دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی"
دوره پنجم، شماره اول، بهار و تابستان ۹۷
http://arpe.gonbad.ac.ir

اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر خصوصیات ریشه و فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گندم در شرایط دیم

رحیم ناصری[1*]، مهرشاد براری[2]، محمد جواد زارع[3]، کاظم خاوازی[4]، زهرا طهماسبی[5]

[1،2،5]استادیاران گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

[3]دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

[4]استاد موسسه تحقیقات خاک و آب کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۱۲

چکیده

مقدمه: گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی نواحی معتدل است. این گیاه زراعی در جاهایی کشت می‌شود که دمای بالا موجب محدودیت تولید می‌گردد. دمای بالا و وقوع تنش در ارتباط با گرم شدن جهانی بوده و خطری برای کاهش عملکرد گندم محسوب می‌گردد. اعمال تنش سبب تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) در گیاه می‌گردد که به موجب آن ROSها می‌توانند موجب سرعت و اکسیداسیون مخرب اجزای سلولی گردند. بنابراین گیاهان با ایجاد یک سیستم دفاعی پویا مثل کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون و اسیدآسکوربیک سبب جاروب کردن ROSها می‌گردند. از سویی قارچ میکوریزا به‌وسیله القا ریشه‌های توسعه یافته موجب کاهش تنش اکسیداتیو در گیاه می‌گردد. مکانیسم‌های ممکن برای بهبود مقاومت به خشکی در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا شامل افزایش هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه، تنظیم روزنه‌ای، جذب آب در سطوح پایین رطوبت خاک، تنظیم اسمزی و نگه‌داری فشار تورگر حتی در شرایط پتانسیل آب بافتی، افزایش فعالیت فتوسنتزی، تجمع پرولین، کربوهیدرات و افزایش وضعیت تغذیه‌ای می‌باشد. علاوه‌بر این باکتری‌های حل‌کننده فسفات نیز نقش مهمی را در تغذیه فسفری از طریق افزایش قابلیت آن به گیاه به‌واسطه رهاسازی فسفات از فرم غیرآلی به آلی از طریق حل‌کردن و معدنی شدن بر عهده دارد.

*نویسنده مسئول: rahim.naseri@gmail.com

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثر باکتری *سودوموناس* و قارچ میکوریزا بر سیستم ریشه و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گندم دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل رقم گندم در دو سطح (کراس‌سبلان و ساجی) و تیمار منابع کودی در هشت سطح شامل: ۱) تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، ۲) ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، ۳) باکتری *سودوموناس پوتیدا*، ۴) قارچ *گلوموس موسه*، ۵) باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه*، ۶) باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر، ۷) باکتری *سودوموناس پوتیدا* + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر و ۸) قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر بودند.

نتایج: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اثر برهم‌کنش رقم × منابع کودی بر خصوصیات ریشه و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و خصوصیات فیزیولوژیکی تأثیر معنی‌دار داشت؛ به‌طوری‌که رقم ساجی در تیمار قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر موجب افزایش وزن تر ریشه (۵/۲ گرم)، وزن خشک ریشه (۰/۳۰۸ گرم)، محتوای آب ریشه (۴/۶ گرم)، حجم مخصوص ریشه (۰/۰۰۰۵۷ گرم وزن خشک ریشه بر سانتی‌متر مکعب حجم خاک) و تراکم حجم ریشه (۹/۷ گرم وزن تر ریشه بر سانتی‌متر مکعب حجم خاک) گردید. آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز، کاتالاز و قندهای محلول تحت تأثیر اصلی رقم و منابع کودی معنی‌دار گردید. رقم ساجی دارای بیش‌ترین آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز، کاتالاز و قندهای محلول بود. در بین تیمارهای منابع کودی نیز باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر دارای بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز، کاتالاز و قندهای محلول در برگ بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش بیانگر اثر مثبت و معنی‌دار باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر سیستم ریشه و برخی صفات فیزیولوژیک در گندم در شرایط دیم بود. باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا موجب افزایش وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، محتوای آب ریشه، حجم مخصوص ریشه و تراکم حجم ریشه نسبت به تیمار کنترل گردیدند، که این افزایش ریشه موجب بهبود رشد گیاه از طریق افزایش فعالیت خصوصیات فیزیولوژیکی و آنتی‌اکسیدانی شد. با توجه به این‌که کشت گندم دیم با تنش خشکی و گرما مواجه می‌گردد، رقم ساجی و استفاده از قارچ میکوریزا می‌تواند از طریق بهبود سیستم ریشه‌دهی و افزایش سطح آنتی‌اکسیدانتی گیاه بهترین نتیجه را در شرایط دیم از خود نشان دهد.

واژه‌های کلیدی: پراکسید هیدروژن، تراکم حجم ریشه، حجم مخصوص ریشه، کاتالاز

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

مقدمه

گیاهان جهت مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از انواع اکسیژن فعال، دارای فعالیت ضداکسندگی آنزیمی و غیرآنزیمی می‌باشند. ضداکسنده‌های غیر نزیمی شامل آب‌دوست‌ها (شامل گلوتاتیون و اسیدآسکوربیک) و چربی دوست‌ها (شامل توکوفرول و کاروتنوئیدها). ضداکسنده‌های آنزیمی نیز شامل سوپراکسید دیسموتاز می‌باشدکه واکنش تبدیل رادیکال سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن را کاتالیز می‌کند و کاتالاز، آسکوربیک پراکسیداز و پراکسیداز که پراکسید هیدروژن تشکیل شده را به آب احیا می‌کنند (Mittler, 2002).

یکی از مهم‌ترین روابط همزیستی در عالم حیات که در طی دوره تکامل به‌وجود آمده است، مزیستی میکوریزیی می‌باشد که در آن، ریشه گیاه با قارچ به‌صورت یک واحد زنده فعالیت می‌کنند و از یک‌دیگر سود برده و به رشد یک‌دیگر کمک می‌کنند (Ghabouli *et al*., 2011). قارچ میکوریزا در محیط اطراف ریشه گیاه با توسعه توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود جذب آب و عناصر غذایی، تقویت سیستم دفاعی گیاه میزبان را تقویت نموده و موجب کاهش تنش گرمایی می‌گردد (Song, 2005). افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در گندم مایه‌زنی شده با قارچ میکوریزا گزارش شده است (Ali *et al*., 2005; Khalafallah *et al*., 2008). قارچ میکوریزا سبب بهبود جذب عناصر غذایی و هم‌چنین محافظت گیاه میزبان در مقابل تنش‌های زیستی و غیرزیستی از جمله گرما و خشکی می‌شود (Borde *et al*., 2012). زو و همکاران (Zhu *et al*., 2011) افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز را در گیاه ذرت تلقیح شده با قارچ میکوریزا گزارش کردند. آن‌ها پیشنهاد دادند که قارچ میکوریزا تولیدات آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده که نتیجه این افزایش آنتی‌اکسیدانی موجب کم‌کردن گونه‌های اکسیژن فعال و محافظت سلول‌ها در برابر تنش اکسیداتیو می‌گردد.

باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد مانند باکتری‌های جنس *ازتوباکتر*[2]، *آزوسپریلیوم*[3] و *سودوموناس*[4] گروه ویژه‌ای از میکروارگانیسم‌های خاک هستند که با فعالیت در سطح و یا داخل ریشه باعث افزایش رشد و کارآیی جذب آب و مواد غذایی گیاه می‌شوند (Ghorbanpour *et al*., 2014). گزارش‌های متعددی در خصوص تغییرات فیزیولوژیکی ناشی از فعالیت زیستی در ریزوسفر گیاهان گزارش شده است.

