نشریه پژوهش های کاربردی زراعی
دوره۳۴- شماره ۳- پیاپند ۱۳۲ پائیز ۱۴۰۰

بررسی اثر فسفر و میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم دوروم در شرایط دیم

Study of the effects of phosphorous and mycorrhiza on yield and yield components of durum wheat under rainfed condition

هوشنگ ناصری‌راد[1*]، رحیم ناصری[2]، امیر میرزایی[3] و بتول زارعی[4]

۱. گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی۳۶۹۷-۱۹۳۹۵ تهران، ایران ، (نگارنده مسئول)
۲. گروه تکنولوژی تولیدات گیاهی، آموزشکده فنی مهندسی و کشاورزی دهلران، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۳. بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران.
۴. دکتری مهندسی ژنتیک، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۱ - شناسانهٔ برنمود رقمی: 10.22092/aj.2021.342492.1496

چکیده

ناصری راد، ه.، ناصری، ر. میرزایی، ا.، زارعی، ب، . بررسی اثر فسفر و میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم دوروم در شرایط دیم
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۴ - شماره ۳- پیاپند ۱۳۲ پاییز ۱۴۰۰ صفحه: ۶۸-۴۳

به منظور ارزیابی تاثیر قارچ مایکوریزا و کود فسفر بر کاهش مصرف کود شیمیایی فسفر و صفات عملکرد و اجزای عملکرد گندم دوروم در شرایط دیم، آزمایشی مزرعه ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار رقم گندم (دهدشت، ذهاب، ساورز و ساجی) و پنج نوع منبع کودی (عدم مصرف کود، ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، قارچ مایکوریزا و ترکیب قارچ مایکوریزا +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر) بودند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اثر برهمکنش رقم× منابع کودی بر وزن سنبله، اجزای عملکرد، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گندم در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود، به طوری که بیشترین طول ریشه (۷۶ سانتی متر) و تعداد سنبلچه (۱۶سنبلچه) در رقم ساورز و همچنین بیشترین وزن سنبله (۳/۷ گرم)، تعداد دانه در سنبله (۴۱ دانه)، وزن هزار دانه (۴۲ گرم)، عملکرد بیولوژیک (۹۶۱۶ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد دانه (۴۲۳۸ کیلوگرم در هکتار) و کارایی مصرف آب (۴/۷ کیلوگرم بر میلی متر) در رقم ساجی و از تیمار تلفیق مایکوریزا به همراه ۲۵ کیلوگرم فسفر در هکتار به دست آمد. همچنین کمترین میزان این صفات از رقم دهدشت در تیمار شاهد (عدم مصرف منبع کودی) حاصل شد. نتایج حاصل نشان داد که استفاده از رقم ساجی همراه با ترکیب قارچ مایکوریزا +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر در مقایسه با سایر ارقام گندم دیم شرایط بهتری از خود نشان داده و باعث افزایش عملکرد دانه شد. به طورکلی، نتایج نشان داد که تلقیح با قارچ مایکوریزا در شرایط دیم (منطقه ایلام) احتمالاً از طریق افزایش طول ریشه موجب افزایش جذب آب و عملکرد دانه گندم دوروم و کاهش مصرف کود شیمیایی فسفر می گردد.

واژه های کلیدی: حجم ریشه، شاخص برداشت، طول ریشه، کارایی مصرف آب و محتوای آب نسبی.

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: hgnaseri@pnu.ac.ir

مقدمه:

گندم مهمترین گیاه زراعی جهان است که حدود دو میلیارد نفر از جمعیت جهان از آن تغذیه میکنند (Sharma *et al.,* 2020). در ایران نیز گندم عمدهترین محصول زراعی است که به دو صورت آبی و دیم کشت میشود. براساس آمار موجود، سطح زیرکشت گندم به طور میانگین ۶ میلیون هکتار میباشد که از این مقدار ۳/۸ میلیون هکتار به اراضی دیم تخصیص داده شده است (Ministry of Agriculture-Jahad., 2016). در این اراضی، کمبود آب به دلیل بارندگی محدود، درجه حرارت بالا و تبخیر و تعرق زیاد مهمترین عامل محدودکننده عملکرد گندم به شمار می‌رود (Ghasemi & Zahedi., 2018). از اینرو بررسی و کاربرد منابع و نهادههای تجدیدپذیر که موجب حداکثر بهرهوری زراعی و کاهش خطرات زیست محیطی شوند، ضرورت دارد (Perry *et al.,* 2011). ریشهها نقش مهمی در جذب آب داشته بنابراین از طریق میزان فتوسنتز بر عملکرد دانه بخصوص در مناطق نیمه خشک تاثیر خواهند گذاشت (Sun *et al.*, 2014). طول ریشه بهعنوان مهمترین پارامتر در روند رشد گیاه استفاده گردد، محققین با این باورند که طول ریشه به عنوان مهمترین پارامتر جهت سنجش دوره رشد گیاه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، طول ریشه در واحد حجم خاک بهترین خصوصیت جهت ارزیابی آب خاک و جذب عناصر توسط گیاه میباشد (Khazaei *et al.*, 2014). در گزارشهای سایر محققین نیز نشان داده شده است که مجموع طول ریشه مهمترین خصوصیت و صفت برای گیاه میباشد که گیاه را قادر میسازد که آب بیشتری را از لایه پایین‌تر خاک جذب نماید (Serraj *et al.*, 2004). در سالهای اخیر استفاده از روشهای بیولوژیک مانند کاربرد میکروارگانیسمهای مفید به منظور افزایش مقاومت گیاهان به انواع تنشها مورد توجه قرار گرفته است (Ghouchani *et al.,* 2014). قارچ آربوسکولار از جمله میکروارگانیسمهای مفید است که با ایجاد ارتباط همزیستی با ریشه بیش از ۹۰ درصد از گونههای گیاهی، مزایای زیادی را برای میزبان خود فراهم میکند (Evelin *et al.,* 2009). تاثیر مثبت قارچ مایکوریزا بر رشد گیاه عمدتا به توانایی این قارچ در جذب آب و عناصر غذایی به ویژه فسفر و نیتروژن نسبت داده شده است (Fileccia *et al.,* 2017). همچنین تولید هورمونهای گیاهی، افزایش مقاومت به آفات و بیماریها و بهبود ساختمان خاک از جمله سایر مزایایی است که گیاهان میزبان در این همزیستی از آن بهرهمند میگردند (Heydari *et al.,* 2014). افزایش در رشد و عملکرد گیاهان در نتیجه همزیستی با قارچ مایکوریزا در پژوهشهای مختلفی گزارش شده است، در این زمینه طی آزمایشی نشان داده شدکه تلقیح قارچ مایکوریزا با بذرهای گندم در هر دو شرایط دیم و آبی سبب بهبود رشد و افزایش عملکرد گندم در مقایسه با گیاهان غیرمایکوریزایی گردید (Al-Karaki *et al.,* 2004). همچنین در پژوهشی دیگر استفاده از قارچ مایکوریزا باعث افزایش قابل توجه اجزای عملکرد دانه و تعداد سنبلچه گندم گردید (Bahrani *et al.,* 2010). در یک مطالعه گزارش شد که استفاده از مایکوریزا

تحت شرایط کمآبی سبب افزایش وزن خشک ریشه و اندامهای هوایی گندم نسبت به تیمار شاهد شد (Khalvati *et al.,* 2005). کاربرد قارچ مایکوریزا روی گیاه جو نیز افزایش رشد و تولید ماده خشک بیشتر را به دنبال داشت (Chaurasia & Khare, 2005). فسفر جزء مهمترین عناصری است که نقش عمدهای در انتقال انرژی و بنابراین رشد و تغذیه گیاهان دارد (Heydari *et al.,* 2014). فسفر در تمامی خاکها، بیشتر سنگها، آب و بقایای گیاهی و جانوری وجود دارد، اما اکثر منابع فسفر برای گیاهان به شکل غیرقابل جذب است، بعلاوه تبدیل این منابع به شکل قابل جذب برای گیاه به انرژی بالایی نیاز دارد (Ghazi & Zak, 2003). از آنجایی که قارچهای مایکوریزا توانایی گیاهان میزبان را در جذب عناصر غذایی از خاک بویژه از منابع غیرقابل دسترس افزایش میدهند. بنابراین به نظر میرسد که این قارچها میتوانند جایگزین مناسبی برای قسمتی از کودهای شیمیایی مصرف شده بخصوص کودهای فسفاته باشند (Mukerji *et al.,* 2003). در این رابطه گزارش شده است که همزیستی مایکوریزا با ریشه ذرت و سورگوم به دلیل جذب فسفر منجر به افزایش عملکرد ماده خشک این گیاهان شد (Pamella & steven, 2002). در پژوهشی به منظور بررسی تاثیر قارچ مایکوریزا در کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفره بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت مشخص شد که کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفره در ترکیب با ۶۰ کیلوگرم مایکوریزا بهترین تیمار جهت بهرهوری بهینه از عناصر غذایی خاک و کاهش مصرف کود شیمیایی بود (Heydari *et al.,* 2014). در آزمایشی دیگر روی ذرت مشخص گردید که تلفیق باکتری-های محرک رشد و حل کننده فسفات با کود شیمیایی فسفره توانست کاربرد این کود را بدون کاهش عملکرد دانه ذرت، ۵۰ درصد کاهش دهد (Yazdani *et al.,* 2009). بنابراین، با توجه به اهمیت تلقیح با قارچ مایکوریزا در بهبود عملکرد محصولات زراعی و همچنین ضرورت بهینهسازی مصرف کودهای شیمیایی در راستای کشاورزی پایدار، این تحقیق با هدف بررسی تاثیر کود شیمیایی فسفره و همزیستی با قارچ مایکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف گندم دوروم تحت شرایط دیم ایلام انجام گردید.

