

## برهمکنش همزیستی میکوریزایی و آبیاری تکمیلی بر عملکرد و کیفیت علوفه و دانه گندم دیم در شرایط متغیر بارش انتهای فصل

محمود مظلومی ممیندی، علیرضا پیرزاد\*، جلال جلیلیان

گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، آذربایجان غربی، ایران

### چکیده

تأثیر آبیاری تکمیلی بر همزیستی میکوریزایی گندم دیم رقم آذر ۲ در زمان‌های متغیر آخرین بارندگی بهاره در یک آزمایش دوساله به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در مرکز تحقیقات کشاورزی آذربایجان غربی بررسی شد. تیمارهای آزمایش شامل زمان پایان بارندگی (۲۰ اردیبهشت، ۳ خرداد و ۱۷ خرداد)، همزیستی قارچ (شاهد و قارچ گونه *Glomus intraradices*) و آبیاری (دیم و یک نوبت آبیاری تکمیلی) بودند. نتایج نشان داد که همزیستی میکوریزایی تحت شرایط آبیاری تکمیلی باعث افزایش معنی‌دار کیفیت علوفه (فسفر و کلسیم) و دانه (فسفر) گندم نسبت به کشت دیم شد. بیشترین درصد پروتئین (۲۱/۹۸ درصد) و عملکرد دانه (۱۳۲۶/۵۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به آبیاری تکمیلی گیاهانی میکوریزایی بوده که آخرین بارندگی را به ترتیب در ۲۰ اردیبهشت و ۱۷ خرداد داشتند. به طور کلی کیفیت علوفه و دانه گندم در کشت دیم با یک نوبت آبیاری تکمیلی بهبود می‌یابد و رابطه میکوریزایی صرف‌نظر از زمان پایان بارندگی در میزان بهبود کیفیت و عملکرد دانه (در آبیاری تکمیلی تا ۱۵ درصد و در کشت دیم تا ۱۰ درصد) موثر بود. در نتیجه در شرایط کم‌آبی با مدیریت صحیح منابع آب و کاربرد کودهای بیولوژیک علاوه بر کاهش میزان آب مصرفی و تقویت گیاه، می‌توان ضمن غنی‌سازی محصولات زراعی گامی مؤثر در راستای کشاورزی پایدار برداشت.

**واژه‌های کلیدی:** بارندگی انتهای فصل، پروتئین دانه، فسفر دانه، عملکرد

## مقدمه

خشکی رشد گیاهان، توسعه و عملکرد آنها را در سرتاسر جهان محدود می‌سازد. به طوری که در اثر خشکی میانگین تولید گیاهی بیش از ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (Pei et al., 2013). ایران به لحاظ قرارگرفتن در ناحیه خشک و نیمه‌خشک جهان از نزولات آسمانی محدودی برخوردار است. از ویژگی‌های این مناطق، تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و مرطوب با بارندگی‌های نامنظم می‌باشد. به علت کافی نبودن بارندگی در برخی از سال‌ها، سطوح چشمگیری از دیم‌زارها قابل برداشت نبوده و یا عملکرد بسیار کمی دارند، به طوری که میزان تولید کل گندم کشور را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در مناطقی که میزان بارندگی برای رشد گیاه کافی باشد، ولی پراکنش باران متناسب با دوره رشد نباشد، عملکرد دانه به دلیل کمبود رطوبت به شدت کاهش خواهد یافت و حتی در شرایطی ممکن است کل محصول از بین برود. بنابراین در مناطقی که مقدار و پراکنش زمانی بارندگی نامناسب است، آبیاری تکمیلی برای تولید مطلوب گندم قابل توصیه است (Oweis, 1997). در تحقیقاتی که در غرب آسیا و شمال آفریقا انجام گرفته، مقدار تولید محصول دیم در شرایط دیم وابستگی شدیدی به مقدار و نحوه پراکنش باران دارد و در مرحله پر شدن دانه گندم محصول زراعی دیم، به علت کاهش بارندگی و نحوه پراکنش آن با تنش خشکی مصادف می‌باشد. با توجه به این شرایط عملکرد محصول و کارایی آب عموماً پایین و متغیر می‌باشد (Oweis et al., 1992). در شرایط نامطلوب بارندگی‌های آخر فصل رشد گندم با انجام آبیاری تکمیلی در

