Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No. 2, 2025, p. 219-238

Yield, Yield Components, and Gas Exchange in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Cultivars Affected by the Applications of Different Sources of Fertilizer under Dryland Farming

Rahim Naseri[1*]
1- Assistant Professor, Department of Plant Production Technology, Dehloran Faculty of Agriculture and Engineering, Ilam University, Ilam, Iran.
(*- Corresponding author's Email: r.naseri@ilam.ac.ir)

Received: 02-01-2023
Revised: 25-02-2023
Accepted: 09-05-2023
Available Online: 27-07-2025

How to cite this article:
Naseri, R. (2025). Yield, yield components, and gas exchange in Barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars affected by the applications of different sources of fertilizer under dryland farming. *Journal of Agroecology*, *17*(2), 219-238. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/agry.2023.80366.1138

Introduction

Rainfed farming plays an important role in the food production of many countries in the semi-arid regions of the world and includes 80% of the total usable agricultural land. Barley is cultivated in most parts of the world in areas that are threatened by moisture stress, the lack of which affects different stages of plant growth from germination to seed set, and finally affects the grain yield. Studies show that the stress caused by the lack of water in plants is one of the important factors in crop reduction in semi-arid regions. Application of biofertilizers improves yield by improving the physical properties of the soil, increasing soil fertility, and increasing the availability of nutrients for plant uptake, among which mycorrhizal fungi are considered the most important microorganisms. Mycorrhizal fungi are effective in nutrient uptake, including phosphorus, water uptake in dehydrated conditions, hormone production, modulation of environmental stresses, improvement of root growth, and effect on soil granulation. Since not much research has been done on the application of mycorrhizal fungi on dryland barley in the country and especially in Ilam province, the present experiment was conducted to investigate the effect of mycorrhizal fungi on yield, yield components, and gas exchanges of dryland barley.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of mycorrhiza inoculation on yield and yield components and gas exchange of barley cultivars under rainfed conditions, a field experiment was carried out in factorial analysis based on a randomized complete block design with three replications at the farm of Sarablah Agricultural Research Center station during the 2019-2020 cropping season. Experimental treatments include barley cultivars (Mahali, Mahour, Khorram, and Fardan) and fertilizer sources treatment, including control (no fertilizer source), 50% phosphorus fertilizer, mycorrhizal fungi (Glomus mosseae, Glomus etunicatum, and Rhizophagus irregularis), and Mycorrhizal fungi were +50% phosphorus fertilizer and 100% phosphorus fertilizers. In this study, the length of each plot was four meters, the number of rows in each plot was eight rows, and the distance between the rows was 20 cm. The measured traits were: yield and yield components, as well as gas exchanges, including photosynthetic rate, transpiration rate, photosynthetic water consumption efficiency, mesophilic conductance, co_2, and leaf temperature.

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https://doi.org/10.22067/agry.2023.80366.1138

The effect of the treatments on yield and yield components and gas exchange of the barley cultivars in the field was assessed using SAS; software, means were compared by Duncan's multiple range test method, and graphs were drawn using Excel software.

Results and Discussion

The results of this study showed that the interaction of cultivar×fertilizer sources on yield, grain yield components, as well as gas exchange characteristics, including photosynthetic mesoton, transpiration rate, photosynthetic water consumption efficiency, mesophilic conductance, substomatal carbon dioxide concentration, and leaf temperature in rainfed barley was significant. So that the maximum number of seeds per spike (32.3 seeds), 1000-grain weight (38.5 g), grain yield (4238.3 kg/ha), biomass yield (10123.3 kg/ha), photosynthesis rate (5.7 µmol Co^2 $m^{-2}s^{-1}$), transpiration rate (4 mmol H_2o $m^{-2}s^{-1}$), mesophilic conductivity (0.019 mmol co_2 $M^{-2}S^{-1}$) and water use efficiency Photosynthesis (µmol co_2 $mol^{-1}H_2o$) was obtained in Fardan cultivar ×Mycorrhiza+50% of phosphorus fertilizer compared to the control (no fertilizer source was used).

Conclusion

The results of this study showed that under rainfed conditions, yield and yield components, photosynthesis rate, transpiration rate, mesophilic conductance, and photosynthetic water use efficiency in all cultivars of barley were significantly reduced. However, the use of mycorrhizal fungi in dryland conditions improved grain yield and gas exchanges. In this study, Barley Fardan×application of Mycorrhizal fungi caused a significant increase in yield and grain yield components by increasing photosynthesis and increasing photosynthetic water use efficiency, as well as decreasing leaf temperature.

Keywords: Mesophilic conductivity, Photosynthesis, Photosynthetic water use efficiency, Transpiration, 1000-grain weight

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱٤۰٤، ص ۲۳۸-۲۱۹

عملکرد، اجزاء عملکرد دانه و تبادلات گازی ارقام جو زراعی (*Hordeum vulgare* L.) تحت کاربرد منابع مختلف کودی در شرایط دیم

رحیم ناصری [۱*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۹

چکیده

استفاده کودهای زیستی از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و افزایش حاصلخیزی خاک و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی قابل جذب توسط گیاه، سبب بهبود رشد گیاه میزبان می‌گردد. قارچ میکوریزا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ریزموجودات زنده موجود در خاک، بر جذب عناصر غذایی از جمله فسفر، جذب آب در شرایط کم‌آبی، تعدیل تنش‌های محیطی، بهبود رشد ریشه و تأثیر بر رشد و عملکرد دانه می‌تواند مؤثر می‌باشد، به همین منظور آزمایشی مزرعه‌ای جهت بررسی اثر منابع کودی بر عملکرد دانه و تبادلات گازی ارقام جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط دیم، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۹- ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ارقام جو (توده محلی، ماهور، خرم و فردان و منابع کودی شامل شاهد (عدم مصرف منبع کودی)، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده، قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*، *Glomus etunicatum* و *Rhizophagus irregularis*)، قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که برهم‌کنش رقم × منابع کودی بر عملکرد، اجزاء عملکرد دانه و تبادلات گازی در ارقام مختلف جو دیم معنی‌دار بود. براساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین عملکرد، اجزاء عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، میزان فتوسنتز، سرعت تعرق، هدایت مزوفیلی و کارآیی مصرف آب فتوسنتزی در جو رقم فردان × قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر به‌دست آمد و کمترین میزان عملکرد و اجزاء عملکرد و همچنین میزان فتوسنتز، سرعت تعرق، هدایت مزوفیلی و کارآیی مصرف آب فتوسنتزی در توده محلی × شاهد (عدم مصرف منبع کودی) مشاهده شد. بنابراین، با توجه به نتایج این پژوهش رقم جو فردان × کاربرد قارچ میکوریزا به‌واسطه افزایش میزان فتوسنتز و کارآیی مصرف آب فتوسنتزی و همچنین کاهش دمای برگ موجب افزایش قابل توجه عملکرد و اجزاء عملکرد دانه شد.

واژه‌های کلیدی: تعرق، فتوسنتز، کارآیی مصرف آب فتوسنتزی، وزن هزار دانه، هدایت مزوفیلی

مقدمه

افزایش عملکرد گیاهان زراعی یکی از رویکردهای مهم کشاورزی در راستای تأمین نیاز غذایی جمعیت رو به رشد جهان به حساب می‌آید بخش زیادی از زمین‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار داشته و تولید گیاهان زراعی در این مناطق، مبتنی بر زراعت دیم حدود ۸۰ درصد سطح زیرکشت و دو سوم تولید کل غذای جهان را به خود اختصاص داده است و نقش کلیدی در تضمین امنیت غذایی و حفظ تعادل اکولوژیکی به‌خصوص در مناطق در حال توسعه دارد (Karimi & Joleini, 2019; Wu et al., 2022). با توجه به اینکه بسیاری از مناطق جهان جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آیند، پیدا کردن روش‌هایی جهت کاهش میزان افت عملکرد دانه در شرایط کمبود آب ضروری است (Raei et al., 2015). در گزارش‌های مختلف نیز نشان داده شده‌است که قارچ میکوریزا یک تکنیک سازگار با محیط زیست و بیولوژیکی برای افزایش عملکرد

۱- استادیار، گروه تکنولوژی تولیدات گیاهی، آموزشکده فنی مهندسی و کشاورزی دهلران، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: r.naseri@ilam.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2023.80366.1138