مواد و روشها

به منظور بررسی اثر قارچ مایکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف گندم دوروم در شرایط دیم، آزمایشی مزرعهای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله ایلام با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه و با طول جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۶ دقیقه و ارتفاع ۹۷۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. آمار هواشناسی محل مورد آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. تیمارهای آزمایشی شامل چهار رقم گندم دوروم (دهدشت، ذهاب، ساورز و ساجی) و منابع کودی شامل: ۱- تیمار شاهد (عدم مصرف کود) ۲- ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر ۳- قارچ مایکوریزا (با نام تجاری مایکوروت که ترکیبی از سه

گونه *Glomus eanicatum* ، *Glomus msseae* و *Rhizophagus irregularis* بود) ۴- قارچ مایکوریزا +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و ۵۰-۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (۱۰۰ درصد فسفر درهکتار) بودند. مساحت هر کرت آزمایشی هشت مترمربع بود که داخل آن هشت ردیف ایجاد شد. طول هر ردیف چهار متر و فاصله بین ردیف ۲۰ سانتیمتر بود. همچنین فاصله‌ی بین تکرارهای آزمایش یک متر در نظر گرفته شد. قارچ مایکوریزای مورد استفاده در این پژوهش از بخش تحقیقات بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد. قبل از کشت، بذور گندم که از مرکز تحقیقات کشاورزی ایلام تهیه شده بودند با قارچ مایکوریزاکه هر گرم آن دارای ۱۲۰ اسپور زنده بود، تلقیح شدند. پس از آغشته کردن بذور با قارچ مایکوریزا، بذور به مدت چند دقیقه در داخل ظرف موردنظر چرخانده شدند تا مایه تلقیح به کمک صمغ عربی بذر به خوبی سطح بذر را (تلقیح به صورت بذر مال) پوشش دهد. سپس بذور تیمار شده به مدت ده دقیقه روی یک سطح تمیز در سایه قرار داده شدند تا خشک شوند. در نهایت بلافاصله پس از تهیه کردن بستر کاشت، بذور تلقیح شده در شیارهای ایجاد شده کشت شدند. مقدار بذر مصرفی آزمایش برای هر هکتار ۱۲۰ کیلوگرم در نظر گرفته شد. همچنین کودهای نیتروژن و فسفر براساس آزمون خاک (جدول ۲) مورد استفاده قرار گرفتند. کود نیتروژن به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (در هنگام کاشت و شروع ساقه‌دهی) به زمین داده شد. کود فسفر مورد نیاز گیاه از منبع سوپر فسفات تریپل در کرت‌های مربوطه و در زمان کاشت مصرف گردید. لازم به ذکر است که براساس آزمایش خاک و نیاز گیاه، ۱۰۰ درصد کود توصیه شده (معادل ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار) در نظر گرفته شد (Naseri *et al*., 2019). اندازهگیری خصوصیات مربوط به ریشه در مزرعه و در مرحله گرده‌افشانی با استفاده از استوان‌های فلزی با ابعادی به طول ۳۰ سانتیمتر و عرض دو سانتیمتر که از قبل با دست طراحی و ساخته شده بود، انجام گرفت. بعد از برداشت ریشه‌های گندم در مزرعه، جهت اندازه‌گیری طول ریشه‌ها به صورت دستی شستشو داده شدند (Al-Karaki&Al-Raddad, 1997; Sakamoto & Kaji, 2017; Lazarević *et al*., 2018; Vosnjak *et al*., 2021). به دلیل در دسترس نبودن نرم افزار اندازه‌گیری ریشه (*WinRhizo pro*-software) در این آزمایش طول ریشه‌ها به وسیله‌ی خط‌کش ثبت شد. محاسبه حجم ریشه نیز با استفاده از استوانه مدرج از طریق رابطه زیر انجام گرفت (Naseri *et al*., 2019):

$$A = B - C \qquad \text{معادله ۱}$$

در این معادله A نشاندهنده حجم ریشه، B حجم آب و ریشه و C حجم آب خالی است.

برای تعیین میزان محتوای نسبی برگ بوته‌ها در مرحله گرده افشانی و از برگ پرچم با استفاده از معادله زیر میزان محتوی نسبی آب برگ محاسبه گردید (Soomro *et al*., 2011):

$$RWC=[(W_F-W_D)/(W_T-W_D)]*100 \qquad \text{معادله ۲}$$

RWC= درصد محتوی نسبی آب برگ، W_F=

جدول ۱. مشخصات آب و هوایی منطقه چرداول-سرابله در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷

Table 1. Weather characteristics at Chardavol- Sarableh locale during 2018-2019 cropping season

ماه Month	بارندگی Precipitation (mm)	دمای حداقل مطلق Minimum absolute temperature	دمای حداکثر مطلق Maximum absolute temperature	متوسط دما Average of temperature	رطوبت نسبی Relative humidity	دمای زیر صفر (تعداد روز) Sub-zero temperature (Day No.)	متوسط حداقل دما Average of minimum temperature	متوسط حداکثر دما Average of Maximum temperature
		(°C)			(%)		(°C)	
مهر October	35.5	11.6	36	23.7	33	0	16.1	31.3
آبان November	186.7	4.2	27	14.2	69	0	9.5	18.9
آذر December	159.2	1.4	18.2	9.2	80	0	5.2	13.2
دی January	108.5	-3.8	15.2	6.4	66	12	1.3	11.6
بهمن February	157.4	-3.4	20.6	8.7	56	8	3	14.3
اسفند March	62.4	1.8	24	12.2	58	0	6	18.5
فروردین April	178.4	-0.4	25.8	12.6	68	1	7	18.1
اردیبهشت May	12.8	2.4	35.2	18.8	48	0	10.3	27.3
خرداد June	0	12	41.4	28.1	26	0	17.4	34.1
جمع Total	900.9	5.5	27.04	14.8	56	21	8.4	20.8

وزن تر برگ، W_D= وزن خشک برگ، W_T= وزن آماس برگ.

در زمان برداشت جهت اندازهگیری تعداد سنبله در متر مربع از کوادرات یک متر مربعی استفاده شد. سپس تعداد ۱۰ بوته از هر کرت به طور تصادفی انتخاب گردید و طول سنبله هر بوته با خطکش و وزن سنبلههای موردنظر به وسیلهی ترازوی دیجیتال ثبت شد، پس از آن نیز روی سنبلههای جمعآوری شده تعداد سنبلچه و تعداد دانه در سنبله شمارش شد. به منظور تعیین وزن هزار دانه از هر تیمار آزمایشی ۱۰۰۰ بذر به صورت تصادفی شمارش و سپس به وسیلهی ترازوی دیجیتالی ثبت شد. عملکرد دانه پس از حذف اثرات حاشیهای در مساحت

جدول ۲. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله

Table 2. Some physical and chemical properties of soil at Agricultural Research Station of Sarableh

بافت خاک Soil texture	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	منیزیم Mg	فسفر P	پتاسیم K	نیتروژن کل Total N	کربن آلی OC	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH
	(mg kg^{-1})					Available		(%)		(dS m^{-1})	
لومی رسی Clay loam	5.71	1.2	1.4	8.1	230	6.8	281	0.13	1.4	0.55	7.12

۲/۲۵ متر مربعی به صورت جداگانه کفبر و محاسبه گردید. پس از پایان فصل رشد و پس از برداشت نهایی با توجه به آمار هواشناسی منطقه از رابطه زیر جهت محاسبه کارآیی مصرف آب استفاده شد (Ghorbani & Kamkar, 2010):

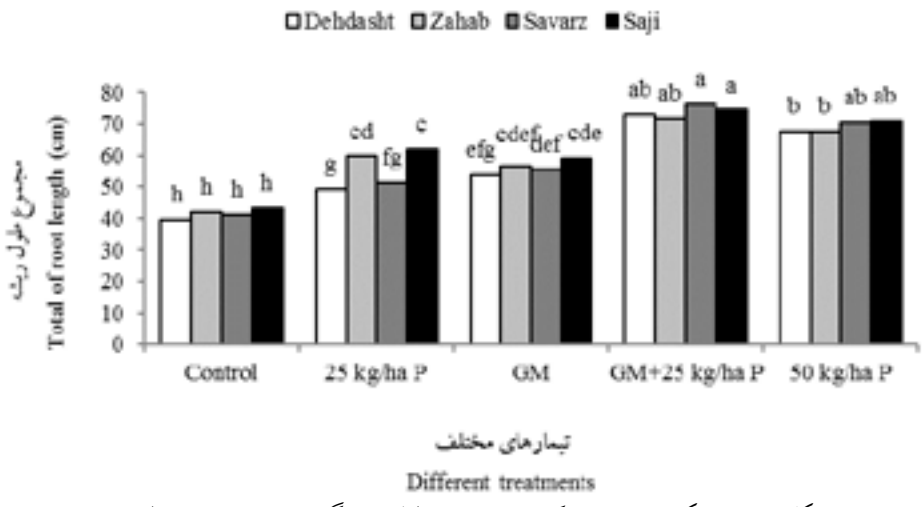
$$WUE = \frac{GY}{AP} \times 100$$ معادله ۳

WUE= کارآیی مصرف آب، GY= عملکرد دانه،AP= مقدار آب بارندگی. پس از برداشت محصول در هر کرت آزمایشی و قبل از جدا کردن دانه‌ها، وزن کل بوته‌ها اندازه‌گیری و عملکرد بیولوژیک تعیین گردید. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 و ترسیم شکل‌ها توسط نرم افزار اکسل انجام گرفت.

نتایج و بحث

طول ریشه

طول ریشه به‌عنوان مهمترین پارامتر در روند رشد گیاه مورد استفاده قرار میگیرد، به دلیل این که طول ریشه در واحد حجم خاک بهترین خصوصیت جهت ارزیابی آب خاک و جذب عناصر توسط گیاه میباشد (Eshghizadeh *et al*., 2012). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال پنج درصد بر مجموع طول ریشه گندم معنیدار بود (جدول ۳). در برهمکنش ارقام ×منابع کودی مشخص گردید که کودها سبب افزایش طول ریشه در تمام ارقام مورد مطالعه شدند (شکل ۱). کاربرد ترکیبی قارچ مایکوریزا و ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر نسبت به کاربرد سایر منابع، بیشترین مجموع طول ریشه را به ترتیب با ۷۶، ۷۴/۳، ۷۳ و ۷۱/۷ سانتیمتر در ارقام ساورز، ساجی، دهدشت و ذهاب داشت (شکل ۱). گزارش شده است که طول ریشه یکی از مهمترین ویژگیها به منظور ارزیابی جذب آب و عناصر غذایی به وسیله‌ی گیاه و موثر بر روند رشد گیاهی است (Khazaei *et al.*, ۲۰۱۴). برخی محققین با بررسی تاثیر قارچ مایکوریزا روی یک رقم گندم مشاهده کردند که تلقیح قارچ مایکوریزا با گندم پس از شش هفته طول ریشه



شکل ۱. اثر برهمکنش رقم ×منابع کودی بر مجموع طول ریشه گندم دوروم تحت شرایط دیم

Fig 1. Interaction effect of cultivar and fertilizer sources on total of root length of durum wheat under rainfed condition

Control، 25 kg/ha P، GM، GM+25 kg/ha P و 50 kg/ha P به ترتیب شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، قارچ مایکوریزا، قارچ مایکوریزا +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

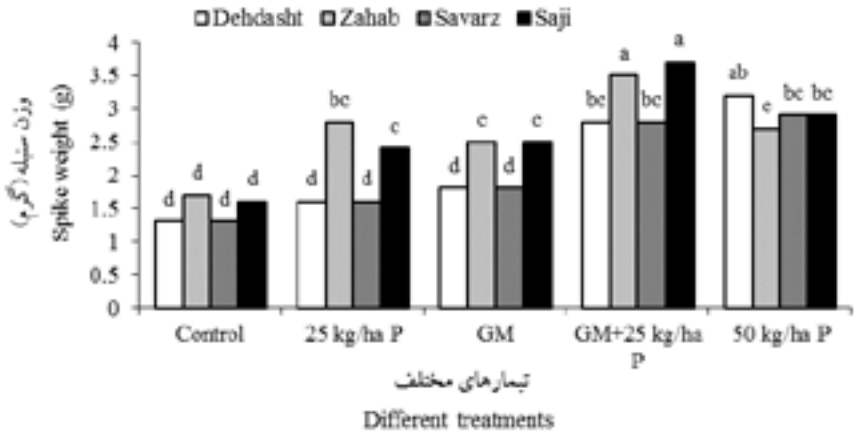
Means with different letters in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test P≤0.05.