مناطق که محصول گندم در مراحل حساس دوره رشد با تنش مواجه می‌باشد، می‌توان به عملکرد اقتصادی مناسبی دست یافت. طوری که با انجام آبیاری تکمیلی تولید محصول گندم دیم تا ۳۰ درصد افزایش می‌یابد (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۲). منظور از آبیاری تکمیلی، کاربرد مقدار محدودی آب در زمان توقف بارندگی و وقوع تنش کمبود آب (در اینجا خشکی آخر فصل رشد) است تا آب کافی برای تداوم رشد بوته‌ها و افزایش و ثبات عملکرد دانه تامین شود (Stone and Schlegel, 2006). انجام آبیاری تکمیلی می‌تواند به عملکردی پایدار و رضایت‌بخش در دیم‌زارها، بویژه گندم منجر شود. سیستم آبیاری تکمیلی معمولاً در مناطقی با ۳۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر بارندگی سالیانه، به کار می‌رود (یعقوبیان و همکاران، ۱۳۹۲). مقدار و زمان آبیاری تکمیلی باید به صورتی برنامه‌ریزی شود که بتوان با کمترین مقدار آب قابل دسترس، به عملکرد بهینه و مطلوب دست یافت (احیایی و همکاران، ۱۳۸۹). با قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد گندم، بیشترین کاهش عملکرد در مرحله سنبله‌دهی اتفاق افتاد (اسدپور و همکاران، ۱۳۸۵). گزارش بهداد و همکاران (۱۳۸۸) نشان می‌دهد که عملکرد دانه گندم با قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد، از ۱۳ تا ۶۱ درصد افت داشت.

همزیستی قارچ با ریشه گیاه یکی از مهمترین روابط متقابل مفید در اکوسیستم‌های زراعی است که اثرات مثبت آن بر رشد، فیزیولوژی و اکولوژی گیاهان مختلف اثبات شده است. بیشترین اثر سودآوری قارچ‌های میکوریزا بهبود وضع تغذیه گیاه میزبان بخصوص

می‌تواند با مکانیسم همزیستی میکوریزایی جبران شود. بنابراین به‌دست آوردن سودمندی آبیاری تکمیلی در شرایط دیم با توجه به زمان آخرین بارندگی بهاره در گیاهان گندم میکوریزایی و غیرمیکوریزایی از اهداف اصلی این پژوهش می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش دو ساله در ایستگاه ساعت‌لو مرکز تحقیقات کشاورزی آذربایجان غربی، واقع در ۲۷ کیلومتری شهرستان ارومیه (عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۵ درجه شرقی و با ارتفاع ۱۳۲۹ متر از سطح دریا) در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل زمان پایان بارندگی در سه سطح (۲۰ اردیبهشت، ۳ خرداد و ۱۷ خرداد) و همزیستی قارچ در دو سطح (شاهد و همزیستی با گونه *G. intraradices*) در دو شرایط آبیاری تکمیلی (به روش آبیاری بارانی و در مرحله ظهور ۶۰ درصد سنبلیچه‌های گندم) و کشت دیم بودند. بذور گندم پائیزه رقم آذر ۲ از مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان غربی تهیه شد. بذور در عمق سه سانتی‌متری خاک مزرعه با شیب ۴ درصد و بصورت ردیفی به فواصل ۱۵ سانتی‌متر، در کرت‌هایی به ابعاد ۴ در ۴/۵ متر در دهه اول آبان هر دو سال کاشته شدند. بذور با تراکم ۳۸۰ بوته در مترمربع در روی ردیف‌ها به صورت شیاری (فرنیا و همکاران، ۱۳۹۳) به میزان ۱۰۰ گرم در مترمربع کاشته شدند. مایه تلقیح مایکوریزا شامل *G. intraradices* (تهیه شده از گروه گیاهپزشکی دانشگاه ارومیه، دکتر یونس رضایی

