	-45.865	74.436	-0.616	0.547
	محتوای کلروفیل Chlorophyll content (X ₈)	0.309 ^{ns}	1.485	6.586	0.225	0.825
تنش آبی Water stress	عملکرد زیست توده Biological yield (X ₁)	0.773**	0.398	0.014	27.707	0.000
	شاخص برداشت Harvest index (X ₂)	0.477*	52.580	2.235	23.525	0.000
	وزن هزار دانه 1000-grain weight (X ₃)	0.104 ^{ns}	-4.633	3.512	-1.319	0.207
	تعداد دانه در سنبله Seed no. per spike (X ₄)	0.179 ^{ns}	4.146	3.562	1.164	0.263
	تعداد پنجه در متر مربع Spike no. per meter (X ₅)	0.178 ^{ns}	0.049	0.125	0.392	0.700
	ارتفاع گیاه Plant height (X ₆)	0.508*	0.830	2.358	0.352	0.730
	طول سنبله Spike length (X ₇)	0.263 ^{ns}	-66.073	21.435	-3.083	0.008
	محتوای کلروفیل Chlorophyll content (X ₈)	0.416*	-4.074	2.715	-1.500	0.154
آبیاری مطلوب Normal irrigation	Y-intercept (a) = -3427.553	SE = 761.271		Adjusted R ² = 0.977		R ² = 0.985
تنش آبی Water stress	Y-intercept (a) = -1753.207	SE = 205.846		Adjusted R ² = 0.989		R ² = 0.993

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد، ns: بدون اختلاف معنی دار.

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

وارد کرد و باعث کاهش اجزائی از عملکرد دانه شد که در این دوره شکل می‌گرفتند. از این‌رو، وزن هزار دانه در مرحله اول و سپس تعداد دانه در سنبله و تعداد پنجه بارور در مترمربع به‌ترتیب تحت تأثیر شدت تنش آبی قرار گرفتند. به دنبال آن عملکرد دانه نیز به‌واسطه تنش آبی انتهایی کاهش یافت و اما، این کاهش در تیمارهای مختلف کودی متفاوت بود. عملکرد دانه در شرایط عدم استفاده از کود نیتروژن (شاهد)، کود نیتروژن خالص (100 کیلوگرم نیتروژن در هکتار)، کود تلفیقی (50 کیلوگرم نیتروژن در هکتار + باکتری *آزوسپیریوم*) و کود زیستی (باکتری *آزوسپیریوم*) به‌ترتیب به‌مقدار 24/1، 46/8، 44/3 و 22/1 درصد کاهش یافت. بنابراین، چنان‌چه کشاورزان به‌دلیل کمبود منابع آب قصد قطع آبیاری پس از مرحله گل‌دهی در گیاه جو را داشته باشند، توصیه می‌شود که با توجه به کمترین مقدار کاهش عملکرد دانه در شرایط استفاده از کود زیستی (باکتری *آزوسپیریوم*) و پس از آن عدم استفاده از کود نیتروژن و همچنین عدم اختلاف معنی‌دار بین منابع مختلف نیتروژن در شرایط قطع آبیاری پس از گل‌دهی و ملاحظات اقتصادی، هیچ منبعی از کود نیتروژن را به‌کار نبرند. در شرایط آبیاری مطلوب نیز عملکرد دانه به‌واسطه کاربرد 100 کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کود تلفیقی (50 کیلوگرم نیتروژن در هکتار + باکتری *آزوسپیریوم*) به‌ترتیب به‌مقدار 45/1 و 50/9 درصد و به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. از آن‌جایی‌که اختلاف معنی‌داری بین کود نیتروژن خالص و کود تلفیقی وجود نداشت و با توجه به ملاحظات زیست‌محیطی و استراتژی حرکت به‌سمت کشاورزی کم‌نهاد در اکوسیستم‌های زراعی، استفاده از 50 کیلوگرم نیتروژن در هکتار به همراه باکتری *آزوسپیریوم* [به‌صورت بذرمال و سرک به‌ترتیب در مراحل پنجه‌زنی (کد زیداکس 21) و ساقه‌رفتن (کد زیداکس 31)] در شرایط مطلوب آبیاری توصیه می‌شود.