محصولات و تضمین امنیت غذایی می‌باشد، به‌طوری‌که کاربرد قارچ میکوریزا سبب بهبود عملکرد دانه در سویا در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح با قارچ میکوریزا) گردید (Nakhzari Moghaddam et al., 2020; Jerbi et al., 2022; Dobo et al., 2022). افزایش میزان تبادلات گازی در کاربرد قارچ میکوریزا نیز نشان داده‌شده است، به‌طوری‌که کاربرد قارچ میکوریزا در ذرت موجب افزایش فتوسنتز به‌میزان ۲۰ درصد در مقایسه با تیمار کاربرد قارچ میکوریزا گردید (Naghashzadeh et al., 2014). در گزارش‌های قلی‌نژاد و درویش‌زاده (Gholinezhad & Darvishzadeh, 2015) نشان داده شد که استفاده از سویه‌های مختلف قارچ میکوریزا نسبت به شاهد (عدم مصرف قارچ میکوریزا) موجب افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.) شد. گزارش‌های ناصری و همکاران (Naseri et al., 2022) نشان داده شد که استفاده از قارچ میکوریزا بر خصوصیات زراعی گندم (*Triticum aestivum* L.) معنی‌دار بوده، به‌طوری‌که عملکرد و اجزاء عملکرد دانه به‌طور قابل توجهی افزایش نشان داد. به نظر می‌رسد که قارچ با راهکارهای گوناگونی از جمله بهره‌برداری حجم بیشتری از خاک، بالابودن سرعت و میزان جذب فسفر توسط هیف قارچ‌های میکوریزا موجب افزایش جذب فسفر توسط گیاهان میزبان می‌گردد (Naseri, 2017). در گزارش‌های سایر پژوهشگران نیز نشان داده شد که قارچ میکوریزا از طریق افزایش عناصر غذایی مثل فسفر و نیتروژن سبب بهبود رشد و عملکرد در گیاه زراعی برنج می‌گردد (Chareesri et al., 2020). در گیاه ذرت نیز نشان داده شد که قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices*) سبب افزایش عملکرد علوفه و ماده خشک گردید (Celebi et al., 2010). در گزارش‌های مشابه نیز نشان داده شد که عملکرد و اجزاء عملکرد جو زراعی (*Hordeum vulgare* L.) در حضور قارچ میکوریزا معنی‌دار گردید، به‌گونه‌ای که وزن دانه و تولید دانه به‌ترتیب ۹۰ و ۶۸ درصد افزایش نشان دادند (Jerbi et al., 2022). در آمایش‌های انجام صورت گرفته روی سورگوم نیز نشان داده شد که در حضور قارچ میکوریزا عملکرد و شاخص‌برداشت در مقایسه با شاهد (عدم مصرف قارچ میکوریزا) افزایش یافتند (Watts-Williams et al., 2020). در سایر گزارش‌های پژوهشگران نیز نشان داده شده است که کاربرد کودهای زیستی تأثیر معنی‌داری بر تبادلات گازی بر گندم از خود نشان داده، به‌طوری‌که میزان فتوسنتز خالص، هدایت مزوفیلی و کارآیی مصرف آب فتوسنتزی افزایش معنی‌داری از خود نشان دادند (Naseri et al., 2021). با توجه به اینکه هدف از انجام تحقیقات در زراعت دیم به حداقل رساندن، تنش‌های وارده به گیاه باشد و ازآنجایی¬که در کشت دیم گیاه نیاز آبی خود را از بارندگی به‌دست می‌آورد، معمولاً نیاز آبی گیاه از این طریق جبران نمی‌شود، بنابراین کاهش نزولات جوی و پراکنش نامناسب آن در کنار مشکلات تغذیه‌ای، تولید محصولات دیم را با چالش جدی مواجه ساخته است و کاربرد قارچ میکوریزا در شرایط دیم در کنار تکنیک‌های مدیریت بهره‌برداری از آب باران به‌عنوان راه‌حلی برای بهبود عملکرد در واحد سطح می باشد. بنابراین، ازآنجاکه مطالعات در مورد کاربرد قارچ میکوریزا بر جو دیم در شرایط دیم منطقه انجام نشده است، آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر قارچ میکوریزا بر عملکرد، اجزاء عملکرد و تبادلات گازی در ارقام جدید جو زراعی در شرایط دیم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سرابله، شهرستان چرداول، استان ایلام در سال زراعی ۹۹- ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ارقام جو (محلی، ماهور، خرم و فردان) و تیمار منابع کودی شامل شاهد (عدم مصرف منبع کودی)، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر (۲۵ کیلوگرم در هکتار)، قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*، *Glomus etunicatum* و *Rhizophagus irregularis*)، قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر (۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل) بودند. در این پژوهش، طول هر کرت چهار متر، تعداد ردیف در هر کرت هشت ردیف و فاصله بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر ارزیابی شد. قارچ میکوریزا از بخش بیولوژی خاک مؤسسه خاک و آب کرج تهیه شد. در این پژوهش، میزان تراکم بوته در مترمربع ۲۰۰ بوته در نظر گرفته شد. رقم‌های جو مورد بررسی در این پژوهش که در منطقه کشت می‌گردند، از مرکز تحقیقات کشاورزی ایلام و از طبقه گواهی شده تهیه گردید. مشخصات رقم‌های جو مورد بررسی در این آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. قبل از کاشت گندم، قارچ میکوریزا که هر گرم آن دارای ۷۰ اسپور زنده، با بذرها تلقیح و آغشته شد که پس از تهیه کردن بستر کاشت، بذور تلقیح شده در ردیف‌های کاشت مورد نظر قرار گرفت و با خاک پوشانده شدند. این پژوهش در تاریخ

۱۰ آذرماه انجام گردید. آمار هواشناسی منطقه مورد پژوهش در جدول ۲ نشان شده است. براساس آزمون خاک که قبل از کاشت صورت گرفت، کود نیتروژن مورد نیاز گیاه به‌مقدار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره) در مرحله (کاشت و شروع ساقه‌دهی) به زمین داده شد. کود فسفر مورد نیاز تیمارهای آزمایشی نیاز گیاه از منبع سوپرفسفات تریپل در زمان کاشت به‌صورت نواری به‌میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد (جدول ۳).

به‌منظور اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز، میزان تعرق، غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای و دمای برگ در مرحله گرده‌افشانی (۱۴۸ روز پس از کاشت) از دستگاه فتوسنتزمتر (Plant Photosynthesis Meter Korea TECH) استفاده گردید. برای این کار، برگ پرچم طوری قرار داده شد که سطح فوقانی برگ به‌طرف بالا قرارمجوع گیرد تا نور کافی دریافت نماید. بعد از ۴۵ ثانیه توسط دستگاه عدد ثبت گردید. اندازه‌گیری‌ها در فاصله ساعت۱۰ تا ۱۲ انجام شد (Saeidi et al., 2010).

جدول ۱- خصوصیات ارقام جو مورد بررسی در این آزمایش

Table 1- Barley cultivars characterstics in this experiment

ارقام Cultivars	منشأ Source	تنش خشکی Drought stress	سال معرفی Release year	اقلیم Clamate
ماهور Mahoor	ICARDA	متحمل Tolerant	1386	گرمسیر و نیمه‌گرمسیر Warm and semi-warm
خرم Khorram	ICARDA	متحمل Tolerant	1390	گرمسیر و نیمه‌گرمسیر Warm and semi-warm
فردان Fardan	ICARDA	متحمل Tolerant	1397	گرمسیر و نیمه‌گرمسیر Warm and semi-warm

جدول ۲- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش و رطوبت در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۹- ۱۳۹۸

Table 2- Monthly mean value of precipitation and relative humidity in Agricultural Research Field Station of Sarableh during 2019-2020 cropping seasons

ماه Month	حداقل دما Min temp. (°C)	حداکثر دما Max temp. (°C)	میزان بارش Precipitation (mm)	حداقل رطوبت Min. RH (%)	حداکثر رطوبت Max. RH (%)
مهرماه Oct.	13.2	37.2	15	18	41
آبان Nov.	0.8	27.2	44.6	33	73
آذر Dec.	0.2	19.6	134.4	53	83
دی Jan.	-2	16.4	37.4	47	84
بهمن Feb.	-8.5	19.5	60.3	43	79
اسفند Mar.	1.7	24.8	267.1	47	84
فروردین Apr.	2.6	26.6	33.5	40	80
اردیبهشت May	4.8	36.5	11.3	24	64
خرداد Jun.	16	39.7	0	12	31
مجموع Total	7.6	21.9	603.6	35.2	68.8

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در سال زراعی ۹۹- ۱۳۹۸

Table 3- Soil physical and chemical properties of experimental area

بافت Texture	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	منیزیم Mg	فسفر Available P	پتاسیم Available K	نیتروژن Total N	کربن آلی Organic C	شوری EC	اسیدیته pH
	(mg.kg^{-1})							(%)		(dS.m^{-1})	
لومی- رسی Loam-clay	10	1.4	5.2	12	216	6	280	0.13	1.5	0.40	7.1

به‌منظور اندازه‌گیری هدایت مزوفیلی از معادله زیر استفاده گردید:

$$MC = \frac{PR}{CO2}$$ معادله (۱)

که در آن، MC: هدایت مزوفیلی، PR: سرعت فتوسنتز و CO_2: غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای بودند (Siosemardeh et al., 2013).

همچنین به‌منظور سنجش کارآیی مصرف آب فتوسنتزی از معادله زیر استفاده گردید:

$$WUE = \frac{PR}{TR}$$ معادله (۲)

که در آن، WUE: کارآیی مصرف آب فتوسنتزی، PR: سرعت فتوسنتز و TR: میزان تعرق بودند (Siosemardeh et al., 2013). با نزدیک شدن گیاه جو به مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی، تعداد ۱۰ ساقه به‌صورت تصادفی از هر تیمار انتخاب و تعداد دانه در سنبله براساس شمار سنبله‌های موجود در هر ساقه محاسبه گردید. به‌منظور اندازه - گیری تعداد سنبله در مترمربع از کادر یک مترمربعی که توسط دست درست شده بود، استفاده شد. برای اندازه‌گیری و تعیین وزن هزار دانه، بذر از هرکرت آزمایشی به‌صورت تصادفی شمارش و توسط ترازوی دیجیتالی محاسبه شد. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه، بوته‌های موجود در هرکرت پس از حذف اثرات حاشیه‌ای به‌صورت جداگانه برداشت و محاسبه گردید. پس از برداشت نهایی (۱۵ خردادماه) بوته-های هر کرت آزمایشی و قبل از جدا کردن دانه‌ها، وزن کل بوته‌ها اندازه‌گیری و عملکرد بیولوژیک تعیین گردید. شاخص برداشت از معادله زیر محاسبه شد:

$$HI = \frac{GY}{BY} \times 100$$ معادله (۳)

که در آن، HI: شاخص برداشت، GY: عملکرد دانه و BY: عملکرد بیولوژیک است. تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS 9.1، مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم شکل‌ها توسط اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

تبادلات گازی

میزان فتوسنتز

اثر برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر میزان فتوسنتز معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین میزان فتوسنتز از رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین میزان فتوسنتز از رقم محلی و در شاهد به‌دست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۹۳/۸ درصدی در میزان فتوسنتز گردید. همچنین همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد میزان فتوسنتز در رقم‌های ماهور و خرم تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر نسبت به شاهد ۹۲/۵ و ۹۱/۴ درصد افزایش یافت. در گزارش‌های سایر محققین نیز نشان داده شد که کاربرد قارچ میکوریزا موجب اثر معنی‌داری بر میزان فتوسنتز خالص شده و سبب افزایش ۶۶/۴ درصدی نسبت به شاهد گردید (Aghababaei & Raiesi, 2011). مطالعات انجام گرفته نشان داده است که افزایش جذب آب به توسط قارچ میکوریزا اغلب منتج به زیاد شدن میزان رشد و محتوای آب برگ و در نهایت، منجر به افزایش در میزان فتوسنتز خالص می‌گردد (Dixon et al., 1994). به نظر می-رسد که کم‌آبی از طریق کاهش شاخص سطح برگ، موجب کم‌شدن میزان فتوسنتز، ماده خشک، عملکرد دانه، اجزاء عملکرد می‌گردد (Jamshidi et al., 2009). کمبود آب از طریق کاهش تعداد دانه و کم فتوسنتز که منتج به کاهش در عملکرد دانه می‌شود (Karimzade Asl et al., 2003).