در جذب فسفر می‌باشد (آقابائی و همکاران، ۱۳۹۰). روابط قارچ-ریشه‌ای گیاه می‌تواند تعادل آبی گیاهان را در شرایط فاریاب و در تنش خشکی تحت تأثیر قرار دهد (Habibzadeh et al., 2015). اصلاح روابط آبی گیاه توسط قارچ‌های میکوریزا می‌تواند به واسطه افزایش هدایت روزنه‌ای و تعرق، تعادل هورمونی، افزایش سریع جذب آب و رساندن پتانسیل آب گیاه به حد تعادل، جذب بیشتر آب به‌واسطه هیف‌ها و خاکدانه‌سازی تحت تأثیر قرار گیرد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۰). ارزیابی رشد و عملکرد ماش در همزیستی با گونه *G. mosseae* نشان می‌دهد که عملکرد دانه در مقایسه با گیاهان غیرهمزیست به میزان ۶۶ درصد افزایش می‌یابد (Habibzadeh et al., 2015). علت افزایش عملکرد محصول در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا تعادل آبی آنها در شرایط تنش خشکی و در نتیجه جذب بیشتر آب و عناصر غذایی معدنی می‌باشد (حبیب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱). هیف‌های این قارچ-ها به مناطقی از خاک نفوذ می‌کنند که ریشه قادر به حضور در این مناطق نیست، لذا با این شرایط سبب افزایش سطح تبادلات مواد غذایی معدنی و آب با ترکیبات محلول خاک می‌شوند، همچنین هیف‌های قارچ سبب افزایش سطح جذب می‌شوند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۰).

با توجه به زمان متغیر پایان بارندگی‌های بهاره در سال‌های مختلف، و تأثیر متفاوت آن بر رشد و عملکرد گندم، میزان و زمان مناسب آبیاری تکمیلی در جبران خسارت تنش بستگی به زمان اتمام بارندگی‌ها متفاوت است. از طرف دیگر بخشی از خسارت ناشی از کمبود آب آخر فصل رشد گندم

مرحله پنجه‌زنی)، و کود فسفر به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (قبل از کاشت به صورت سوپرفسفات تریپل) به مزرعه اضافه شدند. میزان بارندگی ماهیانه از زمان کاشت (پاییز سال قبل) تا آخرین روز بارندگی براساس تیمارهای آزمایش در جدول ۱ ارایه شده است.

دانش) در داخل شیارهای کاشت قرار گرفت (Jaderlund *et al.*, 2008). عملیات مبارزه با علف‌های هرز بصورت شیمیایی با علف‌کش 2,4-D به میزان یک لیتر در هکتار انجام گرفت. کود نیتروژن به مقدار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار اوره (۶۰ کیلوگرم موقع کاشت و بقیه به صورت سرک در