در این معادلات، GY : عملکرد دانه و X_1 تا X_8 : صفات مورد ارزیابی هستند. معادله‌های بالا به‌ترتیب 98/5 و 99/3 درصد از تغییرات درون صفات مرتبط با عملکرد دانه در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش آبی را توجیه می‌کنند و باقی تغییرات (1/5 و 0/7 درصد به‌ترتیب در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش آبی) ممکن است به‌واسطه سایر اثرات باقی مانده باشد (جدول 5). با توجه به آزمون t در شرایط مطلوب رطوبتی، شاخص برداشت و عملکرد زیست‌توده (در سطح احتمال $p < 0/001$) به‌طور معنی‌داری در عملکرد دانه مشارکت داشتند. به‌علاوه، این آزمون نقش معنی‌دار این دو صفت (در سطح $p < 0/001$) و همچنین طول سنبله (در سطح $p = 0/008$) در عملکرد دانه در شرایط تنش آبی را نیز اثبات کرد. اما، سایر صفات نقش معنی‌داری در عملکرد دانه ایفا نکردند (جدول 5).

بنابراین، با توجه به همبستگی ساده و رگرسیون خطی چندگانه، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت در شرایط مطلوب و تنش آبی، جهت دسترسی به عملکرد دانه بیشتر مورد تأکید خواهد بود. به‌علاوه، لیل و الخطیب (Leilah & Al-Khateeb, 2005) نیز با بررسی ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش آبی، این صفات را به‌عنوان صفات مؤثر بر عملکرد دانه معرفی کردند. هی و والکر (Hay & Walker, 1989) نیز گزارش کردند که افزایش مجموع ماده خشک تولیدی، ضمن نگهداری شاخص برداشت کنونی، محتمل‌ترین روش افزایش بیشتر عملکرد دانه در گندم است. به‌علاوه، رینولدز و همکاران (Reynolds et al., 2009) نیز بیان کردند که زمانی افزایش در عملکرد زیست‌توده گیاه گندم مفید خواهد بود که سهم اندام‌های اقتصادی آن (شاخص برداشت) نیز افزایش یابد.

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که قطع آبیاری پس از گل‌دهی تنش آبی شدیدی را در دوره پر شدن دانه بر گیاه جو

References

- Ajam-norazi, H., Dadashi, M.R., Faraji, A., Mosanaiey, H., and Pesarakli, M., 2016. The simultaneous effect of seed quality, plant density, and nitrogen fertilizer on physiological and yield characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research* 11(44): 20-32. (In Persian with English Summary)
- Alizadeh, A., 2001. Soil-water-plant relationship. Emam Reza University, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Amoo-Aghaie, R., Mostajeran, A., and Emtiazi, G., 2004. Effect of *Azospirillum* bacteria on some growth parameters and yield of three wheat cultivars. *Journal of Water and Soil Science* 7(2): 127-138. (In Persian with English Summary)

Summary)

Anderson, D., and Russell, G., 1964. Effects of various quantities of straw mulch on the growth and yield of spring and winter wheat. *Canadian Journal of Soil Science* 44(1): 109-118.

Arzanes, M.H., Alikhani, H., Khavazi, K., Rahimian, H., and Miransari, M., 2010. Wheat (*Triticum aestivum* L.) growth enhancement by *Azospirillum* sp. under drought stress. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 27: 197-205.

Azadi, S., Siadat, S., Naseri, R., Soleiman-fard, A., and Mirzai, A., 2015. Effect of integrated application of *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum brasilense* and nitrogen chemical fertilizers on qualitative and quantitative of durum wheat. *Journal of Crop Ecophysiology* 26(2): 129-146. (In Persian with English Summary)

Bahari-Saravi, S., and Pirdashti, H., 2014. Evaluation of application of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and phosphate solubilizer (PSM) on yield and yield components of wheat (N80) in different levels of nitrogen and phosphorus in greenhouse conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10(4): 681-689. (In Persian with English Summary)

Barati, V., and Ghadiri, H., 2016. Effects of drought stress and nitrogen fertilizer on yield, yield components and protein content of two barley cultivars. *Journal of Crop Production and Processing* 6(20): 191-207. (In Persian with English Summary)

Barati, V., Ghadiri, H., Zand-Parsa, S., and Karimian, N., 2015. Nitrogen and water use efficiencies and yield response of barley cultivars under different irrigation and nitrogen regimes in a semi-arid mediterranean climate. *Archives of Agronomy and Soil Science* 61(1): 15-32.