[2] *Azotobacter*
[3] *Azospirillum*
[4] *Pseudomonas*

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

چاکرابورتی و همکاران (Chakraborty *et al*., 2013) نشان دادند که سطوح آنتی‌اکسیدانی در گندم در تیمارهای مایه‌زنی شده با باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد زیاد می‌شود. در مطالعات ناصری و همکاران (Naseri *et al*., 2017) و ایسلام و همکاران (Islam *et al*., 2014) نشان داده شد که باکتری *سودوموناس* موجب افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و پرکسیداز و هم‌چنین موجب کاهش پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید گردید. در گزارش‌های نوید و همکاران (Naveed *et al*., 2014) بر گندم نشان داده شد که نشت‌پذیری غشاء در تیمارهای عدم تلقیح با باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد افزایش یافت.

با بررسی نقش باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر خصوصیات رشدی گندم در شرایط دیم می‌توان به نتایجی مفیدی دست یافت. با توجه به این‌که تحقیقاتی در مورد کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر گندم دیم در کشور و استان ایلام گزارش نشده است، آزمایش حاضر با هدف بررسی نقش باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه* بر خصوصیات ریشه و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گندم دیم در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر سیستم ریشه و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گندم در شرایط دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام (با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا برابر با ۱۱۷۴ متر) در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد (جدول ۱).

تیمارهای آزمایشی شامل عامل رقم گندم در دو سطح (کراس‌سبلان و ساجی) و تیمار منابع کودی در هشت سطح شامل: ۱) تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی) (Control)، ۲) ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (50 kg/ha P)، ۳) باکتری *سودوموناس پوتیدا* (*Pseudomonas putida* strain 168 (PSB))، ۴) قارچ *گلوموس موسه* (*Glomus mosseae* (GM))، ۵) باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* (PSB + GM)، ۶) باکتری *سودوموناس پوتیدا* + قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (PSB + GM + 25 kg/ha P)، ۷) باکتری *سودوموناس پوتیدا* + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (PSB + 25 kg/ha P) و ۸) قارچ *گلوموس موسه* + ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی فسفر (GM + 25 kg/ha P).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

جدول ۱- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش و رطوبت در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

Table 1- Monthly mean value of precipitation and relative humidity in Agricultura Reserch Field Staion of Ilam University during 2013-2014 croping seasons

Month	ماه	حداقل دما (درجه سانتی‌گراد) Min. Temp (°C)	حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) Max. Temp (°C)	میزان بارش (میلی‌متر) Precipitation (mm)	حداقل رطوبت (درصد) Min. RH (%)	حداکثر رطوبت (درصد) Max. RH (%)
Oct.	مهرماه	11	27	0	14	41
Nov.	آبان	7.5	25.6	163.5	45	84
Dec.	آذر	2.7	12.7	103.3	45	89
Jan.	دی	-1	10.8	89.9	42	88
Feb.	بهمن	2	11	151.3	43	89
Mar.	اسفند	5	15.8	93.1	43	85
Apr.	فروردین	6.4	19.8	32.4	27	74
May	اردیبهشت	12.8	27.1	27.2	21	59
Jun.	خرداد	16.9	32.4	0	14	39

ابعاد هر کرت ۸ مترمربع، تعداد خطوط ۸ ردیف و طول هر ردیف ۴ متر و فاصله هر تکرار ۱ متر در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایش شامل هشت خط کاشت با فاصله ۲۵ سانتی‌متر و طول ۴ متر در نظر گرفته شد. باکتری *سودوموناس پوتیدا* سویه ۱۶۸ (به‌صورت محلول) و قارچ *گلوموس موسه* (به‌صورت پودر) مورد استفاده در این پژوهش از بخش تحقیقات بیولوژی خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد (جدول ۲). قبل از کشت، جهت تلقیح بذور گندم به‌میزان هفت گرم مایه تلقیح که هر گرم آن دارای 10^7 عدد باکتری *سودوموناس* زنده و فعال و قارچ *گلوموس موسه* که هر گرم آن دارای ۱۵۰ اسپور زنده بود، استفاده گردید.

بذرو پس از ضدعفونی شدن با باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه* به‌مدت چند دقیقه آغشته شد تا مایه تلقیح به کمک صمغ عربی بذر به‌خوبی سطح بذور را (تلقیح به‌صورت بذرمال) پوشش دهد. بذور تیمار شده به‌مدت ده دقیقه روی سطح تمیز، در سایه قرار داده شدند تا خشک شوند. پس از تهیه کردن بستر کاشت، بذور تلقیح شده در شیارهای ایجاد شده قرار داده شدند. مقدار بذر مصرفی برای هر هکتار ۱۲۰ کیلوگرم بود. کودهای نیتروژن و فسفر براساس آزمون خاک (جدول ۳) مورد استفاده قرار گرفتند. کود نیتروژن به‌میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (در هنگام کاشت و شروع ساقه‌دهی) به زمین داده شد. در مورد کود فسفره ۵۰ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 از منبع سوپر فسفات تریپل ۱۰۰ درصد کود توصیه شده در زمان کاشت مصرف گردید.

اندازه‌گیری خصوصیات وابسته به ریشه در داخل مزرعه بعد از مرحله گرده‌افشانی با استفاده از استوانه‌ای فلزی با ابعاد طول ۳۰ سانتی‌متر و عرض دو سانتی‌متر که از قبل به‌صورت دستی طراحی شده بود، صورت گرفت. بعد از برداشت ریشه‌ها از داخل خاک، آن‌ها را در داخل ظرف یک‌بار مصرف گذاشته و پس از انتقال به آزمایشگاه اقدام به شستشوی ریشه‌ها کرده و سپس ریشه‌ها در داخل یخچال نگه‌داری شدند، سپس اقدام به اندازه‌گیری صفات ریشه گردید. وزن تر ریشه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم وزن گردید. پس از اندازه‌گیری صفات مربوط به ریشه، ریشه‌های مورد آزمایش در داخل دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت گذاشته شدند و مجدداً توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم وزن شدند.

طول مخصوص ریشه که محاسبه آن به‌صورت زیر انجام گرفت (Mahanta *et al*., 2014).

$$SRL = \frac{RL}{DRW}$$

SRL = طول مخصوص ریشه، RL = طول ریشه و DRW = وزن خشک ریشه

محاسبه محتوای آب ریشه به‌صورت زیر صورت گرفت (Hasanabadi *et al*., 2010).

$$RWC = \frac{FRW - DRW}{DRW}$$

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

جدول ۲- خصوصیات باکتری *سودوموناس پوتیدا* (سویه ۱۶۸)

Table 2– The characteristics of phosphate solubilizing bacteria (strains 168)

جنس، گونه و سویه Genus, species and strain	تولید سیدروفور Siderophore production	تولید هورمون اکسین IAA production (mg/L)	قابلیت حل‌کنندگی فسفات Phosphate solubilizing ability	تولید ACC دآیناز ACC deaminase
Pseudomonas putida strains 168	0.70	9.8	+	+

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

Table 3- Soil physical and chemical properties of experimental site in Agricultura Reserch Field Staion of Ilam University during 2013-2014 croping seasons

بافت خاک Soil texture	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	منیزیم Mg	فسفر قابل جذب Available P	پتاسیم قابل جذب Available K	نیتروژن کل Total N	کربن آلی Organic carbon	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته خاک pH
	(mg/kg)								(%)	(dS/m)	
لومی-شنی Sandy loam	9.16	1	1	5.04	3.6	7.2	310	0.12	1.28	0.97	7.2

محاسبه محتوای آب ریشه به‌صورت زیر صورت گرفت (Hasanabadi *et al*., 2010).

$$RWC = \frac{FRW - DRW}{DRW}$$

RWC = محتوای آب ریشه، RFW = وزن تر ریشه و DRW = وزن خشک ریشه

حجم مخصوص ریشه از طریق رابطه زیر به‌دست آمد (Hasanabadi *et al*., 2010).

$$SRM = \frac{RDW}{SV}$$

SRM = حجم مخصوص ریشه،DRW = وزن خشک ریشه و SV = حجم خاک

محاسبه تراکم حجم ریشه به‌صورت زیر انجام گرفت (Hajabbasi, 2001).

$$RMD = \frac{FRW}{SV}$$

RMD = تراکم حجم ریشه، FRW = وزن تر ریشه و SV = حجم خاک

محاسبه چگالی ریشه به‌صورت زیر انجام گرفت (Akhavan *et al*., 2012).

$$RD = \frac{RDW}{RV}$$

RD = چگالی ریشه، RDW = وزن خشک ریشه و RV = حجم ریشه

برای اندازه‌گیری صفات آنتی‌اکسیدانی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دو هفته بعد از مرحله گرده‌افشانی از برگ پرچم نمونه‌برداری انجام گرفت. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز به روش چانس و مهلی (Chance and Maehly, 1955) و آنزیم کاتالاز به روش ابی (Aebi, 1984) صورت گرفت. استخراج پراکسید هیدروژن و سنجش آن به روش لرتو و ولیکوا (Loreto and Velikova, 2001) انجام شد. برای اندازه‌گیری قندهای محلول از روش شلیگل (Sheligl, 1986) استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) صورت گرفت.