جدول ۱- میزان بارندگی فصلی دو سال آزمایش

زمان	متوسط بارندگی (میلی‌متر)	رطوبت نسبی (درصد)		کمترین دما (سانتی‌گراد)	بیشترین دما (سانتی‌گراد)
		بیشینه	کمینه		
مهر ۹۲	۰/۲	۴۵/۲	۸۴	۰	۲۸
آبان ۹۲	۴۷/۸	۴۵/۹	۸۵	-۱	۱۸/۱
آذر ۹۲	۵۷/۳	۴۵	۷۹/۷	-۱۴/۸	-۱۵/۸
دی ۹۲	۱۵/۳	۴۷/۲	۸۶/۷۴	-۱۷/۶	۹/۲
بهمن ۹۲	۳۵	۴۹/۳	۸۵/۸۱	-۱۲/۸	۱۳/۶
اسفند ۹۲	۲۵/۹	۴۵/۶	۸۵/۷۹	-۴/۲	۱۸/۸
فروردین ۹۳	۵۵/۶	۳۰/۲۴	۷۹/۲۴	-۶	۲۴
اردیبهشت ۹۳	۳۵/۵	۲۸/۶۲	۸۱/۱۳	۵/۲	۲۸/۲
خرداد ۹۳	۲۴/۱	۳۱/۱۷	۸۰/۱۷	۸/۴	۳۵
تیر ۹۳	۰	۲۲/۳۲	۶۳/۷۴	۱۱/۸	۳۹
مرداد ۹۳	۰	۱۹/۹۷	۶۱/۳۹	۱۰/۶	۳۷
شهریور ۹۳	۰/۳	۲۰/۳۸	۶۷/۱۲	۵/۸	۳۱/۴
مهر ۹۳	۱۶۲/۴	۵۳/۷۴	۸۹/۷۱	-۱	۲۹/۶
آبان ۹۳	۱۶/۹	۵۵/۲۱	۹۱/۱	-۵/۸	۱۸/۲
آذر ۹۳	۲۱	۵۴/۱۸	۹۲/۲۴	-۴/۴	۱۱/۸
دی ۹۳	۰/۹	۴۳/۸۱	۸۹/۳۱	-۱۱	۱۲
بهمن ۹۳	۱۳	۴۱/۷۸	۸۴/۷۸	-۷/۴	۱۵
اسفند ۹۳	۳۳/۴	۳۹/۹۲	۸۶/۹۳	-۸/۴	۱۶/۶
فروردین ۹۴	۱۵/۸	۳۰/۲۱	۷۹/۴۴	-۳/۶	۲۶
اردیبهشت ۹۴	۴۳/۱	۲۶/۳۹	۷۳/۴۹	۰/۴	۲۹
خرداد ۹۴	۶/۴	۲۸/۱۹	۷۵/۹۲	۷/۶	۳۳/۴
تیر ۹۴	۰	۲۲/۷۹	۷۱/۹۴	۱۰/۶	۳۹/۹
مرداد ۹۴	۰	۲۴/۸۱	۶۷/۸۱	۱۲/۶	۳۸/۲
شهریور ۹۴	۳/۶	۲۱/۴۹	۶۳/۵۹	۱۲/۷	۲۸/۷

برای اینکه ادامه بارندگی‌ها بر روی تیمارهای آخرین بارندگی در ۲۰ اردیبهشت و ۳ خرداد تاثیر نداشته باشد، حفاظهایی در برابر باران (شلترهایی) بر روی این واحدهای آزمایشی با توجه به پیش‌بینی سازمان هواشناسی قرار داده شد. مقدار آب آبیاری تکمیلی براساس درصد رطوبت خاک و رساندن آن به ظرفیت زراعی با استفاده از رابطه زیر محاسبه و به خاک مزرعه اضافه شد (Benami and Ofen, 1984):

$$VN = [(FC - WP) \times BD \times D \times (1 - ASM) \times A] / 100$$

در این رابطه، FC، درصد وزنی رطوبت در حد ظرفیت مزرعه‌ای، WP، درصد وزنی رطوبت در نقطه پژمردگی، BD، جرم مخصوص ظاهری خاک (کیلوگرم بر مترمکعب)، D، عمق توسعه ریشه (متر)، ASM، رطوبت خاک مزرعه در زمان قبل از آبیاری، و A، مساحت هر کرت (مترمربع) می‌باشد. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است.