Barik, A., and Goswami, A., 2003. Efficacy of biofertilizers with nitrogen levels on growth, productivity and economics in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Indian Journal of Agronomy* 48: 100-102.

Bredemeier, C., 2005. Laser-induced chlorophyll fluorescence sensing as a tool for site-specific nitrogen fertilizer evaluation under controlled environmental and field conditions in wheat and maize. Ph.D. Dissertation, Technical University of Munich, Germany.

Compant, S., Van Der Heijden, M.G., and Sessitsch, A., 2010. Climate change effects on beneficial plant-microorganism interactions. *FEMS Microbiology Ecology* 73(2): 197-214.

Cox, W.J., and Jolliff, G.D., 2007. Growth and yield of durum wheat under soil water deficits. *Agronomy Journal* 78: 226-230.

Creus, C.M., Pereyra, M.A., Casanovas, E.M., Sueldo, R.J., and Barassi, C.A., 2010. Plant growth-promoting effects of rhizobacteria on abiotic stressed plants. *Azospirillum*-grasses model. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology* 4(1): 49-59.

Demir, A.O., Goksoy, A.T., Buyukcangaz, H., Turan, Z.M., and Koksai, E.S., 2006. Deficit irrigation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in a sub-humid climate. *Irrigation Science* 24(4): 279-289.

Dideban, B., Beygi, D., Nabi, A., and Sadeghi, L., 2012. Effect of different levels of nitrogen fertilizer on chlorophyll of rapeseed (*Brassica napus* L.). First National Conference on Agriculture in Difficult Environmental Conditions, Islamic Azad University-Ramhormoz Branch, Ramhormoz, Iran, 10 May 2012. (In Persian)

Fadaei, A., Gholami, A., Ramezan-pour, M., and Abbas-doust, H., 2014. The effect of combination of organic and chemical fertilizers on some growth characteristics of wheat. the First National Conference on the New Opportunities for Agricultural Production and Employment in the East of the Country, Birjand University, Birjand, Iran, 14 February 2014. (In Persian)

Fallah-Heravi, A., Abbasdukht, H., Zare-Feizabadi, A., and Gholami, A., 2015. Effects of conventional and conservation tillage with management residue on wheat (*Triticum aestivum* L.) physiological properties. *Iranian Journal of Field Crop Science* 47: 277-289. (In Persian with English Summary)

Farhoodi, R., Chaichi, M.R., Majnoun-hosseini, N., and Savaghebi, G., 2008. Effect of wheat residue management on soil properties and sunflower yield in double cropping system. *Iranian Journal of Field Crop Sciences* 39(1): 11-21. (In Persian with English Summary)

Foroud, N., Mundel, H.H., Saindon, G., and Entz, T., 2008. Effect of level and timing of moisture stress on soybean yield, protein, and oil responses. *Field Crops Research* 31: 195-209.

Grimes, D., Yamada, H., and Hughes, S., 1987. Climate-normalized cotton leaf water potentials for irrigation scheduling. *Agricultural Water Management* 12: 293-304.

Hadi, H., Babaei, N., Daneshian, J., Arzanes, M., and Hamidi, A., 2012. Effects of *Azospirillum lipoferum* on

seedling characteristics derived from sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed water deficit conditions. Journal of Agroecology 3(3): 320-327. (In Persian with English Summary)

Hegde, D., Dwivedi, B., and Sudhakara Babu, S., 1999. Biofertilizers for cereal production in India: A review. Indian Journal of Agricultural Science 69: 73-83.

Heydarian-burkhub, Z., Asgharzadeh, N., and Sarikhani, M., 2011. A look at the importance of *Azospirillum* bioactive fertilizers and their application in sustainable agriculture. First Congress on Fertilizer Challenges in Iran, Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran, 1 March 2011. (In Persian)

Hay, R.K.M., and Walker, A.J., 1989. An introduction to the physiology of crop yield. Longman Scientific and Technical, Harlow, England.