نتایج و بحث

وزن تر ریشه: در این پژوهش وزن تر ریشه تحت تأثیراثرات ساده و برهم‌کنش رقم × منابع کودی معنی‌دار شد (جدول ۴). بیش‌ترین وزن تر ریشه از رقم ساجی و تحت کاربرد GM + 25 kg/ha P و کم‌ترین وزن تر ریشه از رقم کراس‌سبلان حاصل شد، که نسبت به تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۵۷ درصدی در وزن تر ریشه گردید. در این پژوهش واکنش ارقام مورد استفاده به کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا در شرایط دیم متفاوت بود.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

همان‌طورکه نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد رقم کراس‌سبلان واکنش بهتری به باکتری *سودوموناس پوتیدا* (افزایش ۵۲/۱ درصدی وزن تر ریشه) و رقم ساجی نیز واکنش بهتری به قارچ *گلوموس موسه* (افزایش ۵۰ درصدی وزن تر ریشه) از خود نشان می‌دهند (جدول ۵).

بانرجی و همکاران (Banerjee *et al*., 2006) و ویسی و باس (Vessey and Buss, 2002) افزایش وزن ریشه در غلات را به‌دلیل تلقیح بذر با باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گزارش نمودند. آن‌ها اظهار داشتند که تأثیر مواد تنظیم‌کننده رشد تولید شده به‌وسیله باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد بر رشد ریشه از طریق پارامترهایی بروز می‌کند که مهم‌ترین آن‌ها افزایش وزن و انشعابات ریشه و افزایش تارهای مویین ریشه می‌باشد، که از میان آن‌ها افزایش وزن ریشه عمومی‌تر می‌باشد. مطالعات نشان داده است که قارچ میکوریزا موجب جذب بیش‌تر آب در شرایط تنش خشکی می‌گردد، که دلیل این موضوع را تغییر ساختار ریشه و رشد بهتر ریشه از جمله افزایش تعداد ریشه بیان شد (Khalvati *et al*., 2005).

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رقم و منابع کودی بر صفات ریشه دو رقم گندم دیم

Table 4- Analysis of variance (MS) effect of cultivar and fertilizer sources on root traits in two dryland wheat cultivars

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	وزن تر Fresh weight	وزن خشک Dry weight	طول مخصوص Special lenght	محتوای آب Water content
تکرار Replications	2	0.83^{**}	0.007^{**}	20772.1^{**}	0.83^{**}
رقم Cultivar (C)	1	1.4^{**}	0.017^{**}	2333.2^{*}	1.45^{**}
منابع کودی Fertilizer sources (FS)	7	2.3^{**}	0.014^{**}	13612^{**}	3.36^{**}
رقم × منابع کودی C × FS	7	0.23^{**}	0.001^{*}	610.3^{ns}	0.23^{**}
خطا Error	30	0.04	0.0004	471.6	0.04
ضریب تغییرات CV (%)	-	5.3	9.2	11.2	5.3

ns، * و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش رقم × منابع کودی بر صفات ریشه دو رقم گندم دیم

Table 5- Mean comparison of interaction effect of cultivar × fertilizer sources on root traits in two dryland wheat cultivars

رقم Cultivar	منابع کودی Fertilizer sources	وزن تر (گرم) Fresh weight (g)	وزن خشک (گرم) Dry weight (g)	محتوای آب (گرم) Water content (g)
کراس‌سبلان Keras Sabalan	Control	2.2 (±0.05)^{h}	0.106 (±0.003)^{h}	2.1 (±0.053)^{e}
	50 kg/ha P	3.8 (±0.021)^{f}	0.175 (±0.017)^{f}	3.8 (±0.21)^{cd}
	PSB	4.04 (±0.041)^{def}	0.200 (±0.003)^{ef}	3.9 (±0.042)^{bcd}
	GM	3.8 (±0.046)^{f}	0.176 (±0.003)^{f}	3.7 (±0.047)^{d}
	PSB + GM	4.07 (±0.011)^{de}	0.200 (±0.0089)^{ef}	4.02 (±0.11)^{bc}
	PSB + GM + 25 kg/ha P	4.5 (±0.0.27)^{bc}	0.253 (±0.028)^{bc}	4.4 (±0.27)^{a}
	PSB + 25 kg/ha P	4.6 (±0.0.010)^{b}	0.260 (±0.011)^{b}	4.6 (±0.10)^{a}
	GM + 25 kg/ha P	4.1 (±0.0.11)^{de}	0.223 (±0.0088)^{de}	4.1 (±0.11)^{b}
ساجی Saji	Control	2.6 (±0.05)^{g}	0.134 (±0.007)^{g}	2.2 (±0.051)^{e}
	50 kg/ha P	4.1 (±0.031)^{de}	0.217 (±0.027)^{de}	3.7 (±0.31)^{d}
	PSB	4 (±00.05)^{ef}	0.220 (±0.010)^{de}	3.9 (±0.056)^{cd}
	GM	4.3 (±0.0.11)^{cd}	0.233 (±0.012)^{cd}	3.9 (±0.11)^{bcd}
	PSB + GM	4.4 (±0.021)^{bc}	0.243 (±0.020)^{bcd}	4.02 (±0.21)^{bc}
	PSB + GM + 25 kg/ha P	5.06 (±0.038)^{a}	0.290 (±0.035)^{a}	4.4 (±0.38)^{a}
	PSB + 25 kg/ha P	4.4 (±0.09)^{bc}	0.255 (±0.013)^{bc}	4.1 (±0.088)^{b}
	GM + 25 kg/ha P	5.2 (±0.017)^{a}	0.308 (±0.009)^{a}	4.6 (±0.17)^{a}

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column fallowed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level (LSD Test).

محققین نشان داده‌اند که مکانیسم‌های ممکن در مقاومت به خشکی توسط قارچ میکوریزا از طریق افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه (Robert *et al*., 2008)، افزایش جذب در شرایط سطوح پایین رطوبت خاک و انتقال توسط هیف‌ها (Fagbola *et al*., 2001)، تنظیم اسمزی از طریق نگه‌داری فشار تورگر، افزایش فعالیت فتوسنتزی، تجمع پرولین و کربوهیدرات‌ها، بهبود وضعیت عناصر غذایی، بالا بردن ظرفیت آنتی اکسیدانی، بهبود روابط آبی می‌گردد (Asrar *et al*., 2011). حضور کودهای زیستی می‌تواند باعث بهبود خصوصیات خاک و افزایش دسترسی عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و هم‌چنین عناصر ریز مغذی شود که این اثرات در حضور کودهای شیمیایی تشدید می‌شود (Eydizadeh *et al*., 2010). هم‌چنین این کودها از طریق گسترش ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی موجب افزایش اجزای عملکرد دانه در گندم می‌گردد (Amiri Farsani *et al*., 2013).