برای اندازه‌گیری کیفیت علوفه، کل بخش هوایی گندم در مرحله شیری دانه با حذف حاشیه از هر طرف از مساحت یک مترمربع از هر کرت از سطح زمین کف بر شده و به صورت مخلوط برداشت شد. نمونه‌های مربوط به هر تکرار بصورت مجزا در سایه خشک و آسیاب شدند. سپس به آزمایشگاه ممتاز دامپزشکی استان آذربایجان غربی منتقل و میزان رطوبت، خاکستر، پروتئین و کلسیم آنها اندازه‌گیری شد. تجزیه عناصر طبق استاندارد A.O.A.C به روش هضم‌تر با استفاده از اسیدهای نیتریک، کلریدیک و پرکلریدیک صورت گرفت (Association of Official Analytical Chemists, 2005). برای اندازه‌گیری میزان فسفر دانه و علوفه از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل GEN way 630 ساخت ژاپن و برای اندازه‌گیری میزان پتاسیم، خاکستر و سایر عناصر از دستگاه جذب اتمی مدل GBC 932 plus ساخت ژاپن استفاده گردید. رطوبت علوفه توسط دستگاه رطوبت‌سنج مدل Sortorius ساخت آلمان اندازه‌گیری شد.

جدول ۲- نتایج تجزیه خاک مزرعه قبل از اجرای آزمایش.

بافت خاک	سیلت	رس (%)	شن	پتاسیم mg/kg	فسفر	کربن آلی (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی dS/m
لومی رسی	۴۶	۴۲	۱۲	۴۱۰	۸	۱/۰۸	۷/۸۰	۰/۶۲۴

(1982). درصد پروتئین از حاصل ضرب نیتروژن در عدد ۶/۲۵ به دست می‌آید (Rossi et al., 2004).

اندازه‌گیری درصد پروتئین دانه و برگ، توسط دستگاه کج‌دال مدل Vapodest 20 ساخت آلمان اندازه‌گیری شد (Bremner and Mulvaney,

$$(1) \quad 100 \times \left\{ \text{وزن نمونه} / (0.0014 \times \text{مقدار اسید مصرف شده در تیتراسیون}) \right\} = \text{درصد نیتروژن}$$

$$(2) \quad 6/25 \times \text{درصد نیتروژن} = \text{درصد پروتئین}$$

میزان خاکستر علوفه معنی دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های دوساله آزمایش نشان داد که بیشترین مقدار خاکستر علوفه (۱۰/۳۳ درصد) از تیمار میکوریزا و آبیاری تکمیلی در سال دوم بدست آمد. با این حال گیاهان (همزیست و غیر همزیست) در سال اول تحت شرایط کشت دیم خاکستر علوفه کمتری داشتند (شکل ۱-الف).

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام گردید. میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

## نتایج و بحث

**خاکستر علوفه:** اثر متقابل سه جانبه فاکتورهای آزمایش (سال × قارچ میکوریزا × آبیاری تکمیلی) بر

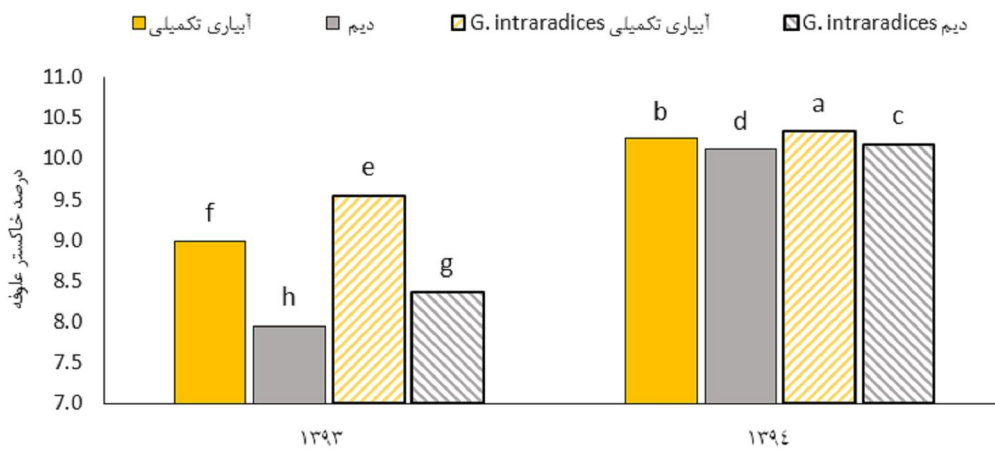
جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات آبیاری تکمیلی و همزیستی قارچ مایکوزای گونه *G. intraradices* بر کیفیت و عملکرد علوفه گندم در شرایط متفاوت دیم