Hojati-pour, I., Jafari haghghi, B., and Dorostkar, M., 2014. The effect of integration of biological and chemical fertilizers on yield, yield components and growth indexes of wheat. Journal of Ecophysiology 15: 36-48. (In Persian with English Summary)

Institute S., 2004. SAS/GRAPH 9.1 Reference. SAS Institute.

Kamali, M., Shoor, M., Nemati, S., Lakzian, A., and Khazaei, H., 2018. Evaluate the effect of deficit irrigation on water relations, growth and physicochemical changes in Petunia (*Petunia garandiflora*) var. "Supercascade", "Tango Blue" and "Tango White". Journal of Plant Process and Function 7(23): 283-296. (In Persian with English Summary)

Kandil, A.A., El-Hindi, M.H., Badawi, M.A., El-Morarsy, S.A., and Kalboush, F.A.H.M., 2011. Response of wheat to rates of nitrogen, biofertilizers and land leveling. Crop Environment 2(1): 46-51.

Kapulnik, Y., Gafny, R., and Okon, Y., 2010. Effect of *Azospirillum* spp. inoculation on root development and NO₃ uptake in wheat in hydroponic system. Canadian Journal of Botany 63: 627-631.

Kasim, W.A., Gaafar, R.M., Abou-Ali, R.M., Omar, M.N., and Hewait, H.M., 2016. Effect of biofilm forming plant growth promoting rhizobacteria on salinity tolerance in barley. Annals of Agricultural Sciences 61(2):217-227.

Kennedy, I.R., Choudhury, A.T.M.A., and Kecskés, M.L., 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? Soil Biology and Biochemistry 36: 1229-1244.

Keshavarz-nezhad, A., Kazemini, S.A.R., and Bahrani, M.J., 2014. Yield and nitrogen use efficiency of wheat as influenced by different levels of nitrogen and corn, rapeseed, sunflower and wheat residues. Journal of Crop Production and Processing 3(10): 181-191. (In Persian with English Summary)

Khosravi, H., 2015. *Azotobacter* and its role in soil fertility management. Land Management Journal 2(2): 79-94. (In Persian with English Summary)

Kumar, K., and Goh, K., 1999. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. Advances in Agronomy 68: 197-319.

Leilah, A.A., and Al-Khateeb, S.A., 2005. Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. Journal of Arid Environment 61: 483-496.

Liu, X.L., Gao, Z., Liu, C.S., and Si, L.Z., 1996. Effect of combined application of organic manure and fertilizers on crop yield and soil fertility in a located experiment. Acta Pedologica Sinica 33: 138-147.

Marulanda, A., Barea, J.M., and Azcón, R., 2009. Stimulation of plant growth and drought tolerance by native microorganisms (AM fungi and bacteria) from dry environments: mechanisms related to bacterial effectiveness. Journal of Plant Growth Regulation 28(2): 115-124.

Pazoki, A., 2016. Effects of humic acid and plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) on yield and yield components of durum wheat under drought stress condition in Shahr-e-Rey region. Cereal Research 6:105-117. (In Persian with English Summary)

Pour-eid, S., Habibi, D., and Tohidlou, Q., 2013. The study of the effect of growth promoting bacteria (*Pseudomonas*, *Azospirillum*) and nitrogen fertilizers on wheat growth and yield. First National Conference on Sustainable Agricultural Development and Healthy Environment, Hamedan, Iran. 26 February 2013. (In Persian)

Rahimzade, S., Sohrabi, Y., Heidari, R., and Pirzade, R., 2011. The effect of biofertilizers on some morphological traits and performance of medicinal herbs. Journal of Horticulture Sciences 25: 335-334. (In Persian with English Summary)

Remans, R., Croonenborghs, A., and Gutierrez, R., 2010. Effects of plant growth prompting rhizobacteria on nodulation of *Phaseolus vulgaris* L. are dependent on plant P nutrition. European Journal of Plant Pathology 119: 341-351.