را ۴۰ درصد افزایش داد (Stonor *et al.*, 2014).

تلقیح قارچ مایکوریزا روی رقم دیگر گندم نیز در آزمایش مشابه منجر به افزایش ۵۷ درصدی طول ریشه شد (Li *et al.*, 2006). نیتروژن در گیاه باعث انتقال ژنهایی همچون NRT1.1 می‌شود. این ژن یک انتقال دهنده دو قطبی است که به جذب نیترات از ریشه‌ها کمک میکند (Liu *et al.*, 1999). علاوه بر جذب نیترات، ژن NRT1.1 باعث توسعه برگهای جوان (Guo *et al.*, 2001) و تحریک ازدیاد ریشه‌های جانبی میشود (Remans *et al.*, 2006). از اینرو چنین به نظر میرسد مجموع طول ریشه بیشتر تحت تاثیر تیمارهای کودی، در نتیجه‌ی افزایش جذب عناصر غذایی به ویژه فسفر و نیتروژن باشد.

حجم ریشه

حجم ریشه از مهمترین صفت و معیار جهت جذب آب و مواد غذایی به حساب آمده و یک واحد اندازه‌گیری خوبی جهت روابط عملی بین قسمتهای هوایی و ریشه در نظر گرفته می‌شود (Naseri *et al.*, 2019)، که در این پژوهش براساس طبق نتایج جدول ۳ مشخص شد که اثر رقم و منابع کودی معنیدار بود (p≤۰/۰۱)، اما اثر برهمکنش این فاکتورها اختلاف معنیداری را روی این صفت از خود نشان ندادند. رقم‌های ذهاب و ساجی با مقادیر ۹/۱ و ۸/۹ سانتی‌متر مکعب در بین ارقام بیشترین حجم ریشه را به خود اختصاص دادند (جدول ۴)، بهطوری‌که این ارقام نسبت به رقم دهدشت به ترتیب سبب افزایش ۲۰ و ۱۷ درصدی و نسبت به رقم ساورز موجب افزایش ۲۴/۶ و ۲۲ درصدی حجم ریشه شدند. در بین منابع کودی نیز مشخص گردید که حجم ریشه با کاربرد این



شکل ۲. اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر وزن سنبله گندم دوروم تحت شرایط دیم

Fig 2. Interaction effect of cultivar and fertilizer sources on spike weight of durum wheat under rainfed condition

Control، 25 kg/ha P، GM، GM+25 kg/ha P و 50 kg/ha P به ترتیب شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، قارچ مایکوریزا، قارچ مایکوریزا +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with different letters in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test P≤0.05.

منابع به تنهایی و یا در ترکیب با هم به طور معنی-داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داشت، اگرچه بیشترین حجم ریشه در تیمارهای قارچ مایکوریزا+۲۵ کیلوگرم فسفر در هکتار و ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار مشاهده شد (جدول ۴). به نظر میرسد کاربرد فسفر و قارچ مایکوریزا از طریق افزایش رشد و سطح موثر جذب ریشه سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی و بنابراین حجم بیشتر ریشه میشوند. (Malik; *et al.,* 2006 Esmaielpour *et al.,* 2014).

طول و وزن سنبله

اثر ارقام و منابع کودی مختلف بر طول و وزن سنبله و برهمکنش این فاکتورها تنها بر وزن سنبله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). ارقام ذهاب و ساجی به طور معنی-داری طول و وزن سنبله را در مقایسه با ارقام دهدشت و ساورز افزایش دادند که این امر نشان میدهد رقم‌های ذهاب و ساجی سازگاری بیشتری در زراعت دیم دارند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین حاصل از منابع کودی نیز نشان داد که مصرف کود فسفر، مایکوریزا و کاربرد تلفیقی هر دو منبع کودی به طور قابل توجهی نسبت به عدم کاربرد کود طول و وزن سنبله را بهبود دادند (جدول ۴). در مورد برهمکنش ارقام و منابع کودی بر وزن سنبله مشخص شد که رقم ساجی با مصرف تلفیقی مایکوریزا+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر، بیشترین مقدار وزن سنبله را به خود اختصاص داد که در مقایسه با تیمارهای: ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر۲۷/۵ درصد، قارچ مایکوریزا ۴۸ درصد، ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر ۵۴ درصد و در مقایسه با تیمار شاهد ۱۳۱ درصد، وزن سنبله را افزایش داد (شکل ۲). در بررسی اثر کاربرد سویه‌های مختلف مایکوریزا در ارزیابی صفات

اجزای عملکرد ارقام سورگوم بیشترین طول و عرض خوشه سورگوم در تیمارهای مایکوریزا مشاهده شد (Mehraban *et al.*, 2012). طی آزمایشی دیگر در بررسی اثر کود فسفر و مایکوریزا بر صفات کمی و کیفی ذرت در شرایط کمآبی مشخص گردید که بیشترین طول بلال با میانگین‌های ۲۰/۸ و ۱۸/۶ سانتی‌متر در تیمارهای کود فسفر (۱۲۵ کیلوگرم در هکتار) و مایکوریزا بود (Pourrafezi & Afkari, 2017). نتایج آزمایش برخی محققین دیگر نیز تاثیر مثبت و معنیدار استفاده از دو گونه قارچ مایکوریزا (*G. mossea* و *G. etanicatum*) بر طول سنبله در گیاه جو را نشان داد (Khaloq & Sanders, 2000). گزارش شده است که کاربرد توأم مایکوریزا و کود شیمیایی فسفره باعث رشد ریشه و طویلشدن آن میگردند (Sharma & Parma, 2004)، به‌طوریکه با افزایش زیستتوده ریشه، آب بیشتری در اختیار گیاه قرار میگیرد که به دنبال آن میزان تولید اسیمیلات زیاد و این امر سبب افزایش رشد در قسمتهای مختلف گیاه از جمله طول و وزن سنبله میگردد.

عملکرد و اجزای عملکرد دانه

تعداد سنبله در متر مربع

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده ارقام و برهمکنش ارقام و منابع کودی بر تعداد سنبله در متر مربع معنیدار نبود. اما، اثر ساده منابع مختلف کودی تاثیر معنیداری را در سطح احتمال یک درصد بر این صفت نشان داد (جدول ۳). مطابق با نتایج جدول ۴، کلیه تیمارهای کودی سبب افزایش قابل توجه تعداد سنبله در مقایسه با تیمار شاهد شدند که در این بین تیمارهای مایکوریزا + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر بیشترین و تیمار شاهد کمترین میانگین مقادیر را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). اگرچه به نظر میرسد کوتاه شدن دوره رشد رویشی و زایشی گیاه تحت شرایط دیم از طریق کاهش تولید مواد فتوسنتزی و عدم تامین مواد فتوسنتزی کافی به منظور تخصیص به سنبله‌های در حال رشد باعث کاهش تعداد سنبله در گیاه میگردد. با اینحال، همزیستی با قارچ مایکوریزا در چنین شرایطی از طریق افزایش سطح جذب ریشه‌ها باعث افزایش دسترسی گیاه گندم به آب و مواد غذایی میشود (Jahan & Nassiri Mahallati, 2012). آنچه به نظر میرسد، در تیمار عدم استفاده از کود شیمیایی فسفرو عدم تلقیح با قارچ مایکوریزا به دلیل عدم استفاده از هر نوع منبع کودی رشد پنجه‌ها و به تبع تعداد سنبله در متر مربع در شاهد کمتر بود. این افزایش تعداد سنبله در متر مربع احتمالاً ناشی از وجود تیمارهای منابع کودی در محدوده خاک یا ریزوسفر است که به وسیله ایجاد چرخه مواد غذایی و قابل دسترس ساختن آن، افزایش جذب مواد غذایی باعث رشد گیاه از جمله افزایش تعداد سنبله میگردد. نتایج تحقیق انجام شده روی گیاه سورگوم نشان داد که تلقیح بذور سورگوم با مایکوریزا به علت بهبود سطح جذب مواد غذایی به ویژه فسفر باعث افزایش تعداد خوشه در بوته شد (Mehraban *et al.*, 2012). طی آزمایش دیگری با ارزیابی اثر مایکوریزا بر خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گزارش شد که کاربرد مایکوریزا موجب

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رقم و منابع کودی بر صفات مورد ارزیابی در گندم دوروم تحت شرایط دیم

Table 3. Analysis of variance (mean of squares) of the effect of cultivar and fertilizer sources on the studied traits of durum wheat under rainfed condition