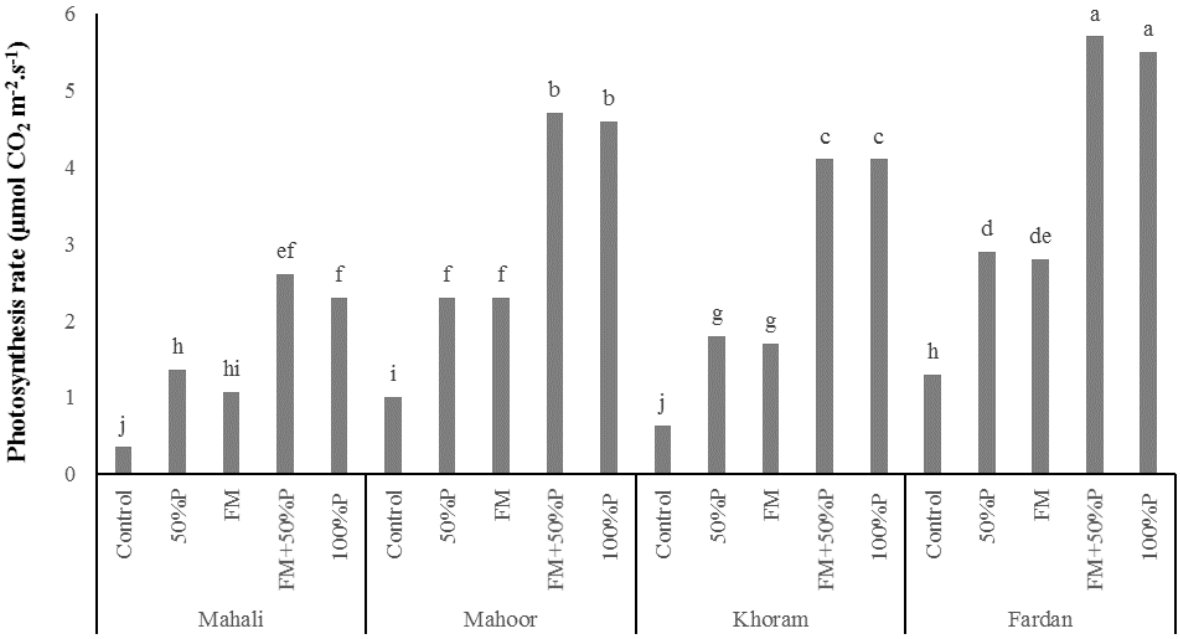
جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد، اجزاء عملکرد و تبادلات گازی تحت کاربرد کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا در ارقام مختلف جو دیم

Table 4- Analysis of variance (mean squares) for measured parameters under different levels of phosphorous chemical fertilizer and mycorrhizl fungi in dryland barley cultivars

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate	میزان تعرق Transpiration rate	غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای CO_2 concentration under stomat	هدایت مزوفیلی Mesophile conductance	کارآیی مصرف آب فتوسنتزی Photosynthesis water use efficiency	دمای برگ Leaf temperature	تعداد سنبله در مترمربع Spikes.m^{-2}	تعداد دانه در سنبله Grains.spike^{-1}	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	1.05	0.12	29882.9	0.000023	0.33	4.8	1439.11	62.3	25.1	2871850.7	15505700.9	0.0019
رقم Cultivar (C)	3	12.2**	4.04**	1116.1**	0.00010**	0.36**	34.6**	550.55	203.8**	29.8**	3148800.08**	14805241.4**	0.0046**
منبع کودی Fertilizer source (FS)	4	26.9**	8.50*	12027.5**	0.00034**	0.89**	97.2**	3768.85**	494.01**	110.8**	9799611.6**	44158022.3**	0.020**
C × FS	12	0.54**	0.24**	5	0.0000011**	0.0145*	0.95**	120.9	16.9*	4.7**	342748.1*	1905201.2**	0.00042
خطا Error	38	0.033	0.010	9.6	0.0000008	0.0047	0.22	255.2	8.3	1.5	140705.4	624799.6	0.00044
ضریب تغییرات CV (%)	-	6.8	4.4	1.05	10.6	8.2.4	1.7	4.2	13.4	3.9	15.4	11.8	6

* و **: بترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک

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



شکل ۱- برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی بر سرعت فتوسنتز جو

Fig. 1- Intraction of cultivar × fertilizer sources on photosynthesis rate in barley

شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: 50%P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا +۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: FM+50%P و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی: 100%P

در تحقیقات وو و زیا (Wu & Xia, 2006) نشان داده شد که قارچ میکوریزا موجب افزایش میزان فتوسنتز و تعرق شد. کاربرد قارچ میکوریزا موجب بهبود سیستم ریشه شده (Cardoso & Kuyper, 2006)، به‌گونه‌ای که افزایش جذب عناصر غذایی از جمله فسفر و نیتروژن و در نهایت، میزان فتوسنتز گیاه را افزایش می‌دهد (Naseri et al., 2017a).

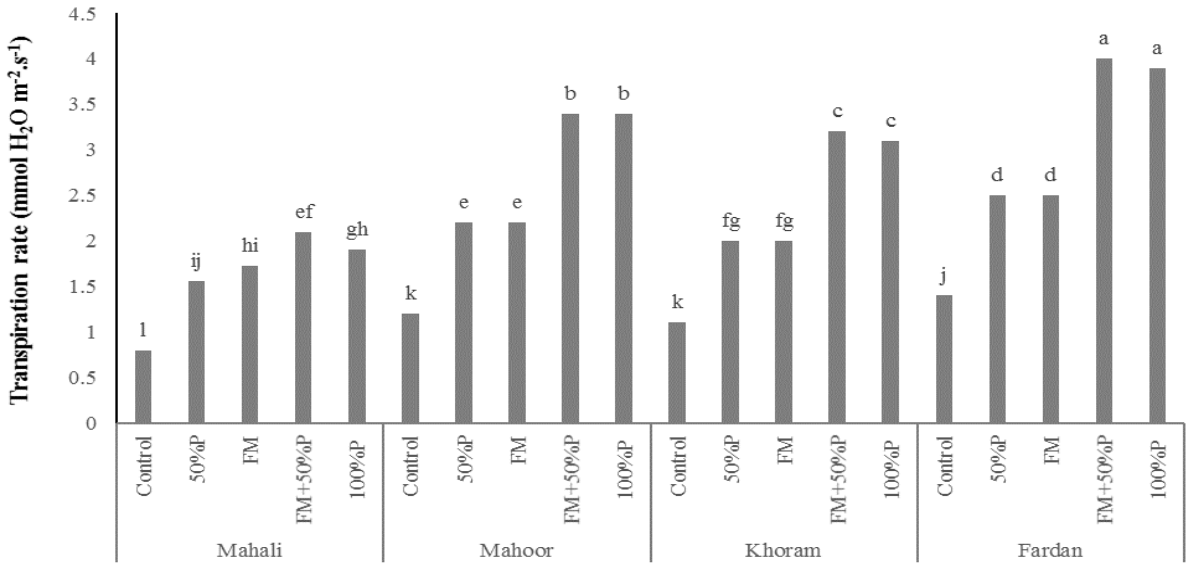
سرعت تعرق

اثر برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر سرعت تعرق معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین سرعت تعرق از رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین میزان از رقم محلی و در شاهد به‌دست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۸۰ درصدی در سرعت تعرق گردید.

با توجه به نتایج این تحقیق، میزان افزایش سرعت تعرق در رقم-های ماهور و خرم تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر نسبت به شاهد به‌ترتیب ۷۶/۴ و ۷۵ درصد بود (شکل ۲). یکی از اثرات تلقیح گیاهان با قارچ میکوریزا، تغییر در میزان تعرق بوده، به‌گونه‌ای که میزان تعرق در تیمار قارچ میکوریزا در مقایسه یا شاهد (عدم تلقیح) از افزایش معنی‌داری برخوردار بود (Auge, 2001). سایر گزارش‌های انجام گرفته نیز مؤید تأثیر قارچ میکوریزا بر میزان تبادلات گازی مثل هدایت روزنه‌ای، میزان تعرق، فتوسنتز در گیاه تلقیح شده با قارچ میکوریزا می‌باشد (Lee et al., 2012).

غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای

با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی رقم و مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی بر غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای معنی‌دار گردید (جدول ۴). در این پژوهش نشان داده شد که رقم فردان دارای بیشترین غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای بود و کمترین میزان غلظت در رقم محلی مشاهده گردید (جدول ۵). در این پژوهش مشاهده گردید که شاهد موجب افزایش غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای گردید و کمترین میزان در تیمار مخلوط قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر مشاهده شد (جدول ۵).



Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل ۲- برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی بر سرعت تعرق جو

Fig. 2- Intraction of cultivar × fertilizer sources on transpiration rate in barley

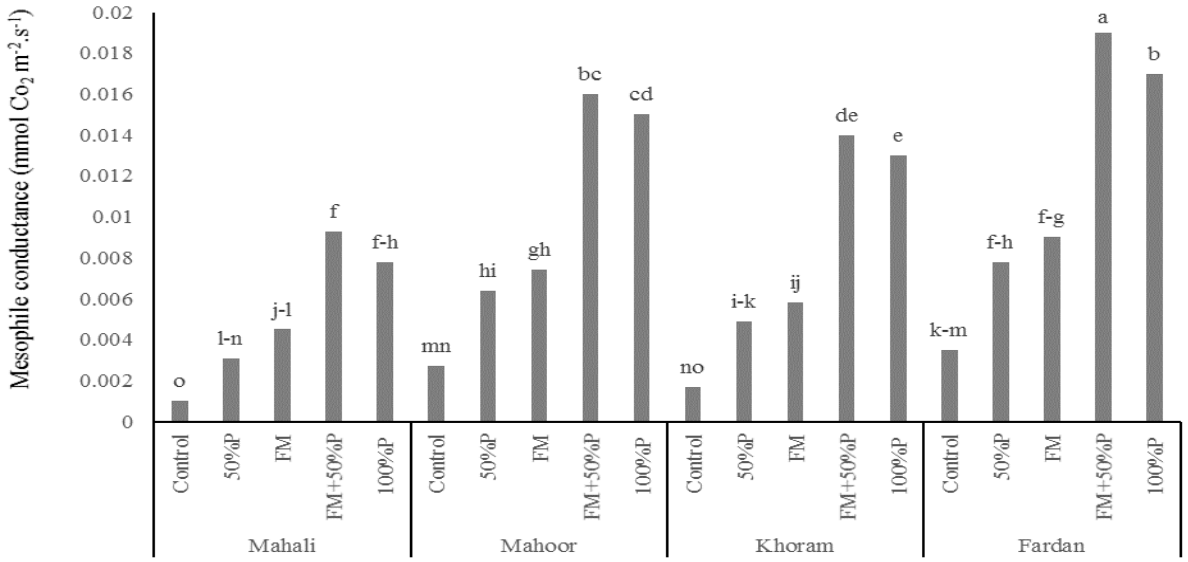
شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: 50%P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا +۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: FM+50%P و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی: 100%P

هدایت مزوفیلی

اثر برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر هدایت مزوفیلی معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین میزان هدایت مزوفیلی از رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین آن از رقم محلی و در شاهد به‌دست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۹۴/۷ درصدی در هدایت مزوفیلی گردید (شکل ۳). در این پژوهش همچنین نشان داده شد که میزان هدایت مزوفیلی در رقم‌های ماهور و خرم تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر نسبت به شاهد به‌ترتیب ۹۳/۷ و ۹۲/۸ درصد افزایش یافت.