وزن خشک ریشه: در نتایج حاصل از بررسی نشان داده شد که اثرات ساده و هم‌چنین اثر برهم‌کنش رقم × منابع کودی از نظر وزن خشک ریشه تفاوت معنی‌داری دارند (جدول ۴). بیش‌ترین وزن خشک ریشه از رقم ساجی و تحت کاربرد GM + 25 kg/ha P و کم‌ترین وزن خشک ریشه از رقم کراس‌سبلان حاصل شد، که نسبت به تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۶۵/۵ درصدی در وزن خشک ریشه گردید (جدول ۵). در این پژوهش واکنش ارقام مورد استفاده به کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا در شرایط دیم متفاوت بود. همان‌طورکه نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد رقم کراس‌سبلان واکنش بهتری به باکتری *سودوموناس پوتیدا* (افزایش ۵۹/۲ درصدی وزن خشک ریشه) و رقم ساجی نیز واکنش بهتری به قارچ *گلوموس موسه* (افزایش ۵۶/۴ وزن خشک ریشه) از خود نشان می‌دهند (جدول ۵).

خلوتی و همکاران (Khalvati *et al*., 2005) گزارش کردند که میزان وزن خشک ریشه گندم کلونیزه شده با میکوریزا در مقایسه با تیمار کنترل بیش‌تر بود. مطالعات هم‌چنین نشان داد که تغییرات فتوهورمونی به‌دلیل استفاده از باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد سبب افزایش طول ریشه، سطح ریشه (Shaharoona *et al*., 2008) و وزن خشک ریشه (Shaharoona *et al*., 2006) خواهد شد. عبدالعزیز و همکاران (Abdelaziz *et al*., 2007) و ال‌قادبن و همکاران (EL-Ghadban *et al*., 2002) افزایش عناصر پرمصرف را ناشی از افزایش سطح جذبی ریشه به ازای هر واحد از حجم خاک، افزایش جذب آب و فعالیت فتوسنتزی بیان کردند که مستقیماً روی فرآیندهای فیزیولوژیکی و مصرف کربوهیدرات‌ها مؤثر است.

طول مخصوص ریشه: صفت طول مخصوص ریشه براساس جدول تجزیه واریانس تحت تأثیر اثرات اصلی رقم و منابع کودی معنی‌دار گردید (جدول ۴). در این پژوهش رقم ساجی دارای بیش‌ترین طول مخصوص ریشه بود (جدول ۶). تیمارهای PSB + GM + 25 kg/ha P و شاهد (عدم مصرف هیچ

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

منبع کودی) به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین طول مخصوص ریشه را دارا بودند (جدول ۶). گیاه هنگام مواجه با تنش خشکی برای این‌که توانایی جذب ریشه‌ها را افزایش دهد، ماده خشک بیش‌تری را به سیستم ریشه‌ای، در نتیجه تغییراتی در خصوصیات مرفولوژیکی ریشه‌ها مانند طول مخصوص ریشه اختصاص می‌دهد (Shaban *et al*., 2012). تلقیح گیاه بادرشبو با میکروارگانیسم‌ها باعث افزایش جذب پتاسیم و افزایش غلظت این عنصر در گیاه شد که شاید این مسأله به اثرات مفیدی که این میکروارگانیسم‌ها (*سودوموناس* و میکوریزا) در افزایش فتوسنتز، رشد گیاه، افزایش تراکم، طول ریشه‌های موئین و سطح جذبی ریشه گیاه دارند، مرتبط باشد (Rahim Zadeh *et al*., 2013).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر ساده رقم و منابع کودی بر طول مخصوص ریشه و چگالی ریشه دو رقم گندم دیم
Table 6- Mean comparison of simple effects of cultivar and fertilizer sources on root special length and root density in two dryland wheat cultivars

تیمارها Treatments	طول مخصوص Special density (cm root/g root DW)	چگالی Density (g root DW/cm^3 root volume)
رقم Cultivar		
Keras Sabalan	185.9 (±11.2)^b	0.064 (±0.00081)^b
Saji	199.8 (±12.4)^a	0.067 (±0.0010)^a
منابع کودی Fertilizer sources		
Control	138.4 (±12.2)^c	0.058 (±0.0011)^a
50 kg/ha P	151.3 (±12.3)^b	0.064 (±0.0011)^b
PSB	164.7 (±17.6)^b	0.066 (±0.0013)^b
GM	164.3 (±14.6)^b	0.063 (±0.0017)^b
PSB + GM	165.7 (±9.1)^b	0.067 (±0.0019)^b
PSB + GM + 25 kg/ha P	285.8 (±20.4)^a	0.067 (±0.0034)^a
PSB + 25 kg/ha P	251.9 (±20.48)^a	0.067 (±0.0025)^a
GM + 25 kg/ha P	237.5 (±18.06)^a	0.067 (±0.0015)^a

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column fallowed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level (LSD Test)

محتوای آب ریشه: بر اساس جدول تجزیه واریانس صفت محتوای آب ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده و برهم‌کنش رقم × منابع کودی قرار گرفتند (جدول ۴). بیش‌ترین محتوای آب ریشه از رقم ساجی و تحت کاربرد GM+25 kg/ha P و کم‌ترین محتوای آب ریشه از رقم کراس‌سبلان

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

حاصل شد، که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) به‌ترتیب موجب افزایش ۵۴/۳ درصدی در محتوای آب ریشه گردید (جدول ۵). در این پژوهش واکنش رقم‌های دیم مورد استفاده در واکنش به استفاده از باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریزا تفاوت داشتند، به‌طوری‌که رقم کراس‌سبلان نسبت به باکتری *سودوموناس پوتیدا* (افزایش ۵۴/۳ درصدی محتوای آب ریشه) و رقم ساجی نیز نسبت به قارچ *گلوموس موسه* (افزایش ۵۰ درصدی محتوای آب ریشه) از خود واکنش بهتری نشان دادند.

حجم مخصوص ریشه: حجم مخصوص ریشه تحت تأثیر اثرات ساده و برهم‌کنش رقم × منابع کودی معنی‌دار گردید (جدول ۷). بیش‌ترین حجم مخصوص ریشه از رقم ساجی و تحت کاربرد GM + 25 kg/ha P و کم‌ترین حجم مخصوص ریشه از رقم کراس‌سبلان حاصل شد، که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۶۶/۶ درصدی در حجم مخصوص ریشه گردید (جدول ۸). در این پژوهش رقم دیم کراس‌سبلان واکنش بهتری به باکتری *سودوموناس پوتیدا* (افزایش ۶۰/۴ درصدی حجم مخصوص ریشه) و رقم دیم ساجی نیز واکنش مناسب‌تری به قارچ *گلوموس موسه* (افزایش ۵۷/۸ درصدی حجم مخصوص ریشه) از خود نشان دادند.