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	مجموع طول ریشه Total of root length	حجم ریشه Root volume	طول سنبله Spike length	وزن سنبله Spike weight	تعداد سنبله در متر مربع Spike/m^2	تعداد سنبلچه در سنبله No. of spikelet per spike	تعداد دانه در هر سنبله No. of grain per spike	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	محتوای آب نسبی Water relative content	کارایی مصرف آب Water use efficiency
بلوک Block (R)	2	716.15**	4.70**	9.86**	0.27^{ns}	1566.05**	3.95**	209.05**	25.11**	2902252.9**	15746242.3**	0.0004*	67.5	3.5
رقم Cultivar (C)	3	70.51**	12.02**	7.11**	1.25**	575.66^{ns}	10.09**	363.77**	28.67**	3113294.1**	14721378.3**	0.0019**	77.3**	3.8**
منابع کودی Fertilizer sources (FS)	4	1930.96**	94.38**	30.15**	5.74**	2710.94**	92.20**	592.32**	110.86**	9561381.2**	44278079.9**	0.0092**	1730.7**	11.8**
رقم × منابع کودی Cultivar × Fertilizer sources (C×FS)	12	21.55*	1.54^{ns}	0.33^{ns}	0.31**	130.84^{ns}	2.84**	23.19*	4.29*	347278.4**	1973725.7*	0.0002^{ns}	11.3ns	0.42**
خطا Error	38	9.39	0.43	0.73	0.09	250.63	0.43	10.63	1.79	127868.8	623246.9	0.00009	9.2	0.15
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	5.17	8.03	12.58	12.38	6.49	5.08	11.51	3.83	14.77	13.13	2.5	4.4	14.7

Ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح ۵ درصد و ۱ درصد.

ns, * and **: not significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively

افزایش معنی‌دار تعداد طبق در بوته گلرنگ در مقایسه با تیمار شاهد شد (Rezaei Chiyaneh *et al.*, 2017). همچنین افزایش تعداد غلاف در بوته در گیاه ماش (*Vigna radiate* L.) در نتیجه کاربرد مایکوریزا توسط سایر محققین نیز گزارش شده است. (Hab

تعداد سنبلچه و تعداد دانه در سنبله

تعداد سنبلچه و تعداد دانه در سنبله به طور

جدول۴. اثر مقایسه ساده رقم و منابع کودی بر صفات مورد ارزیابی در گندم دوروم تحت شرایط دیم

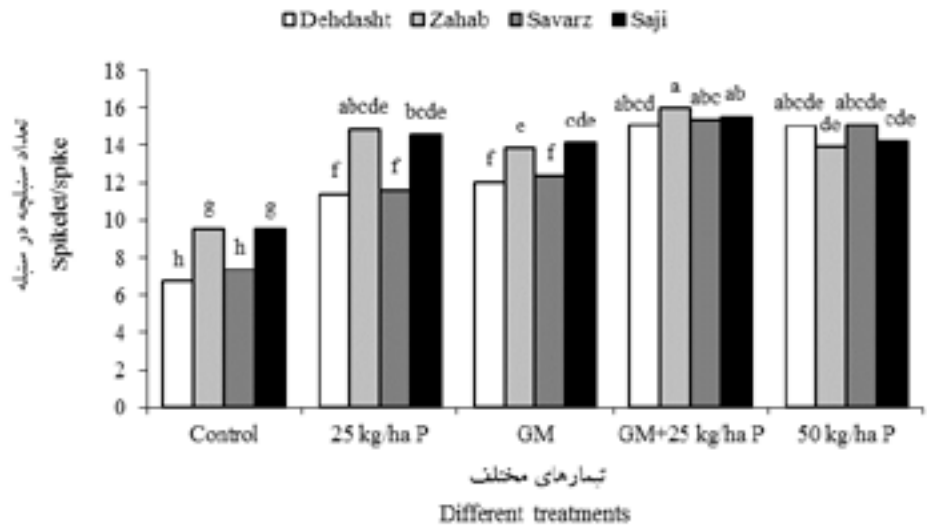
Table 4. The simple effect of cultivar and fertilizer sources on the studied traits of durum wheat under rainfed condition

تیمارها Treatments		حجم ریشه Root volume (cm^3)	طول سنبله Spike length (cm)	تعداد سنبله در متر مربع Spike/m^2	شاخص برداشت Harvest index	محتوای آب نسبی Water relative content
ارقام Cultivars	دهدشت Dehdasht	7.56^{b}	6.1^{b}	248.9^{a}	0.3807^{b}	66.1^{c}
	ذهاب Zahab	9.07^{a}	7.3^{a}	239.9^{a}	0.4003^{a}	69.8^{ab}
	ساورز Saverz	7.30^{b}	6.4^{b}	249.6^{a}	0.3877^{b}	67.7^{bc}
	ساجی Saji	8.85^{a}	7.5^{a}	237.4^{a}	0.4057^{a}	71.2^{a}
LSD (p=0.05)						
منابع کودی Fertilizer sources	شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) Control	4.25^{d}	4.6^{c}	218.9^{b}	0.3502^{c}	51.7^{d}
	۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر 25 kg/ha P	7.67^{c}	6.4^{b}	246.5^{a}	0.3901^{b}	65.2^{c}
	قارچ مایکوریزا GM	7.43^{c}	6.7^{b}	243.3^{a}	0.3926^{b}	66.08^{c}
	قارچ مایکوریزا+۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر GM+25 kg/ha P	11.60^{a}	8.5^{a}	256.3^{a}	0.4207^{a}	82.1^{a}
	۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر 50 kg/ha P	10.04^{b}	8.1^{a}	254.8^{a}	0.4145^{a}	78.2^{b}

برای هر عامل و در هر ستون، میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند (p≤۰/۰۵).

For each factor and in each column means followed by the same letter(s) are not significantly different (P≤0.05).

معنی‌داری (p/۰۱>۰) تحت تاثیر برهمکنش رقم× منابع مختلف کودی قرار گرفت (جدول ۳). اثر برهکمنش رقم×منابع کودی نیز نشان داد که ارقام ذهاب و ساجی با مصرف توأم کود فسفر و مایکوریزا بیشترین و ارقام دهدشت و ساورز در تیمار عدم مصرف کود کمترین تعداد سنبلچه و تعداد دانه در سنبله را داشتند(شکل ۳ و ۴). به نظر میرسد قارچ مایکوریزا از طریق افزایش سیستم ریشه‌ای از جمله طول و حجم ریشه (شکل ۱ و جدول ۴) سبب افزایش مواد پرورده که به نوبه خود موجب زیادشدن رشد رویشی و و همچنین افزایش سهم اندام‌های زایشی از جمله تعداد دانه در سنبله میگردد. با توجه به نتایج مشاهده شد که در تمامی ارقام، کاربرد منابع کودی به ویژه مصرف تلفیقی آنها نسبت به شرایط عدم مصرف کود باعث



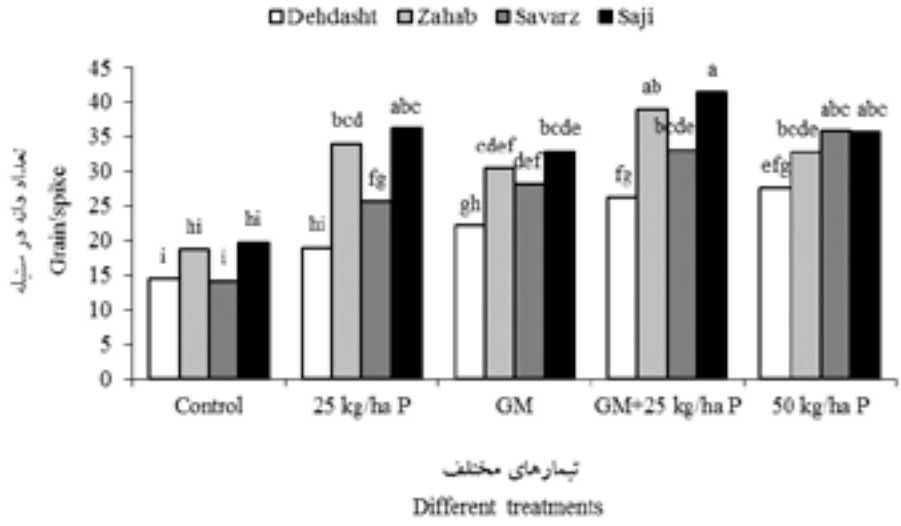
شکل ۳. اثر برهکمنش رقم×منابع کودی بر تعداد سنبلچه در هر سنبله گندم دوروم تحت شرایط دیم

Fig 3. Interaction effect of cultivar and fertilizer sources on number of spikelet per spike of durum wheat under rainfed condition.

Control، 25 kg/ha P، GM، GM+25 kg/ha P و 50 kg/ha P به ترتیب شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، قارچ مایکوریزا، قارچ مایکوریزا +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with different letters in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test P≤0.05.



شکل۴. اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر تعداد دانه در سنبله گندم دوروم تحت شرایط دیم

Fig 4. Interaction effect of cultivar and fertilizer sources on number of grain per spike of durum wheat under rainfed condition

Control، 25 kg/ha P، GM، GM+25 kg/ha P و 50 kg/ha P به ترتیب شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، قارچ مایکوریزا، قارچ مایکوریزا +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

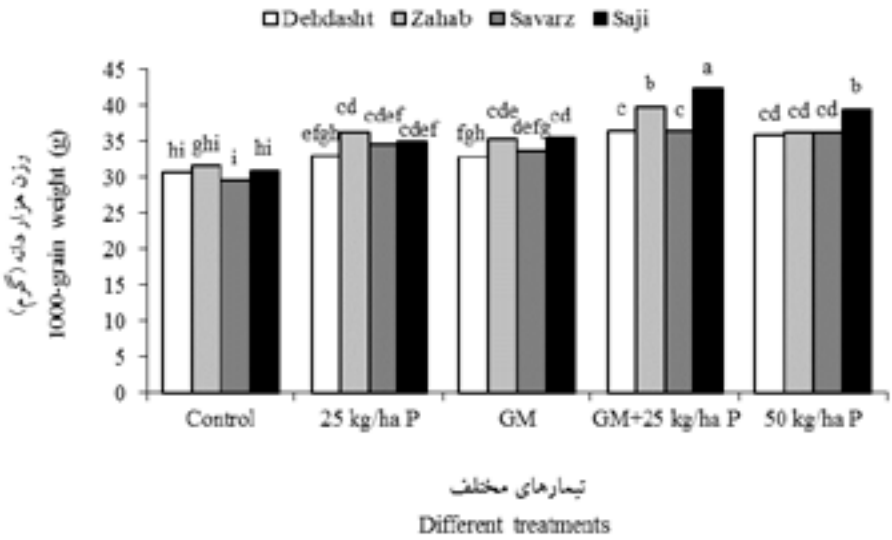
Means with different letters in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test P≤0.05.