- Reynolds, M., Foulkes, J., Slafer, G.A., Berry, P., Parry, M.A.J., Snape, J.W., and Angus, W.J., 2009. Raising yield potential in wheat. *Journal of Experimental Botany* 68:183-190.
- Sadeghi, H., and Bahrani, M.J., 2009. Effects of crop residue and nitrogen rates on yield and yield components of two dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Plant Production Science* 12: 497-502.
- Sadeghi, H., and Kazemeini, S.A.R., 2015. Effect of crop residue management and nitrogen fertilizer on grain yield and yield components of two barley cultivars under dryland conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences* 13(3): 436-451. (In Persian with English Summary)
- Sandhya, V., Ali, S., Grover, M., Kishore, N., and Venkateswarlu, B., 2010. *Pseudomonas* sp. strain P45 protects sunflowers seedlings from drought stress through improved soil structure. *Journal of Oilseed Research* 26: 600-601.
- Sarig, S., Blum, A., and Okon, Y., 1988. Improvement of the water status and yield of field-grown grain sorghum (*Sorghum bicolor*) by inoculation with *Azospirillum brasilense*. *The Journal of Agricultural Science* 110: 271-277.
- Shahpary, F., and Fateh, E., 2016. Different residue type and management and nitrogen on yield and quality of durum wheat (*Triticum durum* L.) *Journal of Crop Production* 9(3): 87-104. (In Persian with English Summary)
- Sharma, A.K., 2003. *Biofertilizers for sustainable agriculture*. Agrobios, India.
- Sieling, K., Schroder, H., Finck, M., and Hanus, H., 1998. Yield, N uptake and apparent N use efficiency of winter wheat and winter barley grown in different cropping systems. *The Journal of Agricultural Science* 131(4): 375-387.
- Siosemarde, A., Fateh, H., and Badakhshan H., 2014. Responses of photosynthesis, cell membrane stability and antioxidative enzymes to drought stress and nitrogen fertilizer in two barley (*Hordeum vulgare*) cultivars under controlled condition. *Iranian Journal of Field Crops Research* 12(2): 215-228. (In Persian with English Summary)
- Sohrabi, S., Fateh, A., Aeenband, A., and Rahnama, A., 2015. Evaluation the effect of the residue management and different nitrogen sources on wheat yield and components. *Journal of Agroecology* 6(3): 645-655. (In Persian with English Summary)
- Somasegaran, P., and Hoben, H.J., 2012. *Handbook for rhizobia: methods in legume-rhizobium technology*. Springer Science and Business Media, University of Hawaii, New York, USA.
- Taiz, L., and Zeiger, E., 2010. *Plant physiology*. Sinauer Associates, Sunderland, Mass.
- Tale, A., and Haddad, R., 2011. Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* 47: 17-27.
- Taylor, A.J., Smith, C.J., and Wilson, I.B., 2001. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on yield, oil content, nitrogen accumulation and water use of canola (*Brassica napus* L.). *Fertilizer Research* 29:249-260.
- Torbert, H.A., Potter, K.N., Hoffman, D.W., Gerik, T.J., and Richardson, C., 2000. Surface residue and soil moisture affect fertilizer loss in simulated runoff on a heavy clay soil. *Agronomy Journal* 91: 606-612.
- Van Herwaarden, A., Farquhar, G., Angus, J., Richards, R., and Howe, G., 1998. 'Haying-off', the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertilizer. I. Biomass, grain yield, and water use. *Australian Journal of Agricultural Research* 49: 1067-1082.
- Wallace, J., Frick, B.L., Telford, L., and Martens, J.T., 2017. *Organic Field Crop Handbook*. Canadian Organic Growers, Ottawa, Ontario, Canada. 422p.
- Wu, S., Cao, Z., Li, Z., Cheung, K., and Wong, M., 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma* 125: 155-166.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., and Konzak, C.F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.



Effects of Different Nitrogen Fertilizer Sources and Crop Residues on Yield and Yield Components of Barley (*Hordeum vulgare* L.) under Late Season Water Stress

M. Niazi Ardakani¹, V. Barati^{2*}, E. Bijanzadeh³ and A. Behpouri²

Submitted: 09-04-2019

Accepted: 01-07-2019

Niazi Ardakani, M., Barati, V., Bijanzadeh, E., and Behpouri, A., 2020. Effects of different nitrogen fertilizer sources and crop residues on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) under late season water stress. Journal of Agroecology 12 (1): 107-126.