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رقم و منابع کودی بر ریشه دو رقم گندم دیم

Table 7- Analysis of variance (MS) effect of cultivar and fertilizer sources on root traits in two dryland wheat cultivars

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	حجم مخصوص Special density	تراکم حجم Mass density	چگالی Density
تکرار Replications	2	2.49**	0.0000029**	0.00016**
رقم Cultivar (C)	1	5.9**	0.0000051**	0.00011*
منابع کودی Fertilizer sources (FS)	7	4.9**	0.000011**	0.00020*
رقم × منابع کودی C × FS	7	3.5**	0.00000081*	0.00001^{ns}
خطا Error	30	1.4	0.00000016	0.000018
ضریب تغییرات CV (%)	-	9.2	5.2	6.5

ns، * و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش رقم × منابع کودی بر صفات ریشه دو رقم گندم دیم

Table 8- Mean comparison of interaction effect of cultivar × fertilizer sources on root traits in two dryland wheat cultivars

رقم Cultivar	منابع کودی Fertilizer siurces	حجم مخصوص Special density (g root dry weight/cm^3 soil)	تراکم حجم ریشه Mass density (g root fresh weight/cm^3 soil)
کراس‌سبلان Keras Sabalan	Control	0.00019 (±0.00001)^{i}	4.1 (±0.0001)^{f}
	50 kg/ha P	0.00032 (±0.00003)^{g}	7.2 (±0.0004)^{d}
	PSB	0.00037 (±0.00002)^{f}	7.4 (±0.00008)^{cd}
	GM	0.00032 (±0.0001)^{g}	7.1 (±0.00009)^{d}
	PSB + GM	0.00037 (±0.00002)^{f}	7.5 (±0.00002)^{cd}
	PSB + GM + 25 kg/ha P	0.00046 (±0.00005)^{c}	8.3 (±0.00051)^{bcd}
	PSB + 25 kg/ha P	0.00048 (±0.00002)^{b}	8.6 (±0.00019)^{abc}
	GM + 25 kg/ha P	0.00041 (±0.00002)^{d}	7.7 (±0.00021)^{cd}
ساجی Saji	Control	0.00021 (±0.00001)^{h}	4.8 (±0.0001)^{e}
	50 kg/ha P	0.0004 (±0.00005)^{e}	7.6 (±0.00059)^{cd}
	PSB	0.0004 (±0.00002)^{e}	7.4 (±0.0001)^{cd}
	GM	0.00043 (±0.00002)^{d}	8 (±0.00021)^{bcd}
	PSB + GM	0.00045 (±0.00004)^{c}	8.1 (±0.00039)^{bcd}
	PSB + GM + 25 kg/ha P	0.00053 (±0.00007)^{a}	9.3 (±0.00071)^{ab}
	PSB + 25 kg/ha P	0.00047 (±0.00002)^{b}	8.2 (±0.00017)^{bcd}
	GM + 25 kg/ha P	0.00057 (±0.00002)^{a}	9.7 (±0.00033)^{a}

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column fallowed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level (LSD Test).

قارچ میکوریزا افزایش جذب عناصر غذایی را از راه افزایش انشعابات ریشه گیاه و ریسه قارچ در یک محدوده معین از خاک ممکن می‌سازد و از این طریق موجب تغییراتی در روابط آبی گیاه و بهبود مقاومت به کم آبی و یا تحمل در گیاه میزبان می‌شود. از جمله این تغییرات، افزایش هدایت هیدرولیکی آب در درون گیاهان میکوریزایی است که می‌تواند به دلایل زیر باشد: افزایش مجموع سطح ریشه به‌دلیل ایجاد پوشش وسیع میسلیومی در منطقه ریشه و تارهای کشنده، نفوذ هیف به درون کورتکس ریشه و از آن‌جا به منطقه آندودرم یک مسیر کم مقاومتی را در عرض ریشه برای حرکت آب فراهم آورده و آب با مقاومت کم‌تری در عرض ریشه تا رسیدن به آوند چوبی رو به‌رو می‌شود، هیف از راه افزایش جذب عناصر غذایی مقاومت به انتقال آب را در ریشه کاهش می‌دهد و ذخیره آب در هیف و انتقال آن به گیاه در زمان تنش خشکی زیاد می‌کنند (Shahhosseini *et al*., 2012).

تراکم حجم ریشه: این صفت تحت تأثیر اثرات ساده و برهم‌کنش رقم × منابع کودی معنی‌داری گردید (جدول ۷). بیش‌ترین تراکم حجم ریشه از رقم ساجی و تحت کاربرد GM + 25 kg/ha P و کم‌ترین تراکم حجم ریشه از رقم کراس‌سبلان حاصل شد، که نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۵۷ درصدی در تراکم حجم ریشه گردید (جدول ۸). همان‌گونه که نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد رقم کراس‌سبلان واکنش بهتری به باکتری *سودوموناس پوتیدا* (افزایش ۵۲/۳ درصدی تراکم حجم ریشه) و رقم ساجی نیز واکنش بهتری به قارچ *گلوموس موسه* (افزایش ۵۰/۵ درصدی تراکم حجم ریشه) از خود نشان دادند. مانسک و همکاران (Manske *et al*., 1995). بذرهای ارقام مختلف گندم را با قارچ میکوریزا تلقیح نمودند، نتایج نشان داد که قارچ میکوریزا با تولید انواع هورمون‌های گیاهی، رشد طولی و تراکم رشد ریشه‌های گندم را افزایش داده و میزان آلودگی ریشه‌های گندم را به قارچ میکوریزا در همه رقم‌ها به‌طور قابل مشاهده‌ای افزایش داد

چگالی ریشه: براساس جدول تجزیه واریانس، اثرات اصلی رقم و منابع کودی بر چگالی ریشه گندم تأثیر معنی‌داری داشتند (جدول ۷). در این پژوهش رقم ساجی دارای بیش‌ترین چگالی ریشه بود (جدول ۶). همان‌طوری‌که جدول مقایسات ساده نشان می‌دهد، تیمار PSB+GM+25 kg/ha P و تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی) به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین چگالی ریشه را دار بودند (جدول ۶).

نتایج تحقیقات بر گیاهان میکوریزایی و غیرمیکوریزایی نشان داده است که هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌های گیاهان میکوریزی بیش‌تر از گیاهان غیرمیکوریزایی است، که این امر در اثر افزایش سطح ریشه و یا طول ریشه‌های میکوریزایی می‌باشد (Sajedi and Rejali, 2011). سونگ (Song, 2005) گزارش نمود در اثرتلقیح قارچ میکوریزا، ریزوسفر خاک بهبود یافته و در اثر توسعه سیستم

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

ریشه‌ای و بهبود جذب آب و عناصر غذایی، سیستم دفاعی گیاه میزبان تقویت شده و خطرات اکسیداسیون کاهش می‌یابد. این نتیجه نشان‌دهنده آن است که در شرایط خشکی و گرما، گیاه برای تأمین رطوبت مورد نیاز خود و جذب آب از مناطق دورتر از ریشه، طول ریشه خود را افزایش می‌دهد. استنباط می‌شود قارچ *گلوموس موسه* به گیاه گندم کمک کرده و با گسترش طول ریشه و افزایش سطح جذب ریشه، موجبات جذب آب و عناصر غذایی بیش‌تر برای گیاه را در شرایط دیم فراهم می‌آورند.

گلوتاتیون پراکسیداز: در این پژوهش نشان داده شد که گلوتاتیون پراکسیداز تحت تأثیر عوامل اصلی رقم و منابع کودی معنی‌دار گردید (جدول ۹). در این پژوهش رقم ساجی دارای بیش‌ترین فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز بود. در تیمار منابع کودی بیش‌ترین فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز در تیمار PSB + GM + 25 kg/ha P و کم‌ترین فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز در تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی) مشاهده گردید، به‌طوری‌که نسبت به تیمار کنترل موجب افزایش ۶۳ درصدی میزان فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز گردید (جدول ۱۰). قارچ میکوریزا در شرایط تنش خشکی، ریزوسفر خاک را بهبود بخشیده و در اثر توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود جذب آب و عناصر غذایی، سیستم دفاعی گیاه میزبان را تقویت و خطرات اکسیداسیون را کاهش می‌دهد (Song, 2005).