کارآیی مصرف آب فتوسنتزی

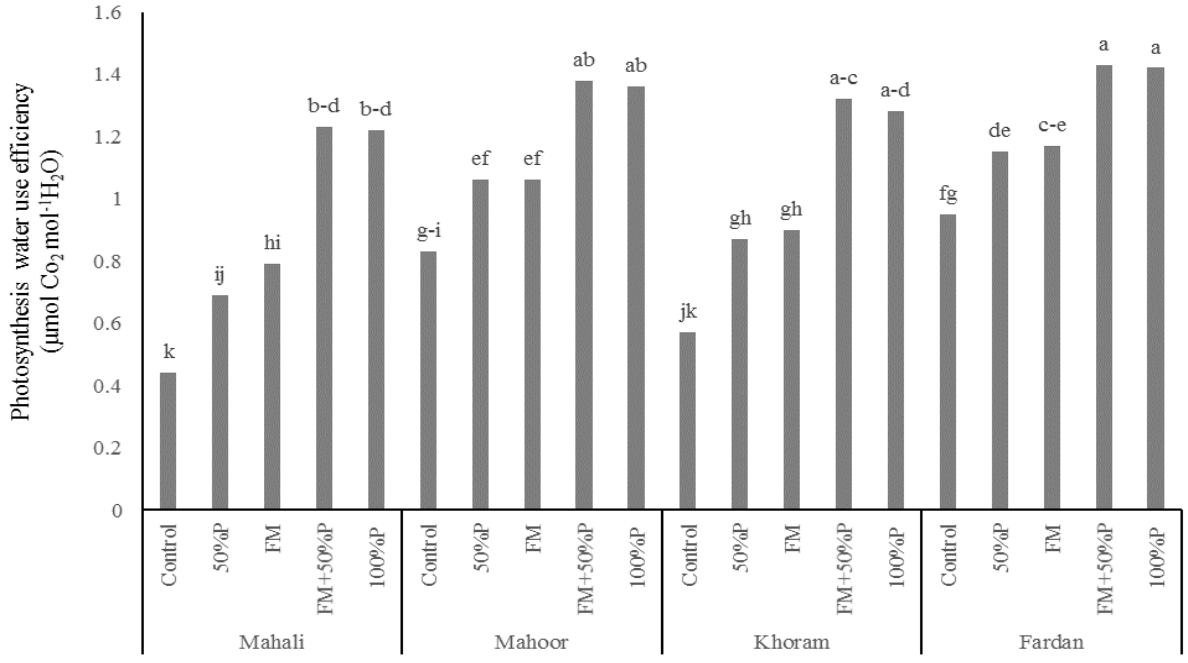
اثر برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر کارآیی مصرف آب فتوسنتزی معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین کارآیی مصرف آب فتوسنتزی از رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین کارآیی از رقم محلی در شاهد به‌دست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۶۹/۲ درصدی در کارآیی مصرف آب فتوسنتزی گردید. با توجه به شکل ۴، میزان افزایش کارآیی مصرف آب فتوسنتزی در رقم‌های ماهور و خرم تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر نسبت به شاهد به‌ترتیب افزایش ۶۸/۱ و ۶۶/۶ درصدی از خود نشان داد. در گزارش‌های سایر محققین نیز نشان داده شد که کاربرد قارچ میکوریزا موجب اثر معنی‌دار بر میزان کارآیی مصرف آب فتوسنتزی و سبب افزایش ۶۸/۵ درصدی نسبت به شاهد گردید (Aghababaei & Raiesi, 2011). با توجه به اینکه میزان کلروفیل یکی از پارامترهای مهم در دستگاه فتوسنتز محسوب می‌گردد، هر گونه تنش خشکی سبب کاهش کلروپلاست خواهد شد (Jiang & Huang, 2001). فتوسنتز به‌عنوان یک فرآیند مهم متابولیسم اولیه نقش کلیدی در عملکرد دارد، به‌نحوی‌که از طریق کاهش انتشار دی اکسیدکربن به کلروپلاست فرآیندهای متابولیکی گیاه را محدود می‌سازد (Pinheiro & Chaves, 2011).



شکل ۳- برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی بر هدایت مزوفیلی جو

Fig. 3- Intraction of cultivar × fertilizer sources on photosynthesis mesophile conductance in barley

شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: 50%P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا +۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: FM+50%P و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی: 100%P



شکل ٤- برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی بر کارآیی مصرف آب فتوسنتزی جو

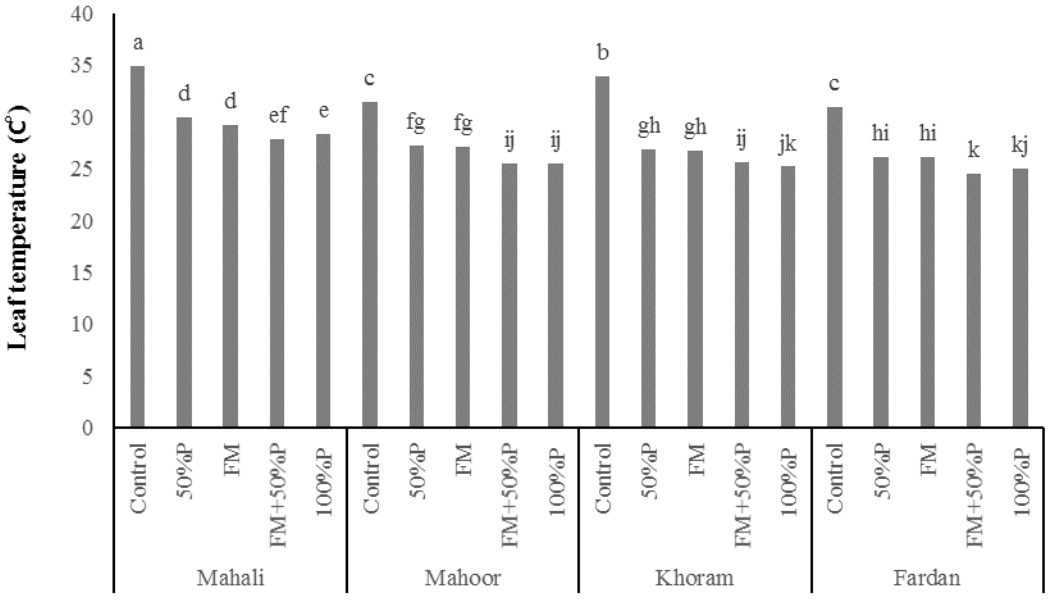
Fig. 4- Intraction of cultivar × fertilizer sources on photosynthesis water use efficiency in barley

شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: 50%P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا +۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: FM+50%P و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی: 100%P

دمای برگ

اثر برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر دمای برگ معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین دمای برگ از رقم محلی در شاهد و کمترین آن از رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر به‌دست آمد که موجب افزایش ۲۹/۷ درصدی در دمای برگ در شاهد گردید (شکل ۵). دمای بالا موجب تغییر در ترکیبات و ساختار غشاء شده که نتیجه آن سبب نشت یون‌ها، و ممانعت از فرآیندهایی مثل فتوسنتز و تنفس می‌گردد (Taiz & Zeiger, 2006). قارچ میکوریزا از طریق زیادکردن هدایت هیدرولیکی خاک به‌واسطه تغییر در تعادل هورمون‌های گیاه، روابط آبی گیاه را افزایش داده است (Wu & Xia, 2006). سایر گزارش‌ها نیز افزایش سرعت تعرق، هدایت هیدرولیکی ریشه و پتانسیل آب برگ در گیاه تلقیح شده با قارچ میکوریزا را اظهار داشتند که علت این امر را بالابودن ارتباط آبی در گیاه میکوریزایی عنوان شد (Sepaskhah & Yarami, 2009).

زمانی که گیاه با کمبود آب مواجهه می‌گردد، گیاه اقدام به بسته نمودن روزنه‌های خود می‌کند تا مقدار تبخیر آب از سطح گیاه کم شود. با کاهش مقدار تبخیر آب و تبادلات گازی، دمای سطح برگ زیاد می‌شود؛ و زمانی که شدت جذب انرژی توسط برگ بالا می‌رود، گیاه به‌خاطر عدم دسترسی به آب، روزنه‌های خود را بسته و موجب کاهش تعرق می‌شود و گیاه دیگر نمی‌تواند خود را خنک کند، در نتیجه از طریق انتقال طول موج بلند و هدایت گرمایی، حرارت را از خود دفع می‌کند، قارچ میکوریزا از طریق باز نمودن روزنه‌ها از زیاد شدن دمای سطح برگ ممانعت به عمل می‌آورد. تبخیر آب موجب خنک‌شدن برگ و ایجاد تعادل دمایی می‌شود، قارچ میکوریزا با باز گذاشتن روزنه‌ها، به افزایش تبادلات گازی در گیاه کمک می‌کند (Zarei, et al., 2013). سایر محققین نیز به افزایش تبادلات گازی در گیاه به‌سبب تعدیل گرمایی و کاهش دمای سطح برگ توسط قارچ میکوریزا اشاره نمودند (Auge, 2004).