Introduction

Inappropriate use of chemical inputs damages soil beneficial microorganisms and consumer health. In order to reduce or eventually eliminate chemical inputs, bio-agroecosystems was founded. *Azospirillum* is one of the most studied genera as nitrogen fixing bacteria in agroecosystems. About 70 percent of the experiments have demonstrated the *Azospirillum* ability for increasing crop yield. Furthermore, some studies have shown that *Azospirillum* has a stress-reduction mechanism. Therefore, it seems that the *Azospirillum* is a suitable microorganism for low yielding conditions (water and N) of southern Iran. On the contrary, with respect to the importance of soil organic matter for microorganisms survival, its deficiency in soils of southern Iran is the biggest challenge for using the microorganisms as biofertilizers. Also, experiments on the interactive effects of crop residue, water deficiency and N sources (biological or chemical) on barley yield are quite scarce in southern Iran. Therefore, the aims of this study were to investigate the effects of crop residue management, different N sources (such as biological and chemical) and water stress conditions on barley yield in arid conditions of southern Iran (Fars province).

Materials and Methods

This research was conducted at the experimental farm of the Darab Agricultural College of Shiraz University during the 2017-2018 growing season. A split factorial layout based on a randomized complete block design with three replications was used. Treatments included: two irrigation levels as the main plots [1. Normal (IR_N): irrigation based on the plant's water requirement up to the physiological maturity and 2. Deficit irrigation (IR_{DI}): irrigation based on the plant's water requirement up to the anthesis stage (cutting of irrigation after anthesis)]. Also, subplots were two levels of plant residues [1. without residue, 2. returning 30% of wheat residues to soil] and four fertilizer sources [N_0 , no nitrogen fertilizer (control); N_{100} , 100 kg N ha⁻¹; Bio + N_{50} , Biofertilizer (*Azospirillum brasilense*) + 50 kg N ha⁻¹ and Bio, Biofertilizer (*Azospirillum brasilense*)]. Biological yield and grain yield, yield components, plant height, spike length and chlorophyll content of flag leaf were measured. Then, the harvest index was calculated. Data were analyzed by using SAS 9.1 software and the means were separated using Duncan's multiple range test at 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that the cutting of irrigation after anthesis could cause severe water stress in the grain-filling period of the barley life cycle and consequently reduction of 1000-seed weight, the number of seeds per spike and the number of fertile tillers per m². The interaction effect of irrigation regime × N fertilizer source on grain yield was significant at 1% probability level. The highest grain yield was achieved in IR_N and Bio + N_{50} (4049 kg ha⁻¹). Water stress reduced grain yield at all N fertilizer sources as compared with IR_N . However, this reduction was different in N fertilizer sources (24.1%, 46.8%, 44.3% and 22.1% in N_0 , N_{100} , Bio + N_{50} and Bio, respectively). With respect to the lowest amount of grain yield reduction due to water stress in Bio and then in N_0 treatments and economic considerations, N_0 treatment can be recommended for use in the cutting of irrigation after anthesis (IR_{DI}) strategy.

Conclusion

1, 2 and 3- MSc. Student, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Agro-ecology, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, shiraz, Iran.

(* - Corresponding Author Email: v.barati@shirazu.ac.ir)

Doi:10.22067/jag.v12i1.79989

According to the results of this study, the highest barley grain yield achieved by the integrated N fertilizer [Biofertilizer (*Azospirillum brasilense*) + 50 kg N ha⁻¹] in normal irrigation. Deficit irrigation after anthesis significantly decreased barley grain yield at all N sources. Therefore, this irrigation regime was not recommended for barley farms of southern Iran. But if farmers intend to the cutting of irrigation after anthesis because of water resources deficiency, with respect to the lack of significant difference among N sources in this condition, it is recommended that no N fertilizer is applied.

Keywords: *Azospirillum* bacteria, Biomass yield, Harvest index, Inoculation