کاهش اثرات نامطلوب ناشی از تنش‌های انتهایی فصل و بنابراین افزایش تعداد سنبلچه و تعداد دانه در سنبله میشود (شکل ۳ و ۴). نتایج آزمایشات برخی محققین نشان میدهد که افزایش سیستم ریشه‌دهی و بنابراین جذب بیشتر عناصر غذایی در نتیجه کاربرد قارچ مایکوریزا میتواند در افزایش تعداد دانه در سنبله و سایر اجزای عملکرد گندم در شرایط دیم موثر باشد (Naseri *et al.,* 2019). تاثیر مثبت کود زیستی بر طولانیتر شدن دوره پر شدن دانه و بنابراین افزایش تعداد دانه در سنبله گندم توسط محققین دیگر نیزگزارش شده است (Al-Karaki *et al.,* 2004). همچنین طی آزمایش دیگری بر ذرت مشخص گردید که کاربرد توأم ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار مایکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفره بیشترین تعداد دانه در بلال را حاصل نمود (Heydari *et al,* 2014). از آنجایی که تعداد دانه در سنبله تحت تاثیر گرده‌افشانی و تأمین مواد فتوسنتزی است (Naseri *et al.,* 2019). به نظر میرسد در این آزمایش همزیستی قارچ مایکوریزا با ریشه‌ی گندم علاوه بر گسترش سیستم ریشه‌ای و افزایش حلالیت فسفر تثبیت شده در خاک، باعث دسترسی بهتر ریشه‌ی گندم به کود شیمیایی فسفره میگردد، بنابراین این امر موجب افزایش فتوسنتز و تولید اسیمیلات بیشتر میشود (Poor Mousavi *et al.,* 2009). از اینرو دسترسی بیشتر به آب و مواد معدنی در دوره رشد زایشی بویژه فسفر که یکی از عناصر اصلی موردنیاز گیاه در تشکیل گل و دانه‌بندی است منجر به افزایش تعداد دانه در سنبله می‌گردد (Ardakani *et al.,* 2006). از طرف دیگر در این پژوهش مشخص شد که ارقام ذهاب و ساجی در شرایط کاربرد تیمار کودی مایکوریزا + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر طول سنبله را به طور قابل توجه‌ی افزایش دادند. بنابراین میتوان نتیجه گرفت که افزایش طول سنبله در این شرایط یکی از دلایل افزایش تعداد سنبلچه و تعداد دانه در سنبله باشد.

وزن هزار دانه

اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین وزن هزار دانه با متوسط ۴۲/۲ گرم از رقم ساجی و با مصرف تلفیقی قارچ مایکوریزا + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر و کمترین وزن هزار دانه با متوسط ۲۹/۵ گرم از رقم ساورز و در تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) حاصل شد، که نسبت به تیمار شاهد سبب افزایش ۴۳ درصدی در وزن هزار دانه گردید (شکل ۵). در شرایط آب و هوایی ایلام و در مرحله تشکیل و پر شدن دانه که کمبود آب و گرما را شاهد هستیم (جدول ۱)، کمبود رطوبت باعث اختلال در عمل پر شدن دانه و در نتیجه کاهش وزن هزار دانه می‌گردد. از نتیجه آزمایش حاضر چنین استنباط میشود که همزیستی قارچ مایکوریزا با ریشه‌ی گندم از طریق افزایش سیستم ریشه‌دهی (شکل ۱ و جدول ۴) و جذب بهتر آب و مواد غذایی موجب افزایش فتوسنتز و بهبود رشد گیاه میشود که به دنبال آن مواد فتوسنتزی بیشتری به مخازن دانه انتقال مییابد.

(Jahan & Nassiri Mahallati, 2012). آنچه مشخص است به نظر میرسد که تلقیح رقم‌های



شکل ۵. اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر وزن هزار دانه گندم دوروم تحت شرایط دیم

Fig 5. Interaction effect of cultivar and fertilizer sources on 1000-grain weight of durum wheat under rainfed condition

Control، 25 kg/ha P، GM، GM+25 kg/ha P و 50 kg/ha P به ترتیب شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، قارچ مایکوریزا، قارچ مایکوریزا +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

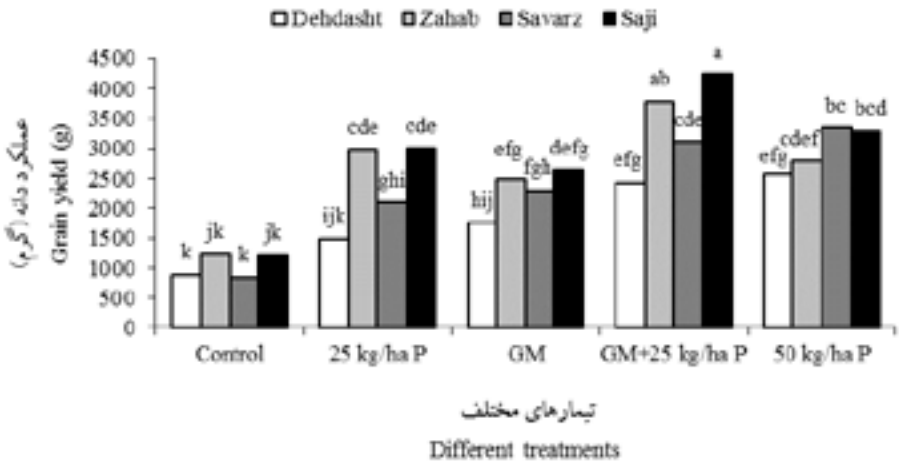
Means with different letters in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test P≤0.05.

مختلف گندم با قارچ مایکوریزا سبب افزایش بیوماس شده، همچنین از طریق افزایش میزان جذب فسفر و سایر عناصر غذایی در نهایت بهبود رشد اندام هوایی گندم و تولید ماده خشک را به دنبال دارد (Heydari *et al.*, 2014).

در واقع علت افزایش وزن هزاردانه را در رقم‌های مورد بررسی در حضور قارچ مایکوریزا میتواند به دلیل افزایش رشد و انتقال مواد فتوسنتزی به ریشه‌ها بوده باشد که توسعه ریشه شرایط برای جذب عناصر غذایی فراهم نموده که این به نوبه خود موجب زیادشدن فتوسنتز و زمانیکه گیاه به دوران رسیدگی نزدیک شده مواد فتوسنتزی را به دانه‌ها منتقل و سبب افزایش وزن هزار دانه میگردد (Naseri *et al.*, 2019). نتایج این پژوهش با نتایج سایر پژوهشگران بر سورگوم دانهای و جو مطابقت دارد (Hamzei & Sadeghi Meabadi, 2014; Espidkar *et al.*, 2016).

عملکرد دانه

براساس نتایج جدول ۳ اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر این صفت اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد داشتند. با توجه به شکل ۷ در هر یک از تیمارهای منابع کودی به جزء تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر کمترین عملکرد دانه از ارقام دهدشت و ساورز به دست آمد، در حالی که بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۴۲۳۸/۳ و ۳۷۸۴ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از ارقام ساجی و ذهاب در مصرف تیمار تلفیقی مایکوریزا + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر حاصل شد (شکل



شکل ۶. اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر عملکرد دانه گندم دوروم تحت شرایط دیم

Fig 6. Interaction effect of cultivar and fertilizer sources on grain yield of durum wheat under rainfed condition

Control، 25 kg/ha P، GM، GM+25 kg/ha P و 50 kg/ha P به ترتیب شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، قارچ مایکوریزا، قارچ مایکوریزا +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with different letters in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test P≤0.05.

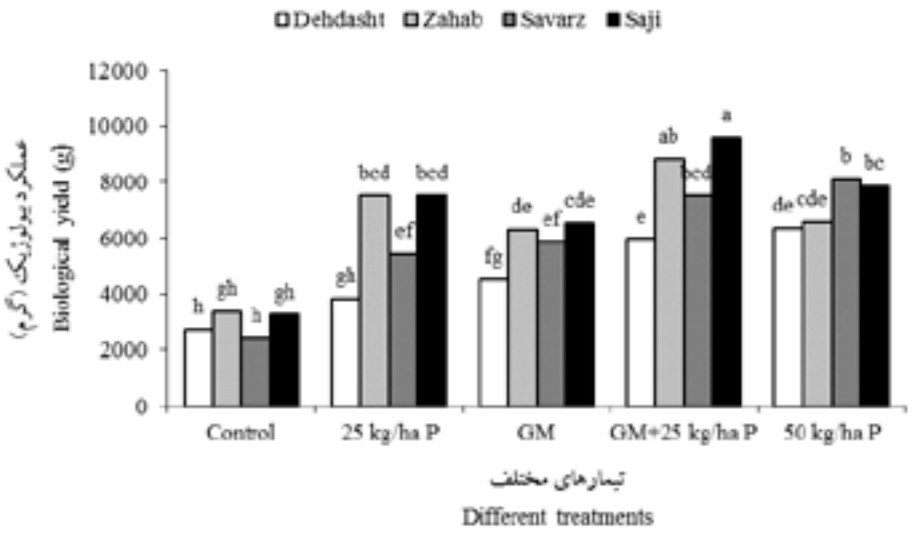
۶). به طورکلی کاربرد کود فسفر، مایکوریزا و هر دو منبع کودی باعث کاهش اثرات منفی در شرایط و افزایش عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم مصرف کود شدند (شکل ۷). از آنجایی که عملکرد دانه برآیندی از اجزای عملکرد دانه مثل تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه است. بنابراین بیشتر بودن عملکرد دانه در تیمارهای تلقیح قارچ میکوریزا در هر رقمهای مورد بررسی را میتوان به بالا بودن اجزا عملکرد دانه از جمله تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و وزن هزار دانه نسبت داد. اما در این پژوهش بیشتر بودن عملکرد دانه را در تیمار تلفیقی مایکوریزا و کود فسفر در هر دو رقم ساجی و ذهاب نسبت به سایر ارقام گندم دوروم میتوان به بالا بودن اجزای عملکرد یعنی تعداد سنبله در متر مربع، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه نسبت داد. نتایج مطالعه‌ای نشان داد کاربرد مایکوریزا و کود فسفره به علت نقشی که در رشد ریشه، تسهیل جذب فسفر و روند مثبتی که در دوره رشد زایشی داشتند، توانستند تاثیر مثبتی بر عملکرد دانه داشته باشند (Heydari *et al.,* 2014). نتایج بررسی‌های مختلف نشان داد استفاده از قارچ مایکوریزا در گندم (Ardakani *et al.,* 2006) و ذرت (Sylvia *et al.,* 1993) باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شده است. افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد کود فسفر در آفتابگردان، برنج و گندم توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Farooq *et al.,* 2006). همچنین طی مطالعه‌ای با بررسی عملکرد و اجزای عملکرد ذرت تحت تاثیر مایکوریزا و سطوح مختلف کود فسفر مشخص شد، کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار مایکوریزا و مصرف ۵۰

درصد کود شیمیایی فسفره بالاترین عملکرد دانه ذرت را در بین سایر تیمارها حاصل نمود . (Heydari *et al.,* 2014) در یک تحقیق بیشترین عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش کم‌آبی به‌واسطه همزیستی با مایکوریزا و کاربرد ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر به دست آمد(Pourrafezi & Afkari, 2017). این پژوهشگران دلیل این امر را در درجه اول به افزایش سطح و گسترش ریشه‌های گیاه از طریق تولید ریسههای قارچی و افزایش جذب آب و عناصر غذایی به ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم و در ادامه به بهبود فتوسنتز، رشد و نمو و توسعه‌ی اندام‌های هوایی و در نهایت افزایش وزن خشک گیاه نسبت دادند.