شکل ۵- برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی بر دمای برگ جو

Fig. 5- Intraction of cultivar × fertilizer sources on leaf temperature in barley

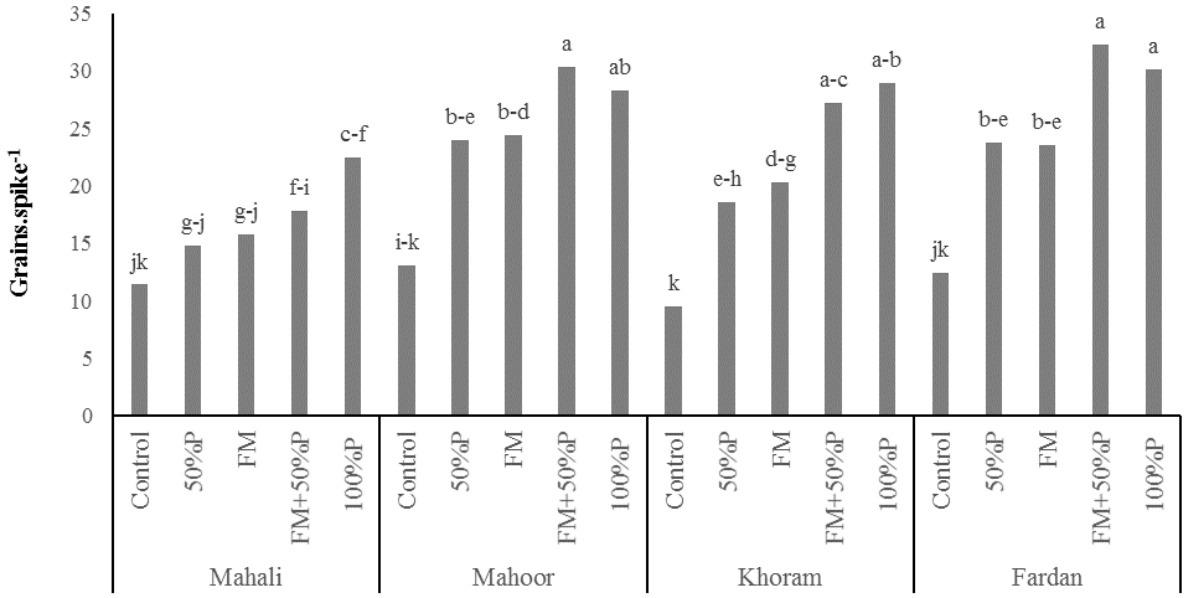
شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: 50%P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا +۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: FM+50%P و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی: 100%P

عملکرد و اجزاء عملکرد دانه

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثر اصلی نوع کود بر تعداد سنبله در مترمربع معنی‌دار گردید (جدول ۴). در این پژوهش نشان داده شد که رقم فردان دارای بیشترین تعداد سنبله در مترمربع بود و کمترین آن در رقم محلی مشاهده گردید (جدول ۵). در این پژوهش مشاهده گردید که تیمار مخلوط قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر سبب افزایش تعداد سنبله در مترمربع گردید، که سبب افزایش ۱۰/۸ درصد در تعداد سنبله در مقایسه با شاهد شد (جدول ۵). با توجه به اینکه فسفر دومین عنصر محدودکننده بعد از نیتروژن می‌باشد، در تیمار عدم مصرف کود (شاهد)، شاهد کاهش تعداد پنجه‌ها و به‌تبع تعداد سنبله بودیم. افزایش تعداد سنبله در مترمربع در تیمار منابع کودی (کود فسفر و قارچ میکوریزا) احتمالاً به‌دلیل اثر مثبت منابع کودی بر سیستم رشد ریشه بوده که سبب افزایش قابل جذب مواد غذایی و در نهایت، باعث رشد گیاه از جمله افزایش تعداد سنبله می‌گردد. آنچه مشخص است، تلقیح با قارچ میکوریزا به‌دلیل توانایی در جذب عناصر غذایی (Naseri et al., 2017b) به طور قابل توجهی تعداد پنجه و به‌تبع سبب افزایش تعداد سنبله گردید. در گزارش‌های سایر محققین نشان دادند که تعداد پنجه سبب افزایش عملکرد گندم در تیمارهای تلقیح شده با کود زیستی می‌گردد (Mertnese & Hess, 2004).

تعداد دانه در سنبله در این آزمایش تحت تأثیر اثرات ساده و متقابل رقم ×منابع کودی معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین تعداد دانه از رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین آن از رقم محلی× تیمار شاهد به‌دست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۷۰/۵ درصدی تعداد دانه در سنبله گردید (شکل ۶). در این پژوهش همچنین میزان افزایش تعداد دانه در سنبله در رقم‌های ماهور و خرم تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر به‌ترتیب نسبت به شاهد افزایش ۶۲/۵ و ۵۸/۰۸ درصدی را نشان داد. با توجه به اینکه در شرایط دیم، رقم‌های مختلف جو با تنش‌های مختلف از جمله کم‌آبی و گرما مواجه می‌گردند و معمولاً براساس آمار هواشناسی در شرایط ایلام معمولاً از فروردین‌ماه میزان بارندگی کم می‌گردد (جدول ۲)، به نظر می‌رسد این کمبود بارندگی که همزمان با مرحله گرده‌افشانی بوده می‌تواند بر تشکیل دانه تأثیر منفی داشته باشد. در پژوهش‌های سایر پژوهشگران نیز نشان داده شد که قارچ میکوریزا موجب افزایش اجزاء عملکرد دانه در گندم شد و رقم ساجی در حضور قارچ میکوریزا به همراه کود شیمیایی فسفر افزایش ۶۴/۱ درصدی تعداد دانه در سنبله را در مقایسه با شاهد نشان داد (Naseri et al., 2022). در گزارش‌های دیگر نیز ارقام سورگوم ۲۸۵ درصد دانه در بوته بیشتری را تحت تلقیح قارچ میکوریزا تولید کردند که دلیل این امر را نقش قارچ در انتقال مواد غذایی به دانه عنوان کردند (Cobb et al., 2016). همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است در شاهد، تعداد دانه در سنبله در تمامی ارقام مورد پژوهش نسبت به تیمار منابع کودی کاهش معنی‌داری پیدا کرد، امّا در ارقام مختلف جو، قارچ میکوریزا منجر به افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله شد. آنچه مشخص است، در مرحله گرده‌افشانی که عمل تلقیح صورت می‌گیرد، کمبود رطوبت موجب می‌گردد که عمل تلقیح به‌خوبی صورت نگیرد و کاربرد قارچ میکوریزا (به‌دلیل افزایش توسعه سیستم ریشه در جذب رطوبت خاک) موجب بهبود عمل گرده‌افشانی و در نتیجه آن، افزایش تعداد دانه می‌گردد (Naseri et al., 2017a). در سایر گزارش‌ها به نقش مثبت کودهای زیستی در گیاه گندم اشاره گردید، به‌طوری‌که کاربرد قارچ میکوریزا موجب افزایش تعداد دانه در سنبله نسبت به شاهد شد (Hassanpour & Zand, 2014).

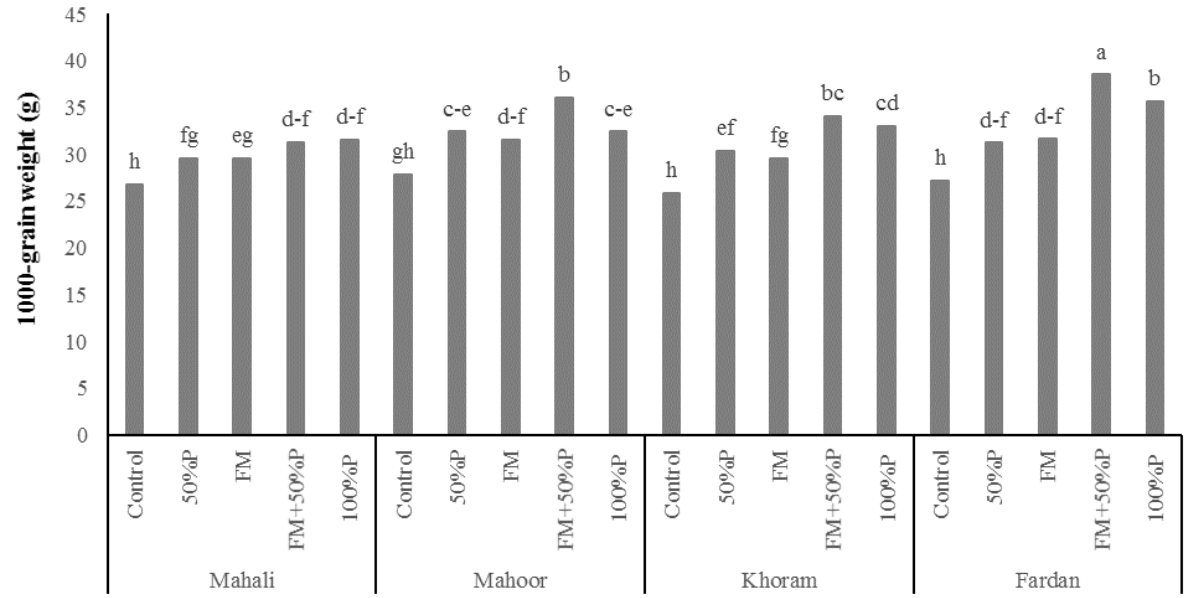
اثرات ساده تیمارها و برهم‌کنش رقم× نوع کود در سطح احتمال یک درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین وزن هزار دانه از رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین وزن هزار دانه از رقم محلی و شاهد به‌دست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۳۰/۹ درصدی وزن هزار دانه گردید (شکل ۷). در این آزمایش، میزان افزایش وزن هزار دانه در رقم‌های ماهور و خرم تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر به‌ترتیب نسبت به شاهد سبب افزایش ۲۵/۷ و ۲۱/۱ درصدی گردید. در تحقیقات انجام شده روی گندم نیز نشان داده شد که استفاده از کود زیستی به‌طور قابل توجهی سبب افزایش وزن هزار دانه شد، به‌طوری‌که در تیمار کود زیستی حل‌کننده فسفات، میزان وزن هزار دانه در مقایسه با شاهد افزایش ۴۲/۷ درصد از خود نشان داد (Moradi et al., 2011).