جدول ۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رقم و منابع کودی بر صفات فیزیولوژیکی دو رقم گندم دیم

Table 9- Analysis of variance (MS) effect of cultivar and fertilizer sources on physiological traits in two dryland wheat cultivars

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	گلوتاتیون پراکسیداز Glutathione peroxidases	کاتالاز Catalases
تکرار Replications	2	0.098	1.4
رقم Cultivar (C)	1	0.23^{**}	24.2^{**}
منابع کودی Fertilizer sources (FS)	7	0.76^{**}	27.02^{**}
رقم × منابع کودی C × FS	7	0.029^{ns}	2.3^{ns}
خطا Error	30	0.023	3.2
ضریب تغییرات CV (%)	-	17.9	3.08

ns، * و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

کاتالاز: در این پژوهش مشاهده گردید که فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر عوامل اصلی رقم و منابع کودی معنی‌دار شد (جدول ۹). در این پژوهش رقم ساجی دارای بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز بود. در تیمار منابع کودی نیز بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار PSB + GM + 25 kg/ha P و کم‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی) مشاهده گردید؛ به‌گونه‌ای نسبت به تیمار کنترل موجب افزایش ۶۲/۵ درصدی در فعالیت آنزیم کاتالاز شد (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر ساده رقم و منابع کودی بر صفات فیزیولوژیکی دو رقم گندم دیم

Table 10- Mean comparison of simple effects of cultivar and fertilizer sources on physiological triats in two dryland wheat cultivars

تیمارها Tretments	گلوتاتیون پراکسیداز Glutathione peroxidases (mg protein/min)	آنزیم کاتالاز Catalases (mg protein/min)
رقم Cultivar		
کراس‌سبلان	0.78 (±0.068)^{b}	7.1 (±0.47)^{b}
ساجی	0.92 (±0.083)^{a}	8.5 (±0.57)^{a}
منابع کودی Fertilizer siurces		
Control	0.46 (±0.039)^{d}	4.2 (±0.33)^{d}
50 kg/ha P	0.55 (±0.025)^{cd}	6.2 (±0.49)^{d}
PSB	0.65 (±0.02)^{c}	7.5 (±0.29)^{c}
GM	0.68 (±0.052)^{c}	7.6 (±0.67)^{c}
PSB+GM	0.7 (±0.021)^{c}	7.5 (±0.45)^{c}
PSB+GM+25 kg/ha P	1.4 (±0.099)^{a}	11.1 (±0.87)^{a}
PSB+25 kg/ha P	1.09 (±0.086)^{b}	9.8 (±0.44)^{ab}
GM+25 kg/ha P	1.2 (±0.14)^{b}	8.6 (±1.6)^{b}

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column fallowed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level (LSD Test).

عدم افزایش کافی در میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در رقم کراس‌سبلان منجر به کاهش توانائ گیاه جهت تحمل صدمات ناشی از شرایط دیم گردید؛ لذا رقم ساجی با افزایش بیش‌تر سطح برگ در شرایط دیم بهره برده تا با تجمع کلروفیل در سطح برگ و حفظ مقادیر بالاتر محتوای آب نسبی به نحوی امکان استفاده بیش‌تر از انرژی نورانی را برای خود فراهم نموده و از توقف فرآیند

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

فتوسنتز در شرایط دیم جلوگیری به‌عمل آورد. اکسیژن‌های فعال باعث تخریب ماکرومولکول‌ها و پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء می‌شوند (Sharma and Dubey, 2005). نتایج تحقیقات نشان داد که افزایش سرعت فعالیت آنزیم کاتالاز به‌دلیل کاهش اثرات پراکسیداسیون در هنگام تنش‌های مختلف در گیاهان زراعی گندم، جو، سویا و نخود در مقاومت گیاه به تنش نقش مهمی ایفا می‌کند (Esfandiari *et al*., 2007). این آنزیم با زدودن انواع گونه‌های اکسیژن فعال و جلوگیری از تخریب غشاء سلولی به بقای گیاه کمک می‌کند (Jiang and Zhang, 2001).

در گزارشات چاکرابورتی و همکاران (Chakraborty *et al*., 2013) نشان داده شد که میزان فعالت آنتی‌اکسیدانت‌ها در حضور باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد زیاد گردید. احتمالاً با ادامه رشد گیاه و ادامه شرایط تنش خشکی ژنوتیپ محلی نتوانسته است خسارات ناشی از آن را در حد بالا تحمل کند و به‌خاطر ورود به مرحله مرگ سلولی و افت شدید فعالیت آنزیم‌های حیاتی، سرعت فعالیت کاتالاز کاهش یافته است (Navabpour *et al*., 2004). کاتالاز از سلول‌ها در برابر پراکسید هیدروژن تولید شده توسط خود آن‌ها محافظت می‌کند. یافته‌های بیوشیمیایی نشان می‌دهند که کاتالاز در دو اندامک پراکسی‌زوم و گلی اکسی‌زوم مستقر می‌باشد (Althabegoiti *et al*., 2008). نشان داده شده است که باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد از طریق تولید فاکتورهای آنتی‌اکسیدانی یا تعدیل‌کردن فتوسنتز، خسارت گونه‌های اکسیژن فعال را کاهش و می‌توانند گیاه را در برابر حضور این گونه‌های اکسیژن فعال حمایت و از آسیب آن به گیاه جلوگیری نمایند (Young *et al*., 2013). افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاهان (گندم و سویا) تلقیح شده با قارچ میکوریزا در سایر گزارش‌ها نیز عنوان شده است (Khalafallah and Abo-Ghalia, 2008; Porcel and Ruiz-Lozano, 2004).

پراکسید هیدروژن: مطابق نتایج، اثر رقم، منابع کودی و اثر متقابل این دو بر پراکسید هیدروژن معنی‌دار گردید (جدول ۱۱). بیش‌ترین پراکسید هیدروژن از رقم کراس‌سبلان در تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی) و کم‌ترین آن از رقم ساجی و تحت کاربرد GM + 25 kg/ha P حاصل شد، که نسبت به تیمار GM + 25 kg/ha P موجب افزایش ۸۸/۷ درصدی در میزان پراکسید هیدروژن گردید (جدول ۱۲).

همان‌طورکه نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد رقم کراس‌سبلان واکنش بهتری به باکتری سودوموناس پوتیدا و رقم ساجی نیز واکنش بهتری به قارچ گلوموس موسه از خود نشان دادند و در حضور باکتری و قارچ از میزان پراکسید هیدروژن کاسته شد و موجب افزایش مقاومت گیاه به شرایط تنش‌های محیطی از جمله خشکی و گرما شدند. افت فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در رقم کراس‌سبلان احتمالاً به‌دلیل عدم تعادل بین فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌ها؛ سبب عملکرد ضعیف آن شده

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

است. بدین ترتیب با تجمع پراکسید هیدروژن، نقاط کلیدی متابولیسم و مکانیسم‌های دفاعی سلول مورد حمله قرار گرفته و این عوامل سبب می‌شود تا این رقم نسبت به رقم ساجی به شرایط دیم حساس‌تر باشد. واکنش ارقام ساجی و کراس‌سبلان متفاوت بود، به‌طوری‌که در رقم کراس‌سبلان با گذشت زمان و افزایش سن گیاه فعالیت این آنزیم‌ها کاهش یافت.

جدول ۱۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رقم و منابع کودی بر صفات فیزیولوژیکی دو رقم گندم دیم

Table 11- Analysis of variance (MS) effect of cultivar and fertilizer sources on physiological traits in two dryland wheat cultivars

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	پراکسید هیدروژن Hydrogen peroxide	قندهای محلول برگ Soluble sugers
تکرار Replications	2	0.044	2.6
رقم Cultivar (C)	1	1.7^{**}	4.06^{**}
منابع کودی Fertilizer sources (FS)	7	12.09^{**}	9.8^{**}
رقم × منابع کودی C × FS	7	0.38^{**}	0.29^{ns}
خطا Error	30	0.00095	0.26
ضریب تغییرات CV (%)	-	4.8	17.8

ns، * و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

احتمالاً با ادامه رشد گیاه و ادامه شرایط خشکی و گرما در شرایط دیم رقم کراس‌سبلان نتوانسته است خسارات ناشی از آن را در حد بالا تحمل کند و به‌خاطر ورود به مرحله مرگ سلولی و افت شدید فعالیت آنزیم‌های حیاتی، سرعت فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌ها کاهش یافته است. تنش‌های اکسیداتیو مسئول تولید گونه‌های اکسیژن فعال در گیاهان شناخته شده‌اند. گونه‌های اکسیژن فعال می‌توانند موجب از بین بردن بیومولکول‌ها مثل لیپید غشا، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئوئیک گردند. با افزایش گونه‌های اکسیژن فعال در داخل گیاه مرگ سلول رخ می‌دهد (Rasool *et al*., 2013; Ahmad *et al*., 2013). زو و همکاران (Zhu *et al*., 2011) در گزارش‌های خود نشان داد که در شرایط خشکی

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

نشت‌پذیری غشاء افزایش می‌یابد. آن‌ها در آزمایش خود نشان دادند نشت‌پذیری غشاء در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا به‌دلیل کم کردن تنش اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی کم‌تر بود.