عملکرد بیولوژیک

اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر عملکرد بیولوژیک گندم معنیدار بود (جدول ۳). در تمامی ارقام گندم تلقیح بذور با قارچ مایکوریزا در مقایسه با عدم کاربرد قارچ به طور معنی‌داری عملکرد را افزایش داد. اثر برهمکنش رقم×منابع کودی نشان داد که بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک از رقم‌های ساجی و ذهاب در تیمار مایکوریزا + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر بدست آمد. کمترین میزان عملکرد بیولوژیک نیز در شرایط عدم کاربرد کود در رقم ساورز مشاهده شد (شکل ۷).

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش برای عملکرد بیولوژیک به نظر میرسد که تیمار کودی (کود شیمیایی فسفر به همراه قارچ مایکوریزا) در شرایط دیم منطقه از طریق تولید زیست توده بالا میتواند سبب افزایش عملکرد بیولوژیک گردد. از عمدهترین دلایل این موضوع میتوان به افزایش توانایی گیاه در جذب فسفر و سایر عناصر غذایی (Pellegrino *et al.,* 2015; Treseder, 2013)، مقاومت به تنشهای زیستی (پاتوژنها) و غیر زیستی (خشکی، شوری و عناصر سنگین) و افزایش کیفیت خاک با بهبود دانهبندی و ساختار خاک تحت تاثیر همزیستی با قارچ مایکوریزا اشاره کرد (Rillig & Mummey, 2006; Pellegrino *et al.,* 2015; Bedini *et al.,* 2009). نتایج یک آزمایش نشان دادکه کارایی جذب فسفر در روش کاربرد مستقیم در سیستم‌های کشاورزی به ندرت از ۲۵ درصد بالاتر میرود (Johnston & Syers, 2009). به طور کلی، ساز و کار جذب آب و عناصر غذایی در گیاهان همزیست با مایکوریزا از طریق افزایش سطح تماس با توده خاک توسط هیف‌ها قارچ، یا به عبارت دیگر از طریق افزایش طول موثر ریشه است (Treseder, 2013). گزارش شده است که در یک نظام مایکوریزایی، طول موثر ریشه ممکن است تا ۱۰۰ برابر افزایش یابد (McGonigle & Miller, 1999). ازآنجایی که فسفر کمترین تحرک را در بین عناصر غذایی دارد. بنابراین، به نظر میرسد مایکوریزا میتواند از طریق افزایش سطح جذب ریشه کارایی جذب فسفر در گیاه را نیز افزایش دهد و از این طریق در بهبود رشد و افزایش عملکرد گندم موثر واقع شود. با این وجود در برخی موارد گزارش شده است که افزایش بیش از حد کاربرد فسفر در خاک باعث کاهش کلونیزاسیون مایکوریزا با ریشه گیاهان میزبان میشود (Watts-Williams *et al.,* 2013).



شکل ۷. اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر عملکرد بیولوژیک گندم دوروم تحت شرایط دیم

Fig 7. Interaction effect of cultivar and fertilizer sources on biological yield of durum wheat under rainfed condition

Control، 25 kg/ha P، GM، GM+25 kg/ha P و 50 kg/ha P به ترتیب شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، قارچ مایکوریزا، قارچ مایکوریزا +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنیداری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند .

Means with different letters in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test P≤0.05.

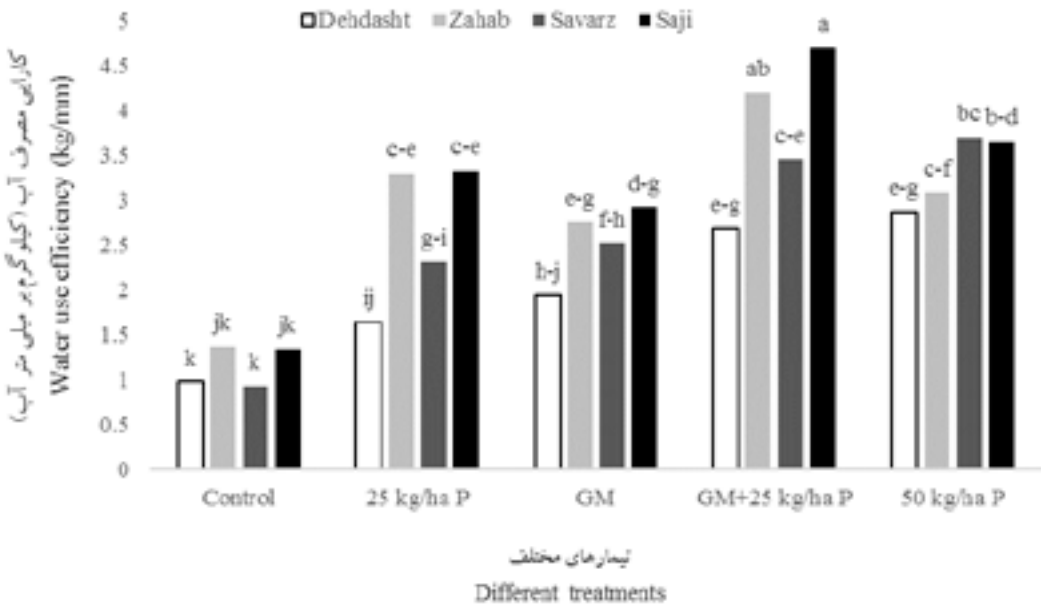
شاخص برداشت

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم و منابع کودی بر شاخص برداشت معنیدار بود (جدول ۳). دامنه تغییرات شاخص برداشت بین رقمها مورد مطالعه اندک بود (بین ۰/۳۸ تا ۰/۴۰) (جدول ۴). با اینحال، دامنه تغییرات این شاخص در تیمارهای کودی بیشتر بود و بیشترین و کمترین میزان این شاخص به ترتیب با ۰/۴۲ و ۰/۳۵ در تیمار قارچ مایکوریزا + ۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر و تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴). در این آزمایش کاربرد فسفر و مایکوریزا به تنهایی و کاربرد تلفیقی آنها شاخص برداشت گندم را بهبود دادند. گزارش شده است که فسفر نقش کلیدی در بهرهوری آب تحت شرایط محدودیت آب ایفا میکند (He, 2010). یک سطح مناسب از فسفر میتواند باعث حفظ رطوبت خاک و تولید عملکرد بیشتر شود. این موضوع ممکن است به علت رشد و توسعه بهتر ریشه باشد که نهایتا منجر به بهبود استفاده از رطوبت خاک میگردد (He, 2010; Malik *et al.*, 2006). در این زمینه، نتایج یک تحقیق نشان داد که تغذیه مطلوب با فسفر، مقاومت به خشکی را از طریق کاهش تعرق و افزایش جذب آب از محیط ریشه بهبود میبخشد (Borch *et al.*, 2003). از اینرو به نظر میرسد در شرایط دیم کاربرد فسفر از طریق افزایش رشد و توسعه ریشه (شکل ۱ و جدول ۴) عملکرد گندم را بهبود داد و از این طریق در افزایش شاخص برداشت موثر واقع شد. همانطور که پیشتر نیز

بیان شد، همزیستی با قارچ مایکوریزا جذب آب و عناصر غذایی را افزایش میدهد، در نتیجه به نظر میرسد در شرایط دیم طول دوره پر شدن دانه را در تمامی ارقام بهبود و از این‌طریق باعث افزایش شاخص برداشت گندم میگردد.

محتوای آب نسبی

بر اساس نتایج بدست آمده اثر ساده رقم و منابع کودی بر محتوای آب نسبی معنیدار شدند. بر اساسس جدول مقایسات ساده، رقم ساجی و رقم دەدشت بترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان محتوای آب نسبی بودند. در تیمار منابع کودی نیز بیشترین میزان محتوای آب نسبی در تیمار قارچ مایکوریزا + ۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر و تیمار شاهد (عدم مصرف منابع کودی) کمترین میزان محتوای آب نسبی را دارا بودند (جدول ۴). قارچ میکوریزا بر تعادل آبی گیاه در شرایط تنش اثر بگذارند (Auge *et al*., 2001). در مطالعات پژوهشگران نشان داده شد که کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد سبب زیادشدن محتوای آب نسبی میگردد (Naveed *et al*., 2014). در گزارش‌های سایر محققان نشان داده شد که تلقیح بذر با باکتری-های افزاینده رشد موجب بهتر شدن روابط آبی و سبب کم شدن تلفات آب در گیاه میگردد (Sandhya *et al*., 2010). در سایر گزارش‌های دیگر محققین نیز نشان داده شد محتوابی آب



شکل۸. اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر کارایی مصرف آب گندم دوروم تحت شرایط دیم

Fig 8. Interaction effect of cultivar and fertilizer sources on water use efficiency of durum wheat under rainfed condition

Control، 25 kg/ha P، GM، GM+25 kg/ha P و 50 kg/ha P به ترتیب شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، قارچ مایکوریزا، قارچ مایکوریزا +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر

میانگینهای دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنیداری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند .

Means with different letters in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test P≤0.05.

نسبی تحت کاربرد قارچ میکوریزا افزایش می‌یابد (Asrar *et al*., 2012). بیشتر بودن محتوابی آب نسبی برگها در گیاهان تلیقح شده با قارچ میکوریزا سبب کم شدن رقابت بین اندام‌های هوایی به منظور استفاده از آب میشد.