شکل ٦- برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی بر تعداد دانه در سنبله جو

Fig. 6- Intraction of cultivar × fertilizer sources on grains.spike^{-1} in barley

شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: 50%P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا +۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: FM+50%P و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی: 100%P



شکل ۷- برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی بر وزن هزار دانه جو

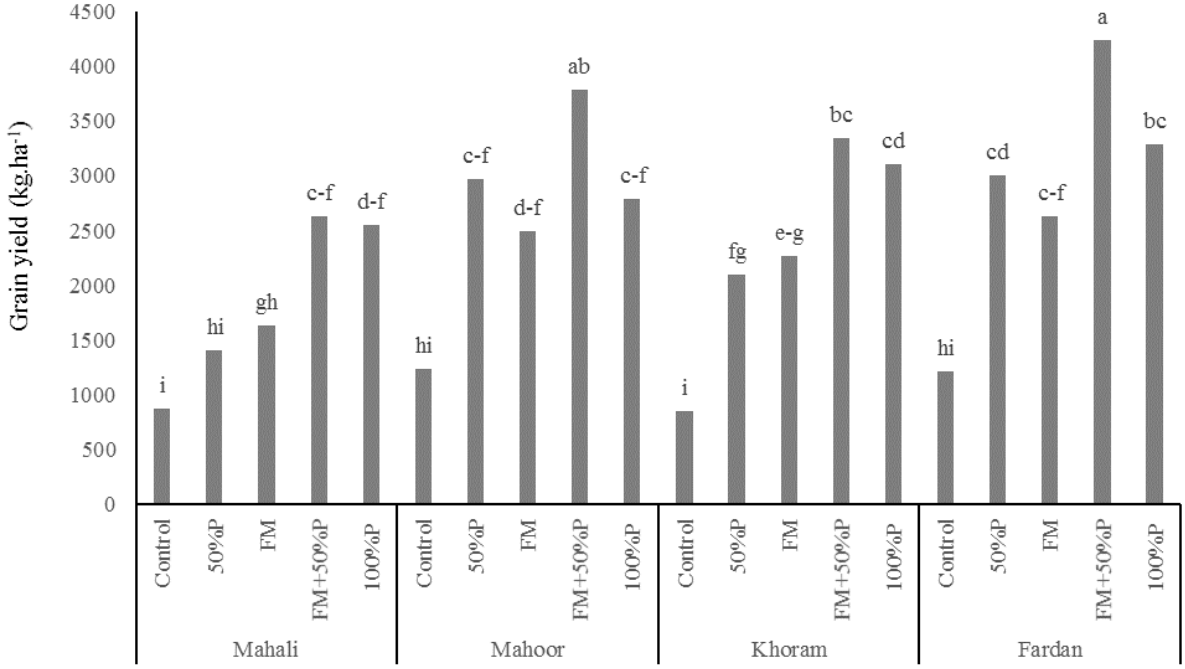
Fig. 7- Intraction of cultivar × fertilizer sources on 1000-grain weight in barley

شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: 50%P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا +۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: FM+50%P و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی: 100%P

در سایر مطالعات صورت گرفته نیز نشان داده شد که قارچ میکوریزا دارای تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه جو داشت، به‌نحوی که قارچ میکوریزا سبب افزایش ۴۸/۷ درصدی وزن هزاردانه در مقایسه با شاهد گردید (Jerbi et al., 2022). در آزمایش کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2015) نیز نشان داده شد که کاربرد قارچ میکوریزا موجب افزایش وزن هزار دانه کنجد شده و سبب افزایش ۲۹ درصدی گردید. به نظر می‌رسد که علت افزایش وزن هزاردانه در ارقام جو مورد استفاده در حضور قارچ میکوریزا به‌دلیل توسعه ریشه که موجب فراهم شدن شرایط بهتر برای جذب عناصر غذایی شده است که این امر به نوبه خود باعث افزایش فتوسنتز می‌گردد (Naseri et al., 2017a). زمانی‌که گیاه به دوران رسیدگی نزدیک می‌گردد، مواد حاصل از فتوسنتز را به اندام‌های زایشی (دانه‌ها) منتقل می‌کند. قارچ میکوریزا از طریق تسریع و تقویت این عمل سبب افزایش وزن هزار دانه می‌گردد. معمولا در شرایط آب‌وهوایی ایلام و در مرحله تشکیل و پر شدن دانه عملاً کمبود آب و گرما را شاهد هستیم (جدول ۲). آنچه مشخص است در تیمارهای کودهای زیستی، افزایش وزن هزار دانه به‌دلیل جذب آب و عناصر غذایی و در نهایت، زیاد شدن میزان فتوسنتز و انتقال این مواد می‌باشد (Moradi et al., 2011. شهاتا و الخاواز (Shehata & EL-Khawas, 2003) تأثیر کود زیستی را بر پارامترهای رشد، عملکرد و اجزاء عملکرد آفتابگردان(*Helianthus annulus* L.) مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که کاربرد کود زیستی شامل حل‌کننده فسفات، اجزاء عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) بهبود بخشید.

اثر برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین عملکرد دانه از رقم فردان و تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین میزان عملکرد دانه از رقم محلی و در شاهد به‌دست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۷۹/۳ درصدی در سرعت فتوسنتز گردید (شکل ۸). همچنین در این پژوهش رقم‌های ماهور و خرم تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر نسبت به شاهد به‌ترتیب میزان عملکرد دانه را ۷۶/۸ و ۷۳/۳ درصد افزایش یافت.

در تحقیقات ناصری و همکاران (Naseri et al., 2022) نیز نشان داده شد که گندم رقم ساجی در حضور مخلوط کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا افزایش ۶۲ درصدی عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد از خود نشان داد. در تحقیقات مشابه نیز پژوهشگران نشان دادند که عملکرد دانه گیاه زراعی جو در شرایط تنش خشکی شدید تحت کاربرد قارچ میکوریزا، افزایش ۵۷/۵ درصد نسبت به تیمار عدم تلقیح را از خود نشان داد (Jerbi et al., 2022). در مطالعات دیگر روی برنج (*Oryza sativa* L.) تلقیح شده با قارچ میکوریزا، به‌ترتیب میزان باروری سنبلچه و بهره‌وری برنج، ۱۲۵ و ۱۴۳ درصد افزایش یافت (Parvin et al., 2020). در این پژوهش مشاهده گردید که استفاده از قارچ میکوریزا در تمامی ارقام جو سبب افزایش عملکرد دانه گردید، بیشتر بودن عملکرد دانه در تیمارهای تلقیح قارچ میکوریزا در ارقام مختلف جو را می‌توان به بالا بودن اجزاء عملکرد یعنی تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه نسبت داد. افزایش جذب مواد معدنی توسط ریشه گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا سبب افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد دانه شده است. به نظر می‌رسد که استفاده قارچ میکوریزا احتمالاً با ایجاد شرایط مناسب جهت جوانه‌زنی باعث استقرار سریع تر گیاهچه و بهره‌مندی بیشتر از منابع محیطی توسط گیاه می‌شود. چنین وضعیتی باعث می‌شود تا گیاه شرایط مناسب‌تری را جهت پر کردن دانه‌ها داشته باشد که این وضعیت همراه با افزایش عملکرد دانه نمود بیشتری می‌یابد. تانوار و همکاران (Tanwar et al., 2003) با استفاده از تیمارهای مختلف کود فسفره و کودهای زیستی نشان داد که اثر متقابل بین فسفر و کود زیستی معنی‌دار است و همچنین تلقیح به مایه تلقیح به‌علاوه کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره باعث بالاترین عملکرد دانه گردید. افزایش قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی، با کاربرد توأم کودهای شیمیایی و جذب بیشتر آن‌ها توسط گیاه، در نتیجه افزایش رشد و فتوسنتز با افزایش سطح برگ گیاه از عوامل افزایش عملکرد دانه در تیمارهای تلفیقی می‌باشد. در سایر گزارش‌های مشابه نیز عملکرد دانه رازیانه در تیمار قارچ میکوریزا نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) افزایش نشان داد (Zamani et al., 2019. سادات و همکاران (Sadat et al., 2010) در آزمایش‌های خود روی گندم نشان دادند که استفاده از قارچ میکوریزا سبب افزایش عملکرد دانه می‌شود. نتایج این بررسی، کاربرد مثبت قارچ میکوریزا را در کاهش خشکی و تنش انتهای فصل در شرایط دیم را نشان داد. به نظر می‌رسد که قارچ میکوریزا از طریق افزایش سیستم ریشه‌ای گیاه سبب جذب آب و مواد غذایی شده است که در نهایت، منتج به تولید عملکرد دانه بیشتری می‌گردد (Hassanpour & Zand, 2014).



Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل ۸- برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی بر عملکرد دانه جو

Fig. 8- Intraction of cultivar × fertilizer sources on grain yield in barley

شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: 50%P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا +۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: FM+50%P و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی: 100%P

اثر برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک از برهم‌کنش رقم فردان × قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین آن از رقم محلی و در شاهد به‌دست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۶۶/۵ درصدی در میزان عملکرد بیولوژیک گردید. عملکرد بیولوژیک همچنین در رقم‌های ماهور و خرم تحت کاربرد قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر نسبت به شاهد به‌ترتیب ۶۴/۳ و ۶۱/۳ درصد افزایش نشان داد (شکل ۹). در سیستم‌های تلفیقی، عملکرد بیولوژیک به‌دلیل افزایش اجزاء رویشی و زایشی در مقایسه با تیمار عدم تلقیح با کود زیستی جذب عناصر غذایی بیشتر توسط گیاه رشدونمو و فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه را افزایش می‌دهد و این امر موجب افزایش عملکرد بیولوژیک در گیاه می‌شود. بنابراین، با تلقیح کود زیستی و شیمیایی نه تنها می‌توان تولید را در حد بهینه نگه داشت، بلکه میزان کود شیمیایی را کاهش داد و می‌توان ثبات تولید محصول در سیستم‌های زراعی را فراهم نمود. کودهای زیستی با تخصیص ماده خشک بیشتر به گیاه سبب افزایش رشد رویشی و در نتیجه، فراهم‌سازی امکان بهره‌برداری بهتر از نور و فتوسنتز بیشتر و در نهایت، افزایش رشدونمو شدند. تاسانگ و موم (Tasang & Maum, 1999) گزارش کردند که گیاه تلقیح شده با قارچ میکوریزا به‌طور معنی‌داری وزن خشک اندام هوایی بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی داشت. بنابراین، با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش به‌خصوص عملکرد بیولوژیک و سایر صفات مربوط به عملکرد و اجزاء عملکرد می‌توان چنین نتیجه گرفت که همزیستی با قارچ میکوریزا در شرایط مختلف رطوبتی می‌تواند باعث افزایش عملکرد بیولوژیک شود و در شرایط تنش خشکی گرما باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش‌ها می‌شود. قارچ میکوریزا از طریق توسعه سیستم ریشه گیاه میزبان نهایتا حجم بیشتری از خاک را اشغال و موجب افزایش جذب آب، عناصر غذایی و در نهایت، ماده خشک بیشتری را تولید می‌کند (Sajedi & Rejali, 2011). به همراه دارد. سایر بررسی‌هانیز نشان داده است که استفاده از قارچ

میکوریزا موجب زیادشدن سرعت و دوام فتوسنتز شده و راندمان انتقال مواد فتوسنتزی به دانه را افزایش می‌دهد که این امر موجب افزایش تجمع ماده خشک می‌گردد (Richter et al., 2005).