جدول ۱۲- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش رقم × منابع کودی بر پراکسید هیدروژن دو رقم گندم دیم

Table 12- Mean comparison of interaction effect of cultivar × fertilizer sources on hydrogen peroxide in two dryland wheat cultivars

رقم Cultivar	منابع کودی Fertilizer siurces	پراکسید هیدروژن Hydrogen peroxide (mMol/g leaf fresh weigh)
کراس‌سبلان Keras Sabalan	Control	5.8 (±0.20)[a]
	50 kg/ha P	2.5 (±0.066)[c]
	PSB	2.2 (±0.066)[de]
	GM	2.3 (±0.066)[d]
	PSB + GM	2.1 (±0.066)[e]
	PSB + GM + 25 kg/ha P	0.87 (±0.07)[h]
	PSB + 25 kg/ha P	0.89 (±0.12)[h]
	GM + 25 kg/ha P	0.89 (±0.04)[h]
ساجی Saji	Control	4.2 (±0.088)[b]
	50 kg/ha P	2.3 (±0.11)[de]
	PSB	2.1 (±0.14)[def]
	GM	2.06 (±0.13)[f]
	PSB + GM	1.9 (±0.066)[g]
	PSB + GM + 25 kg/ha P	0.66 (±0.088)[i]
	PSB + 25 kg/ha P	0.69 (±0.086)[i]
	GM + 25 kg/ha P	0.65 (±0.073)[i]

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column fallowed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level (LSD Test).

قندهای محلول برگ: در این پژوهش مشاهده گردید که قندهای محلول برگ تحت تأثیر عوامل اصلی رقم و منابع کودی معنی‌دار شد (جدول ۱۱). در این پژوهش رقم ساجی دارای بیش‌ترین میزان قندهای محلول بود. در تیمار منابع کودی نیز بیش‌ترین میزان قندهای محلول در تیمار PSB+GM+25 kg/ha P و کم‌ترین میزان قندهای محلول در تیمار کنترل (عدم مصرف هیچ منبع کودی)مشاهده گردید؛ به‌طوری‌که تیمار PSB+GM+25 kg/ha P موجب افزایش ۷۱/۴ درصدی شد (جدول ۱۳). بالا بودن غلظت قندهای محلول در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا در شرایط تنش، حکایت از نقش مطلوب قارچ میکوریزا در بالا بردن مقاومت خشکی در گیاه میزبان دارد

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

(Subramanian and Charest, 1995). با توجه به پایین بودن میزان بارندگی‌ها (جدول ۲) در منطقه ایلام که بعد از اسفندماه گندم دیم معمولاً نیاز مبرمی به آب دارد، و از آن‌جائی‌که میزان بارندگی معمولاً به آن حدی نیست که نیاز گندم را به آب برطرف نماید، بنابراین استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا از طریق افزایش صفات فیزیولوژیکی از جمله قندهای محلول برگ موجب کاهش اثرات کم‌آبی در شرایط دیم و افزایش رشد گیاه می‌گردد. پورسل و ریزولوزانو (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004) نیز افزایش قندهای محلول را در گیاه سویا تلقیح شده با قارچ میکوریزا گزارش کردند.

جدول ۱۳- مقایسه میانگین اثر ساده رقم و منابع کودی بر قندهای محلول دو رقم گندم دیم

Table 13- Mean comparison of simple effect of cultivar and fertilizer sources on soluble sugers in two dryland wheat cultivars

تیمارها Tretments	قندهای محلول soluble sugers (mg/gleaf dry weight)
رقم Cultivar	
کراس‌سبلان	2.5 (±0.21)[b]
ساجی	3.1 (±0.27)[a]
منابع کودی Fertilizer siurces	
Control	1.2 (±0.21)[d]
50 kg/ha P	1.8 (±0.19)[c]
PSB	2.05 (±0.095)[b]
GM	2.2 (±0.25)[b]
PSB+GM	2.3 (±0.16)[b]
PSB+GM+25 kg/ha P	4.5 (±0.42)[a]
PSB+25 kg/ha P	4.2 (±0.33)[a]
GM+25 kg/ha P	4.3 (±0.41)[a]

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column fallowed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level (LSD Test).

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه در تولید گندم به‌صورت دیم کمبود آب مهم‌ترین عامل محدودکننده به‌شمار می‌رود. اطلاعات زیادی در خصوص اثرات باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه* بر

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

ویژگی‌های فیزیولوژیکی رقم‌های مختلف گندم دیم موجود در ایران و به‌ویژه ایلام وجود ندارد، لذا اجرای این پژوهش توانست اطلاعات جدیدی را در این خصوص ارایه دهد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اثر برهم‌کنش رقم × منابع کودی بر خصوصیات فیزیولوژیکی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان معنی‌دار بود. واکنش ارقام مورد استفاده شده در مایه‌زنی با باکتری *سودوموناس پوتیدا* و *گلوموس موسه* در این پژوهش معنی‌دار و میزان فعالیت برخی آنزیم‌های اکسیدانت را افزایش داد. باکتری *سودوموناس پوتیدا* و قارچ *گلوموس موسه* در گندم هم‌چنین موجب افزایش خصوصیات ریشه گردید. بنابراین نتایج به‌دست آمده نشان داد که ارقام دیم کشت شده نسبت به تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا واکنش مثبت و معنی‌داری از خود نشان می‌دهند. در این پژوهش رقم گندم ساجی به‌همراه تیمار GM+25 kg/ha P به‌دلیل بیشتر بودن وزن تر و خشک ریشه، محتوای آب ریشه، حجم مخصوص ریشه و تراکم حجم ریشه و بالا بودن میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی (گلوتاتیون پراکسیداز و کاتالاز) و افزایش صفات فیزیولوژیکی (قندهای محلول برگ) در شرایط کشت دیم مثبت ارزیابی گردید.

منابع

Abdelaziz M., Pokluda R., Abdelwahab M. 2007. Influence of compost, microorganisms and NPK fertilizer upon growth, chemical composition and essential oil production of *Rosmarinus officinalis* L. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici cluy- Napoca, 35: 86-90.

Aebi H. 1984. Catalase in vitro. Methods in enzymology, 105: 121-126.

Ahmad P., Ashraf M., Azooz M.M., Rasool S., Akram N.A. 2013. Potassium starvation-induced oxidative stress and antioxidant defense responses in *Brassica juncea*. Journal of Plant Interactions, 9: 1-9.

Akhavan S., Shabanpour M., Esfahani M. 2012. Soil compaction and texture effects on the growth of roots and shoots of wheat. Journal of Water and Soil, 26 (1): 725-735. (In Persian).

Ali M.B., Hahn E., Paek K. 2005. Effects of temperature on oxidative stress defense systems, lipid peroxidation and lipoxygenase activity in Phalaenopsis. Plant Physiology and Biochemistry, 43: 213-223.

Althabegoiti M.J., López-García S.L., Pérez-Jiménez J., Lodeiro A.R. 2008. Strain selection for improvement of *Bradyrhizobium japonicum* competitiveness for nodulation of soybean. FEMS Microbiology Letters, 282: 115-123.

Amiri Farsani F., Chorom M., Enayatizamir N. 2013. Effect of biofertilizerand chemical fertilizer on wheat yield under two soil types in expermental greenhouse. Soil and Water, 27 (2): 441-451. (In Persian).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

Asrar A.W.A., Elhindi K.M. 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. Saudi Journal of Biological Sciences, 18: 93-98.