کارایی مصرف آب

همانطور که جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان میدهد کارآیی مصرف آب تحت تأثیر برهمکنش رقم×منابع کودی اختلاف معنی‌داری از خود نشان داد (جدول ۳). بیشترین میزان کارآیی مصرف آب از رقم ساجی و تحت کاربرد باکتری قارچ میکوریزا +۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و کمترین آن از رقم دهدشت و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بدست آمد، که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۷۳/۸ درصدی در میزان کارآیی مصرف آب گردید (شکل ۸). دلیل بالا بودن میزان کارآیی مصرف آب در گندم دیم رقم ساجی در حضور قارچ میکو ریزا را میتوان به جذب بیشتر رطوبت به واسطه سیستم گسترده ریشه و زیستتوده ریشه بالاتر در این رقم دانست (شکل ۱).

نتایج آزمایش بر گندم نشان میدهد که گیاهان که با قارچ میکوریزا تلقیح میشوند به ازای تولید هر واحد ماده خشک، آب کمتری مصرف نموده و در نتیجه کارآیی مصرف آب بالاتری دارند (Al-Karaki *et al.,* 2004). در سایر گزارشها نیز تلقیح با قارچ میکوریزا به خاطر افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و تولید بیشتر مواد فتوسنتزی به ازای واحد آب مصرفی کارآیی مصرف آب زیاد گردید (Mille *et al*., 2000). برخی محققین افزایش جذب فسفر از طریق تلقیح گیاهان با قارچ میکوریزا را علت زیاد شدن کارآیی مصرف آب بیان نمودهاند (Alimadadi *et al.,* 2011).

نتیجه‌گیری کلی

استفاده از فن‌آوری کودهای زیستی به ویژه به منظور مدیریت فسفر خاک در خاکهای با کمبود فسفر و رطوبت خاک از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به نتایج این پژوهش به نظر میرسد که در زراعت دیم استفاده از قارچ مایکوریزا به دلیل نقش آن در افزایش سیستم ریشه‌ای گیاه (طول و حجم ریشه) و همچنین ویژگیهای فیزیولوژیکی (محتوای آب نسبی و کارایی مصرف آب)، میتوانند در افزایش عملکرد دانه گندم دوروم تاثیر مثبتی داشته باشند. بیشتر بودن عملکرد دانه در تیمار تلقیح قارچ میکوریزا در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد قارچ مایکوریزا) در رقم‌های مورد بررسی به دلیل بالا بودن اجزا عملکرد دانه (تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و وزن هزار دانه) بود. با اینوجود، نتایج این مطالعه به خوبی مشخص نمود که استفاده تلفیقی از کود فسفر و قارچ مایکوریزا نتایج بهتری در مقایسه با کاربرد آنها به تنهایی دارد. به طوریکه بیشترین میزان عملکرد گندم دوروم با ۴۲۳۸ کیلوگرم در هکتار از تیمار تلفیق مایکوریزا به همراه ۲۵ کیلوگرم فسفر در هکتار و در رقم ساجی حاصل شد. یافته‌های این مطالعه همچنین مشخص نمود که رقم‌های ساجی و ذهاب در مقایسه با ساورز و دهدشت

در کاربرد قارچ مایکوریزا، مقاومت بیشتری در شرایط دیم فصل دارند و عملکرد دانه بهتری در شرایط دیم ایلام ثبت نمودند.

References

Alimadadi, A., Jahansouz, M.R., Besharaty, H., and Tavakkol-Afshari, R. 2011. Evaluating the effects of biofertilizers and seed priming on chickpea (*Cicer arietinum* L.) *seed quality. Australian Journal of Soil Research*, 24: 156-167. (In Persian with English Summary).

Al-Karaki, G.N., and Al-Raddad, A. 1997. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Mycorrhiza*, 7: 83-88.

Al-Karaki, G., Michael, M.C., and John Zak, B. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*, 14: 263-269.

Ardakani, M.R., Majd, F., and Noormohammadi, G. 2006. Evaluating the efficiency of mycorrhizal and esterpetomysis in phosphorous different levels and effect of their utilize on wheat yield. *Iranian Journal of Agronomy Sciences*, 2(2): 17-27. (In Persian with English Summary).

Asrar, A.A., Abdel-Fattah, G.M., and Elhindi K.M. 2012. Improving growth, flower yield, and water relations of snapdragon (*Antirhinum majus* L.) plants grown under well-watered and water stress conditions using arbuscular mycorrhizal fungi. *Photosynthetica*, 50 (2):305–316.

Augé, R.M., Stodola, A.J.W., and Tims, J.E. 2001.Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. *Plant Soil*, 230:87–97.

Bahrani, A., Pourreza, J., and Haghjoo, M. 2010. Response of winter wheat to co-inoculation with azotobacter and arbascular mycorrhizal fungi (AMF) under different sources of nitrogen fertilizer. *American-Eurasian Journal Agriculture and Environment Science*, 8(1): 95-103.

Bedini, S., Pellegrino, E., Avio, L., Pellegrini, S., Bazzoffi, P., Argese, E., and Giovannetti, M. 2009. Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhizal fungal species *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*. *Soil Biology and Biochemistry*, 41: 1491-1496.

Borch, K., Miller, C., Brown, K.M., and Lynch, J.P. 2003. Improved drought tolerance in marigold by manipulation of root growth with buffered-

phosphorus nutrition. *Hortscience*, 38, 212–216.

Chaurasia, B., and Khare, P.K. 2005. Hordeum vulgare: A suitable substrate for mass production of arbuscular mycorrhizal fungi from natural soil. *Applied Ecology and Environmental Research*, 4: 45-53.

Eshghizadeh, H.R., Kafi, M., Nazami, A., and Khoshgoftarmanesh, A.H. 2012. Studies on the role of root morphology attribution in salt tolerance of blue-pani grass (*Panicum antidotale* Retz.) using artificial neural networks (ANN). *Research on Crops*, 13 (2): 534-544.

Espidkar, Z., Yarnia, M., Ansari, M., Mirshekari, B., and Asadi Rahmani, H. 2016. Effect of mycorrhiza fungi on ecophysiological characteristics of barley cultivars in response to inoculation with different strains of Pseudomonas fluorescence under rain fed conditions. *Crop Physiology Journal*, 30 (8): 38-21. (In Persian with English Summary).

Evelin, H., Kapoor, R., and Giri, B. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. *Annals of Botany*, 104: 1263–1280.

Farooq, M., Basra, S.M.A., Warraich, E.A., and Khaliq, A. 2006. Optimization of hydropriming techniques for rice seed invigoration. *Seed Science and technology*, 34: 529-534.

Fileccia, V., Ruisi, P., Ingraffia, R., Giambalvo, D., Frenda, A.S., and Martinelli, F. 2017. Arbuscular mycorrhizal symbiosis mitigates the negative effects of salinity on durum wheat. *PloS one*, 12: 158-184.

Ghasemi, M., and Zahedi, M. 2018. Effects of mycorrhizal inoculation on the response of some sorghum genotypes to salinity. *Plant Process and Function*, 7(24): 121-138.

Ghazi, A.K., and Zak, B.M. 2003. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*, 14: 263-269.

Ghorbani, M.H., and Kamkar, B. 2010. Effect of row spacing and plant density on soil moisture, dry matter production, yield and water use efficiency in wheat in rainfed condition. *Journal of Plant Production,* 17 (3): 1-19.

Habibzadeh, Y., Zardoshti, M.R., Pirzad, A., and Jalilian, J. 2013. Effects of mycorrhizal arboscular on grain yield and yield component of Mungbean

[*Vigna radiate* (L.) Wilczk] under water deficit stress. *Agronomy Journal* (Pajouhesh & Sazandegi), 100, 38-47. (In Persian with English Summary).

Hamzei, J., and Sadeghi Meabadi, F. 2014. The effect of irrigation intervals and arbuscular mycorrhizal fungi on chlorophyll index, yield and yield components of grain sorghum. *Journal of Crop Production and Processing*, 4(12): 211-221. [In Persian with English Summary].

He, C. 2010. Effects of furrow irrigation on the growth, production and water use efficiency of direct sowing rice. *The Scientific World Journal*, 3(10): 1483–1497.

Heydari, A., Nasri, M., and Ghoshchi, F. 2014. The study of Symbiotic of mycorrhizae and phosphorus fertilizer on yield and yield components of corn in Robat karim region. *Agronomic Research in Semi Desert Regions*, 11: 161-170. (In Persian).

Jahan, M., and Nassiri Mahallati, M. 2012. Soil fertility and biofertilizers. Ferdowsi University of Mashhad Press. 250p. (In Persian with English Summary).

Johnston, A.E.J., and Syers, J.K. 2009. A new approach to assessing phosphorus use efficiency in agriculture. B*etter Crops Plant Food*, 93: 14–16.

Khaloq, A., and Sanders, F. 2000. Effects of vesicular arbuscular mycorrhizal inoculation on growth phosphorus nutrition of barley in natural or methyl bromide- treated. *Journal of Plant Nutrition*, 32: 1961-1996.

Khalvati, M.A., Mzafar, A., and Schmidhalter, U. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hypha and its signification for leaf growth, water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology Stuttgart*, 7(6): 706-712.

Khazaei, H.R., Riahinia, S.H., and Eshghizadeh, H.R. 2014. Effect of water stress on root distribution and extension of different triticale genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research,* 12 (3): 417-426. (In Persian with English Summary).

Lazarević, B., Lošák, T., and Manschadi, A.M. 2018. Arbuscular mycorrhizae modify winter wheat root morphology and alleviate phosphorus deficit stress. *Plant Soil Environment*, 64: 47–52.

Malik, A., Hassan, F.U., Waheed, A., Qadir, G., and Asghar, R. 2006. Interactive effects of irrigation and phosphorus on green gram (*Vigna radiata* L.). P*akistan Journal of Botany*, 38(4): 1119–1126.

McGonigle, T.P., and Miller, M.H. 1999. Winter survival of extraradical hyphae and spores of arbuscular mycorrhizal fungi in the field. *Applied Soil Ecology*, 12: 41-50.

Mehraban, A., Moussavi Nik, S.M., and Tavassoli, A. 2012. The effect of vesicular arbuscular mycorrhizal (VAM) on yield and yield components of threesorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars. *Journal of Crop Ecophysiology*, 6: 265-278. (In Persian with English Summary).