شاخص برداشت که بیانگر تخصیص مواد فتوسنتزی به‌سمت دانه می‌باشد، با توجه به جدول تجزیه واریانس تحت اثرات اصلی رقم و مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی معنی‌دار گردید (جدول ۴). در این پژوهش نشان داده شد که رقم فردان دارای بیشترین شاخص برداشت بود و کمترین شاخص برداشت در رقم محلی مشاهده گردید (جدول ۵). شاخص برداشت در رقم فردان دارای درصد بالاتری بود که این موضوع به‌دلیل انتقال مواد فتوسنتزی به‌سمت دانه که از شدت بالاتری برخوردار بوده که سبب بالا رفتن عملکرد اقتصادی دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک در رقم شده است. در این پژوهش مشاهده گردید که در تیمار مخلوط قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر در موجب افزایش شاخص برداشت گردید و شاهد دارای کمترین میزان بود (جدول ۵). شاخص برداشت نسبتی از عملکرد بیولوژیک است که عملکرد اقتصادی را تشکیل می‌دهد و با افزایش تسهیم ماده خشک برای عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت افزایش می‌یابد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که شاخص برداشت به احتمال زیاد تحت تأثیر شرایط محیطی و مدیریتی اجرای آزمایش قرار گرفته و مناسب بودن شرایط محیطی و مدیریت مزرعه در بالاتر بودن شاخص برداشت مؤثر بوده است و این افزایش در سیستم تغذیه تلفیقی، چشمگیرتر بوده است. به نظر می‌رسد که قارچ میکوریزا از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی سبب بهبود رشد در ارقام جو شده و در نتیجه، با افزایش میزان فتوسنتز برگ موجب بهبود شاخص برداشت شده است. در گزارش‌های سارجوقی و همکاران (Sarajuoghi et al., 2012) نشان داده شد که قارچ میکوریزا از طریق تأثیر بر وزن خشک بوته و تخصیص ماده خشک بیشتر، سبب افزایش شاخص برداشت شد.

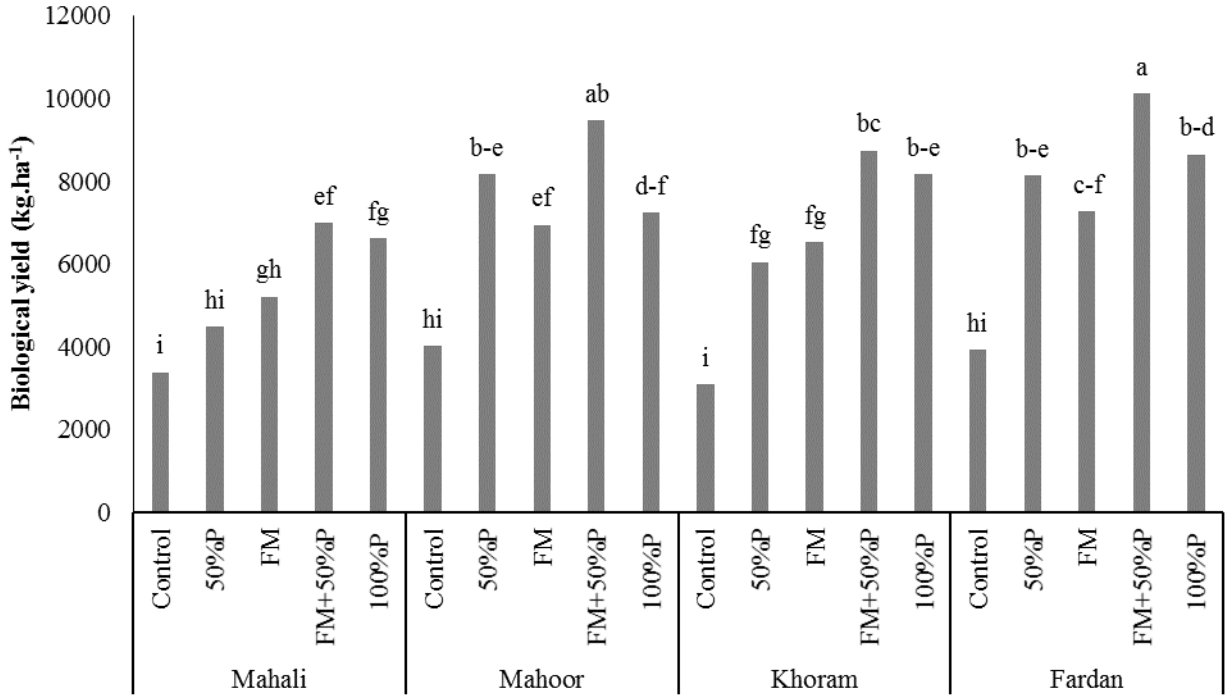
جدول ۵- عملکرد تعداد سنبله در مترمربع، شاخص برداشت و غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه ای تحت تأثیر رقم و منبع کودی در شرایط دیم

Table 5- Spikes.m^{-2}, harvest indev and Co_2 concentration under stomat affected by cultivar and fertilizer source under dryand conditions

	تعداد سنبله در مترمربع Spikes.m^{-2}	شاخص برداشت Harvest (%)	غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای Co_2 concentration under stomat (mmol)
رقم Cultivar			
محلی Mahali	377.5	32.7^{c}	317.3^{c}
ماهور Mahoor	369.2	36.07^{ab}	327^{b}
خرم Khoram	378.2	34.6^{b}	322.6^{c}
فردان Fardan	366.06	36.6^{a}	337.6^{a}
منابع مختلف کودی Fertilizer source			
شاهد Control	343.08^{b}	28.7^{c}	361.2^{a}
۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر 50% P	373.9^{a}	34.5^{b}	313.3^{c}
قارچ میکوریزا FM	374.2^{a}	34.3^{b}	357.9^{b}
قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر FM + 50% P	387.6^{a}	39.4^{a}	290.4^{e}
۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر 100% P	385^{a}	38^{a}	307.9^{e}

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک می‌باشند، برمبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

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



شکل ۹- برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی بر عملکرد بیولوژیک جو

Fig. 9- Intraction of cultivar × fertilizer sources on biological yield in barely

شاهد (عدم مصرف منبع کودی): Control، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: 50%P، قارچ میکوریزا: FM، قارچ میکوریزا +۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توصیه شده: FM+50%P و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی: 100%P

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که در شرایط دیم و در شرایط عدم مصرف منابع کودی عملکرد، اجزاء عملکرد و همچنین تبادلات گازی تحت تأثیر قرار گرفته است، به‌گونه‌ای که تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه و همچنین تبادلات گازی از جمله میزان فتوسنتز، سرعت تعرق، هدایت مزوفیلی، کارآیی مصرف آب فتوسنتزی در تمامی رقم‌های جو مورد بررسی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا کرد، امّا کاربرد قارچ میکوریزا به همراه کود شیمیایی فسفر در شرایط دیم سبب بهبود صفات مورد بررسی شد. در نهایت، با توجه به نتایج مشخص گردید که جو رقم فردان به همراه قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر توانست عملکرد، اجزاء عملکرد و میزان فتوسنتز و کارآیی مصرف آب فتوسنتزی بیشتری را به خود اختصاص دهد.

References

1. Aghababaei, F., & Raiesi, F. (2011). The Influence of mycorrhizal symbiosis on chlorophyll, photosyntetise and water use efficiency in four almond genotypes in Chahar Mahal va Bakhtiary. *JWSS - Isfahan University of Technology, 15*(56), 91-102. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.24763594.1390.15.56.7.7
2. Auge, R.M. (2004). Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian Journal of Soil Science, 84*, 373–81. https://doi.org/10.4141/S04-002
3. Auge, R.M. (2001). Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza, 11*, 3–42. https://doi.org/10.1007/s005720100097
4. Cardoso, I.M., & Kuyper, T.W. (2006). Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 116*, 72–84. https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.03.011