Banerjee M., Yesmin R.L., and Vessey J.L. 2006. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. In: Handbook of microbial biofertilizers. Eds., Rai, M., K., Food Production Press, U.S.A. Pp: 137-181.

Borde M., Dudhane M., Jite P. 2012. Growth, water use efficiency and antioxidant defense responses of mycorrhizal and non mycorrhizal *Allium sativum* L. under drought stress condition. Annals of Plant Science, 1: 6-11.

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

Chance B., Maehly A.C. 1955. Assays of Catalases and Peroxidases. In: Methods in Enzymology. (Colowick S.P., Kaplan N.O., eds.). Academic Press, New York, II, Pp: 764-775.

EL-Ghadban E.A., Ghallab A.M., Abdelwahab A.F. 2002. Effect of organic fertilizer (Biogreen) and biofertilization on growth, yield and chemical composition of Marjoram plants growth under newly eclaimed soil conditions. 2nd Congress of Recent Technologies in Agriculture, 2: 334-361.

Esfandiari E., Shakiba M.R., Mahboob S.A., Alyari H., Toorchi M. 2007. Water stress, antioxidant enzyme activity and lipid peroxidation in wheat seedling. Journal of Food, Agriculture and Environment, 5: 149-153.

Eydizadeh K., Mahdavi Damghani A., Sabahi H., Soufizadeh S. 2010. Effect of integrated application of biofertilizer and chemical fertilizer on growth of maize (*Zea mays* L.) in Shushtar. Journal of Agroecology, 2 (2): 292-301. (In Persian).

Fagbola O., Osonubi O., Mulongox K., Odunfa S.A. 2001. Effects of drought stress and arbuscular mycorrhiza on the growth of Gliricdia sepium (Jacq), Walp, Leucaenal leucocephala (Lam). De wit. In simulated eroded soil conditions. Mycorrhiza, 11: 215-223.

Ghabouli M., Shahriary F., Sepehrin M., Marashi H., Hosseini Salekdeh G. 2011. An evaluation of the impact of the endophyte fungus *Piriformospora indica* on some traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) in drought stress. Journal of Agroecology, 3 (3): 328-336. (In Persian).

Ghorbanpour M., Hosseini N., Kodae Motlagh M., Solgi M. 2014. The effect of inoculation with pseudomonas rhizobacteria on growth, quality of essential oils in sage (*Alvia officinalis* L.). Journal of Medical Plants, 4 (52): 89-100. (In Persian).

Hajabbasi M.A. 2001. Tillage Effects on soil compactness and wheat root morphology. Journal of Agricultural Science and Technology, 3*:* 67-77.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

Hasanabadi T., Ardakani M.R., Rejali F., Paknejad F., Eftekhari S.A., Zargari K. 2010. Response of barley root characters to co-inoculation with *Azospirillum lipoferum* and *Pseudomonas flouresence* under different levels of nitrogen. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science, 9 (2): 156-162.

Islam F., Yasmeen T., Ali Q., Ali S., Arif MS., Hussain S., Rizvi H. 2014. Influence of Pseudomonas aeruginosa as PGPR on oxidative stress tolerance in wheat under Zn stress. Ecotoxicology and Environmental Safety, 104: 285-93.

Jiang M., Zhang, J. 2001. Effect of abscisic acid on active oxygen species, antioxidative offence system and oxidative damage in leaves of maize seedlings. Plant Cell Physiology, 42: 1265-1273.

Khalafallah A.A., Abo-Ghalia H.H. 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. Journal of Applied Sciences Research, 4: 559-569.

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

Loreto F., Velikova V. 2001. Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. Plant Physiology, 127 (4): 1781-1787.

Mahanta D., Rai R.K., Mishra S.D., Raja A., Purakayastha T.J., Varghese E. 2014. Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. Field Crops Research, 166: 1-9.

Manske G.G.B., Luttger A.B., Behl R.K., Vlek P.L.G. 1995. Nutrient efficiency based on VA mycorrhiza (VAM) and total root length of wheat cultivars grown in India. Journal of Applied Botany, 69:108-110.

Mittler R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science, 7: 405-410.

Navabpour S., Morris K., Allen R., Harrison E., Mackerness A.H., Buchanan S., Wollaston V. 20004. Molecular and biochemical analyses of oxidative stress and leaf senescence. Imperial College of Science, Technology and Medicine at Wye University of London, Pp: 55-56.

Naseri R., Barary M., Zarea M.J., Khavazi K., Tahmasebi Z. 2017. 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).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

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

Porcel R., Ruiz-Lozano J.M. 2004. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. Journal of Experimental Botany, 55:1743-1750.

Rahim Zadeh S., Sohrabi Y., Heidar Gh.R., Eivazi A.R., Hosseni S.M.T., Taher Hosseini M. 2013. Effect of biofertilizer on macro and micro nutrients uptake and essential oil continent in *Dracocephalum moldavica* L. Iranian Journal of Field Crops Research, 11 (1): 179-190. (In Persian).

Rasool S., Ahmad A., Siddiqi T.O., Ahmad P. 2013. Changes in growth, lipid peroxidation and some key antioxidant enzymes in chickpea genotypes under salt stress. Acta Physiologiae Plantarum, 35: 1039-1050.

Robert M., Auge R.M., Heather D., Carl F., Sams E.A., Ghazala N. 2008. Hydraulic conductance and water potential gradients in squash leaves showing mycorrhiza-induced increases in stomatal conductance. Mycorrhiza, 18: 115-121.

Sajedi N., Rejali F. 2011. Effect of drought stress, Zinc application and Mycorrhiza inoculation on uptake micro nutrients in maize. Iranian Journal of Soil Research, 25 (2): 83-92. (In Persian).

Shaban M., Mansourifar S., Ghobadi M., Ashrafi Parchin R. 2012. Effect of drought stress and statter nitrogen fertilizer on root charactrestics and seed yield of four cheakpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. Seed and Plant Production, 27 (4): 541-470.

Shahhosseini Z., Gholami, A., Asghari M. 2012. Effect of arbuscular mycorrhizae and humic acid on water use efficiency and physiological growth indices of maize under water deficit condition. Arid Biome Scientific and Research Journal, 2 (1): 39-57. (In Persian).

Sharma P., Dubey, R.S. 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Growth Regulation, 46: 209-221.

Shaharoona B., Arshad M., Zahir Z.A., Khalid A. 2006. Performance of Pseudomonas spp. containing ACC deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. Soil Biology and Biochemistry, 38: (9): 2971-2975.

Shaharoona B., Naveed M., Arshad M., Zahir Z.A. 2008. Ferttilizer-dependent efficiency of *Pseudomonas* for improving growth, yield and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). Microbial Biotechnology, 79: 147-155.

Sheligl H.Q. 1986. Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. Planta Journal, Pp: 47-51.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]

Song H. 2005. Effects of vam on host plant in condition of drought stress and its mechanisms. Electronic journal of Biology, 1 (3): 44-48.

Subramanian K.S., Charest C. 1995. Influence of arbuscular mycorrhizae on the metabolism of maize under drought stress. Mycorrhiza, 5: 273–278.

Vessey J.K., Buss T.J. 2002. Bacillus cereus UW85 inoculation effects on growth, nodulation and Naccumulation in grain Iegumes: Controlled-environment studies. Canadian Journal of Plant Science, 82: 282-290.

Young L.S., Hameed A., Peng S.Y., Shan Y.H., Wu S.P. 2013. Endophytic establishment of the soil isolate *Burkholderia* sp. CC-Al74 enhances growth and P-utilization rate in maize (*Zea mays* L.). Applied Soil Ecology, 66: 40-47.

Zhu X., Song F., Liu S. 2011. Arbuscular mycorrhiza impacts on drought stress of maize plants by lipid peroxidation, proline content and activity of antioxidant system. Journal of Food, Agriculture and Environment, 9: 583-587.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-11-02]