Miller, M. H. 2000. Arbuscular mycorrhizae and the phosphorus nutrition of maize: A review of Guelph studies. *Canadian Journal of Plant Sciences,* 80: 47-52. Ministry of Agriculture- Jahad. Agricultural statistic. 2016-17.

Naseri, R., Barary, M., Zarea, M.J., Khavazi, K., and Tahmasebi, Z. 2019. Evaluation of root and grain yield of wheat cultivars affected by phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi under dry land conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17: 83-98. (In Persian with English Summary).

Naveed, M., Baqir Hussain, M., Zahir, Z.A., Mitter, B., and Sessitsch, A. 2014. Drought stress amelioration in wheat through inoculation with Burkholderia phytofirmans strain PsJN. *Plant Growth Regulation*, 73:121–131.

Pamella, A., and Steven, C.S. 2002. Inorganic phosphate solubilization by rhizospher in a *Zostera marin* community. *Canadian Journal of Micro biology*, 28: 605-610.

Pellegrino, E., Öpik, M., Bonari, E., and Ercoli, L. 2015. Responses of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi: A meta-analysis of field studies from 1975 to 2013. *Soil Biology and Biochemistry*, 84: 210-217.

Perry, T.W., Rhykerd, C.L., Holt, D.A., and Mayo, H.H. 2011. Effect of potassium fertilization on chemical characteristics, yield and nutritive value of corn silage. *Journal of Animal Science*, 34: 642-646.

Poor Mousavi, S.M., Galavi, M., Daneshiyan, J., Ghanbari, A., Basirani, N., and Jonoobi, P. 2009. Effect of animal manure application on quantitative and

qualitative yield of soybean in drought stress conditions. I*ranian Journal of Field Crop Science*, 40 (1): 133-145. (In Persian with English Summary).

Pourrafezi, A., and Afkari, A. 2017. The effect of mycorrhiza and phosphorus fertilizer application on some corn quantitative and qualitative traits under drought stress. *Agroecology Journal*, 13: 39-48. (In Persian with English Summary).

Rezaei Chiyaneh, E., Khorramdel, S., Movludi, A., and Rahimi, A. 2017. Effects of nano chelated zinc and mycorrhizal fungi inoculation on some agronomic and physiological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15: 168-184. (In Persian with English Summary).

Rillig, M.C., and Mummey, D.L. 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phycologist*, 171: 41-53.

Sakamoto, K., and Kaji, T. 2017. Estimation of the root colonization of soybean by an arbuscular mycorrhizal fungus, Gigaspora rosea, based on specific fatty acid profiles. *Soil Science and Plant Nutrition*, 63 (6): 536-542.

Sandhya, V., Ali, S.Z., Grover, M., Reddy, G., and Venkateswarlu, B. 2010. Effect of plant growth promoting Pseudomonas spp. On compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. *Plant Growth Regulation*, 62: 21–30.

Serraj, R., Krishnamurty, L., Kashiwagi, J., Kumar, J.K., Chandra, S., and Crouch, J.H. 2004. Variation in root traits of chickpea (*Cicer aretinum* L.) grown under terminal drought. *Field Crops Research*, 88: 115-127.

Sharma, H., Bhandawat, A., Kumar, P., Rahim, M.S., Parveen, A., Kumar, P., Madhawan, A., Rishi, V., and Roy, J. 2020. Development and characterization of bZIP transcription factor based SSRs in wheat. *Gene*, 756: 144912.

Sharma, R.A., and Parma, B.B. 2004. Influence of biofertilizers and indigenous sources of nutrients on nutrient uptake and productivity of rain fed barley. *Crop Research Hisar*, 13: 11-18.

Soomro, M., Markhand, H., and Soomro, B.A. 2011. Screening Pakistani cotton for drought tolerance. *Pakistan journal of botany*, 44 (1): 383-388.

Sun, Y. Y., Wang, X. L., Wang, N., Chen, Y. L., and Zhang, S. Q. 2014. Changes in the yield and associated photosynthetic traits of dry-land winter wheat (Triticum aestivum L.) from the 1940s to the 2010s in Shaanxi Province of China. *Field Crops Research*, 167, 1–10.

Sylvia, D.M., Hammond, L.C., Bennett, J.M., Haas, J.H., and Linda, S.B. 1993. Field response of maize to a VAM fungus and water management. *Agronomy Journal,* 85: 193-198.

Treseder, K. 2013. The extent of mycorrhizal colonization of roots and its influence on plant growth and phosphorus content. *Plant Soil*, 371: 1–13.

Vosnjak, M., Likar, M., and Osterc, G. 2021. The Effect of Mycorrhizal Inoculum and Phosphorus Treatment on Growth and Flowering of Ajania (Ajania pacifica (Nakai) Bremer et Humphries) Plant. *Horticulturae*, 7: 1-12.

Watts-Williams, S.J., Patti, A.F., and Cavagnaro, T.R. 2013. Arbuscular mycorrhizas are beneficial under both deficient and toxic soil zinc conditions. *Plant Soil*, 371: 299–312.

Yazdani, M., Bahmanyar, M., Pirdashti, H., and Esmaili, M.A. 2009. Effect of phosphate solubilization microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 37: 90-92.

Study of the effects of phosphorous and mycorrhiza on yield and yield components of durum wheat under rainfed condition

Houshang Naserirad[1*], Rahim Naseri[2], Amir Mirzeai[3] and Batool Zarei[4]

1. 1. Department of Agriculture, Pyame Noor University. PO.BOX 19395-4697. Tehran. Iran . (Corresponding author)
2. 2. Department of Plant Production Technology, Dehloran Faculty of Agriculture and Engineering, Ilam University, Ilam, Iran.
3. 3. Crop and Horticultural Science Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam,Iran.
4. 4. Ph.D in Genetic engineering, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

Received: August 2020 Accepted: October 2021- DOI: 10.22092/aj.2021.342492.1496

Extended Abstract

Naserirad, H., Naseri, R., Mirzeai, A., Zarei, B., Study of the effects of phosphorous and mycorrhiza on yield and yield components of durum wheat under rainfed condition
Applied Research in Field Crops Vol 34, No. 3, 2021 07-09: 43-68(in Persian)

Introduction:

Wheat is one of the most important cereal products, which has a significant effect on human nutrition. Wheat has been cultivated for more than 10,000 years as a primary human food and it has had a significant impact on human social, demographic, and cultural development (Yousefian *et al*., 2021). Durum wheat is usually grown under rainfed conditions where fluctuations in precipitation have caused water scarcity to act as a major limiting factor for crop productivity, particularly when water deficit stress occurs during the flowering and grain filling period stages (Bassi & Sanchez-Garcia, 2017). Arbuscular-Mycorrhizal (AM) provides essential inorganic nutrients to host plants, thereby improving its growth and yield even under stressed conditions. There are several benefits provided by the Mycorrhizal fungi to the host plant species. Some of them include increased nutrient uptake, induction of growth promoting substances, tolerance to drought stress (Chahal *et al*., 2020). Therefore, this study was carried out to investigate the effect of P chemical fertilizer and mycorrhizal fungi on yield and yield components

Email address of the corresponding author: hgnaseri@pnu.ac.ir

of durum wheat cultivars under rainfed conditions of Ilam region.

Materials and Methods:

This experiment was carried out as factorial based on a randomized complete block design with three replications at Sarableh Agricultural Research station (33° 45′ N latitude, 34° 46′ E longitude, and around 975 m above sea level) during the growing season of 2018-2019. The experiment factors consisted of four cultivars of durum wheat (Dehdasht, Zahab, Saverz and Saji) and five levels of fertilizer source (control, 25 and 50 kg.ha-1 P, mycorrhizal fungi (GM), mycorrhizal fungi + 25 kg.ha-1 P). The studied traits were spike length, spike weight, spikes.m-2, number of spikelet per spike, number of grain per spike, 1000-grain weight, grain yield, biological yield, harvest index, root length, root volume, relative water content and water use efficiency. To analyze the variance of the experimental data and to draw diagrams, SAS version 9.1 and excel software packages were used. All the means were compared according to Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

Results and Discussion:

The results indicated that the simple effect of fertilizer sources was significant on spike length, spike weight, spikes.m-2, number of spikelet per spike, number of grain per spike, 1000-grain weight, grain yield, biological yield and harvest index. As a result, mycorrhizal fungi + 25 kg.ha-1 P had the greatest increasing influence on the investigated traits. The results also showed that Saji and Zahab cultivars showed more resistance to rainfed conditions than other cultivars and produced better grain yield. The interaction effect of cultivars × fertilizer sources revealed that the combined use of P fertilizer and mycorrhizal fungi had better results compared to other treatment. Therefore, the highest grain yield of durum wheat with 4238 kg.ha-1 was obtained from Saji cultivar × mycorrhizal fungi + 25 kg.ha-1 P. Generally, it was concluded that mycorrhizal fungi and P fertilizer increased the yield and yield components due to their roles in promoting root growth and P uptake.

Conclusions:

The use of biofertilizer is an important way to improve the P in soils. The results of this study showed that in rainfed farming, the use of P fertilizer and mycorrhizal fungi can have a positive effect on increasing the grain yield and yield components of durum wheat due to their role in increasing the root system and thus enhanced water absorption and nutrients uptake. The results of this study indicated that the combined use of P fertilizer and mycorrhizal fungi had better results compared to other treatment. So that, the highest of spike weight, number of grain per spike, 1000-grain weight, grain yield, biomass yield, relative water content and water use efficiency were obtained from Saji cultivar × mycorrhizal fungi + 25 kg.ha-1 P. Also, the results showed that inoculation with mycorrhizal fungi through the development of root system (root length and root volume) and increase in water uptake led to the increased grain yield of durum wheat fungi under rainfed conditions.

Keywords: Harvest index, Relative water content, Root length, Root volume, Water use efficiency,

References

Bassi, F., and Sanchez-Garcia, M. 2017. Adaptation and stability analysis of ICARDA durum wheat elites across 18 countries. Crop Science, 57: 2419–2430.

Chahal, K., Gupta, V., Verma, N.K., Chaurasia, A., and Rana, B. 2020. Arbuscular mycorrhizal (AM) fungi as a tool for sustainable agricultural system. Mycorrhizal Fungi - Utilization in Agriculture and Industry, p.1-13.

Yousefian, M., Shahbazi, F., and Hamidian, K. 2021. Crop yield and physicochemical properties of wheat grains as affected by tillage systems. Sustainability, 13: 1-15.