5. Celebi, S.Z., Demir, S., Celebi, R., Durak, E.D., & Yilmaz, I.H. (2010). The effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) applications on the silage maize (*Zea mays* L.) yield in different irrigation regimes. *European Journal of Soil Biology*, *46*(5), 302–305. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2010.06.002
6. Chareesri, A., De Deyn, G.B., Sergeeva, L., Polthanee, A., & Kuyper, T.W. (2020). Increased arbuscular mycorrhizal fungal colonization reduces yield loss of rice (*Oryza sativa* L.) under drought. *Mycorrhiza*, *30*, 315–328. https://doi.org/ 10.1007/s00572-020-00953-z
7. Cobb, A.B., Wilson, G.W., Goad, C.L., Bean, S.R., Kaufman, R.C., Herald, T.J., & Wilson, J.D. (2016). The role of arbuscular mycorrhizal fungi in grain production and nutrition of sorghum genotypes: Enhancing sustainability through plant-microbial partnership. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *233*, 432–440. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.024
8. Dixon, R.K., Rao, M.V., & Garg, K. (1994). Water relation and gas exchange of mycorrhizal *leucaena leucocephala* seedlings. *Journal of Tropical Forest Science*, *6*, 542-552.
9. Dobo, B. (2022). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and *Rhizobium* inoculation on growth and yield of *Glycine max* L. *varieties. International Journal of Agronomy*, *1*, 1-10. https://doi.org/10.1155/2022/9520091
10. Gholinezhad, E., & Darvishzadeh, R. (2015). Effect of mycorrhizal fungi on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces under different irrigation levels. *Journal of Agricultral Science and Sustanable Production*, *25*(3), 119-135. (In Persian with English abstract).
11. Hassanpour, J., & Zand, B. (2014). Effect of wheat (*Triticum aestivum* L.) seed inoculation with bio-fertilizers on reduction of drought stress damage. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, *1*(2), 1-12. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 20.1001.1.24763780.1393.1.2.1.3
12. Jamshidi, E., Ghalavnd, A., Salahi, A., Zarea M.G., & Jamshidi, A.R. (2009). Effect of arbuscular mycorrhizal on yield, yield components and plant characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *11*(2), 136-150. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.15625540.1388.11.2.4.6
13. Jerbi, M., Labidi, S., Laruelle, F., Tisserant, B., Jeddi, F.B., & Sahraoui, A.L.H. (2022). Mycorrhizal biofertilization improves grain yield and quality of hulless barley (*Hordeum vulgare* ssp. nudum L.) under water stress conditions. *Journal of Cereal Science*, *104*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103436
14. Jiang, Y., & Huang N. (2001). Drought and heat stress injury to two cool-season turf grasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science*, *41*, 436-442. https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412436x
15. Karimi, M., & Joleini, M. (2019). Supplemental irrigation in cultivation of rainfed wheat. *Journal of Water and Sustainable Development*, *6*(1), 29-34. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jwsd.v6i1.77251
16. Karimzade Asl, K.H., Mazaheri, D., & Pieghambari, S.A. (2003). Effect of four irrigation intervals on seed yield and quality characteristics of three sunflower cultivars. *Iranian Journal of Crop Science*, *34*(2), 293-300. (In Persian with English abstract)
17. Koocheki, A., Bakhshaie, S., Khorramdel, S., Mokhtari, V., & Taherabadi, S. (2015). Effect of mycorrhiza symbiosis on yield, yield components and water use efficiency of sesame (*Sesamum indicum* L.) affected by different irrigation regimes in Mashhad condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *13*(3), 448-460. (In Persian with English abstract).
18. Lee, B.R., Muneer, S., Avice, J.C., Jung, W.J., & Kim, T.H. (2012). Mycorrhizal colonisation and P-supplement effects on N uptake and N assimilation in perennial ryegrass under well-watered and drought-stressed conditions. *Mycorrhiza*, *22*(7), 525-534. https://doi.org/ 10.1007/s00572-012-0430-6
19. Mertnese, T., & Hess, D. (2004). Yield increase in spring wheat inoculated with *Azospirillium* under greenhouse and field condition of a temperate region. *Plant and Soil*, *82*, 87-99. https://doi.org/10.1007/BF02220773
20. Moradi, M., Siadat, A., Khavazi, K., Naseri, R., Maleki, A., & Mirzaei, A. (2011). Effect of application of bio-fertilizer and phosphorus fertilizers on quantities and qualitative traits of spring wheat. *Journal of Crop and Weed Ecophysiology*, *5*(18), 51-66. (In Persian with English abstract).
21. Naghashzadeh, M.R., Heidari Sharifabad, H., Majidi Heravan, E., Rafiee, M., Rejali, F., & Imantalab, N. (2014). Evaluation of maize leaf gas exchanges with application of mycorrhizal biofertilizer under drought stress conditions. *Seed and Plant Production Journal*, *30*(1), 47-59. (In Persian with English abstract).

https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110536

22. Nakhzari Moghaddam, A., Samsami, N., Rahemi Karizaki, A., & Gholinezhad, E. (2020). Effect of irrigation on physiological traits and seed yield of soybean under inoculation with mycorrhiza fungi and rhizobium bacteria. *Environmental Stresses in Crop Science*, *13*(2), 413-423. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2019.2131.1531
23. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M.J., Khavazi, K., & Tahmasebi, Z. (2022). Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on agronomic important traits in two wheat (*Triticum aestivum* L.; *Triticum turgidum* var. durum) cultivars under dryland conditions. *Journal of Agroecology*, *14*(1), 19-33. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v1i1.51317
24. Naseri, R., Mirzaei, A., & Soleimanifard, A. (2021). Study on grain yield and gas exchange in different wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars influenced by applications of different sources of fertilizer under dryland farming. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, *10*(1), 1-21. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/idaj.2021.352008.319
25. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M.J., Khavazi, K., & Tahmasebi, Z., (2017a). Effect of plant growth promoting bacteria and Mycorrhizal fungi on growth and yield of wheat under dryland conditions. *Journal of Soil Biology*, *5* (1), 49-67. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.22092/sbj.2017.113121
26. Naseri, R., Barary, M., Zarea, M.J., Khavazi, K., & Tahmasebi, Z. (2017b). Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on some activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics of wheat under dry land conditions. *Iranain Journal of Dryland Agriculture*, *6*(1), 1-34. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/idaj.2017.113427
27. Naseri, R. (2017). Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on morpho-physiological traits and yield of two wheat cultivars under dryland farming. *Ph.D. Thesis*, *Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran,* 336 pp. (In Persian with English abstract)
28. Parvin, S., Van Geel, M., Yeasmin, T., Verbruggen, E., & Honnay, O. (2020). Effects of single and multiple species inocula of arbuscular mycorrhizal fungi on the salinity tolerance of a Bangladeshi rice (*Oryza sativa* L.) cultivar. Mycorrhiza, *30*, 431–444. https://doi.org/ 0.1007/s00572-020-00957-9
29. Pinheiro, C., & Chaves, M.M. (2011). Photosynthesis and drought—Can we make metabolic connections from available data? *Journal of Experimental Botany*, *62*, 869–882. https://doi.org/10.1093/jxb/erq340
30. Raei, Y., Shariati, J., & Weisany, W. (2015). Effect of biological fertilizers on seed oil, yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different irrigation levels. *Journal of Agricultral Science and Sustainable Production*, *25*(1), 65-84. (In Persian with English abstract).
31. Richter, J., Stutzer, M., & Schellenberg, I. (2005). Effects of mycorrhization on the essential oil content and composition of aroma components of marjoram (*Marjorana hortensis*), thyme (*Thymus vulgaris* L.) and caraway (*Carum carvi* L.). *36th International Symposium on Essential Oils*, 4-7 September, Budapes, Hungary.
32. Sadat, A., Savaghebi, G., Rejali, F., Farahbakhsh, M., Khavazi, K., & Shirmardi, M. (2010). Effects of some arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting *Rhizobacteria* on the growth and yield indices of two wheat varieties in a saline soil. *Journal of Water and Soil*, *24*(1), 53-62. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.2920
33. Saeidi, M., Moradi, F., Ahmadi, A., Spehri, R., Najafian, G., & Shabani, A. (2011). The effects of terminal water stress on physiological characteristics and sink-source relations in two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *12*(4), 392-408. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.15625540.1389.12.4.3.6
34. Sajedi N.A., & Rejali, F. (2011). Effect of drought stress, zinc application and mycorrhiza inoculation on uptake of micro nutrients in maize. *Iranian Journal of Soil Research*, *25*(2), 83-92. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.22092/ijsr.2011.126473
35. Siosemardeh, A., khalvandi, M., bahram nejad, B., & Roohi, E. (2013). Effect of water stress on gas exchanges, leaf soluble protein and chlorophyll content of Sardari wheat ecotypes. *Iranian Journal of Field Crop Science, 43*(4), 573-588. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.22059/ijfcs.2013.29414
36. Sarajuoghi, M., Ardakani, M.R., Nurmohammadi, G., Kashani, A., Rejali, F., & Mafakheri, S. (2012). Response of yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) to different biofertilizers and chemical fertilizers. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, *12*(3), 315-320.

37. Sepaskhah, A.R., & Yarami, N. (2009). Interaction effects of irrigation regime and salinity on flower yield and growth of saffron. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 84*(2), 216-222. https://doi.org/10.1080/14620316.2009.11512507
38. Shehata, M.M., & EL-Khawas, S.A. (2003). Effect of two biofertilizers on growth parameters, yield characters, nitrogenous components, nucleic acids content, minerals, oil content, protein profiles and DNA banding pattern of sunflower yield. *Pakistan Journal of Biological Sciences, 6*, 1257-1268. https://doi.org/10.3923/pjbs.2003.1257.1268
39. Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). Plant Physiology. Fourth Edition. *Sinauer Associates*, Inc. 764 pp.
40. Tanwar, S.P.S., Sharma, G.L., & Chahar, M.S. (2002). Effects of phosphorus abd biofertilizers on growth and productivity of black gram. *Annuals of Agricultural Research, 23*(3), 491-493.
41. Tasang, A., & Maum, M.A. (1999). Mycorrhizal fungi increase salt tolerance of *Strophostyles helvola* in coastalforedunes. University of Waterloo, Canada. *Plant Ecology*, *144*, 159–166.
42. Watts-Williams, S.J., Nguyen, T.D., Kabiri, S., Losic, D., & McLaughlin, M.J. (2020). Potential of zinc-loaded graphene oxide and arbuscular mycorrhizal fungi to improve the growth and zinc nutrition of *Hordeum vulgare* and *Medicago truncatula*. *Applied Soil Ecology*, *150*, 103464. https://doi.org/ 10.1016/j.apsoil.2019.103464
43. Wu, Q.S., & Xia, R.X. (2006). Reactive oxygen metabolism in non-mycorrhizal citrus (*Poncirus trifoliata*) seedlings subjected to water stress. *Journal Plant Physiology, 163*(11), 1101-1110. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.09.001
44. Wu, S., Shi, Z., Chen, X., Gao, J., & Wang, X. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi increase crop yields by improving biomass under rainfed condition: A meta-analysis. *PeerJ, 10*, 1-25. https://doi.org/10.7717/peerj.12861
45. Zamani, F., Amirnia, R., Rezaei-Chiyaneh, E., & Rahimi, A. (2019). The effect of bacterial bio-fertilizers and mycorrhizal fungi on seed yield and chemical composition of essential oil from three fennel landrace. *Crops Improvement*, *20*(4), 831-847. (In Persian with English abstract).
46. Zarei, M., Paymaneh, Z., Ronaghi, A., Kamgar Haghighi, A.A., & Shahsavar, A. (2013). Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on growth and physiological parameters of rough lemon rootstock under water deficit conditions. *Journal of Water and Soil, 27*(3), 485-494. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.26037