منابع تغییر	درجه آزادی	خاکستر علوفه	کلسیم علوفه	فسفر علوفه	پروتئین علوفه	عملکرد علوفه
سال (Y)	۱	۴۰/۵۳**	۰/۱۱**	۰/۰۰۴**	۰/۳۰**	۱۱۳۱۳۰۸/۸۲**
تکرار در سال	۴	۰/۰۲**	۰/۰۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۳**	۲۶۸۲/۹۲ <sup>ns</sup>
پایان بارندگی (RI)	۲	۰/۹۹**	۰/۰۴**	۰/۰۱**	۳/۲۴**	۷۰۹۰۹/۶۶**
میکوریزا (M)	۱	۱/۳۷**	۰/۱۲**	۰/۰۸**	۱۲/۹۲**	۲۰۴۹۸۹/۹۱**
آبیاری تکمیلی (SI)	۱	۷/۱۳**	۰/۰۳**	۰/۰۱**	۰/۰۶**	۴۹۱۵۸۵/۷۰**
Y×RI	۲	۰/۰۲**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۰۶*	۰/۶۹**	۴۹۹۸/۶۱ <sup>ns</sup>
Y×M	۱	۰/۷۹**	۰/۰۷**	۰/۰۵**	۸/۱۲**	۶۲۶/۱۰ <sup>ns</sup>
Y×SI	۱	۴/۱۲**	۰/۰۱**	۰/۰۱**	۰/۰۴**	۱۵۳۸/۲۷ <sup>ns</sup>
RI×M	۲	۰/۰۴**	۰/۰۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۵ <sup>ns</sup>	۳۹۵۸/۴۸ <sup>ns</sup>
Y×RI×M	۲	۰/۰۲**	۰/۰۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۲ <sup>ns</sup>	۶/۹۰ <sup>ns</sup>
SI×RI	۲	۰/۰۲**	۰/۰۰۰۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۳**	۷۰۶۳/۶۲ <sup>ns</sup>
SI×RI×Y	۲	۰/۰۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۲*	۵/۳۲ <sup>ns</sup>
SI×M	۱	۰/۰۲**	۰/۰۰۰۵*	۰/۰۰۰۸*	۲/۵۵**	۳۶۱۱/۶۵ <sup>ns</sup>
SI×M×Y	۱	۰/۰۱*	۰/۰۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۵ <sup>ns</sup>	۱/۶۰**	۱۰/۴۲ <sup>ns</sup>
SI×M×RI	۲	۰/۰۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۷ <sup>ns</sup>	۷۵۴۶/۲۱ <sup>ns</sup>
SI×M×RI×Y	۲	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۲ <sup>ns</sup>	۱۸/۸۴ <sup>ns</sup>
اشتباه آزمایشی	۴۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۴	۲۸۵۱/۸۲
ضریب تغییرات (/)		۰/۵۸	۱/۲	۵/۱۴	۰/۶۵	۲/۴۲

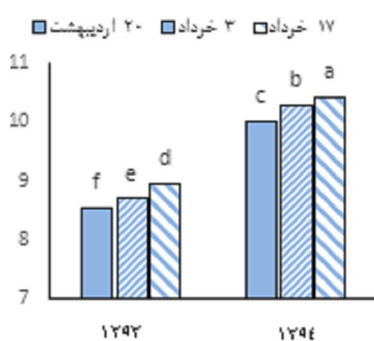
بدست آمد و کمترین خاکستر علوفه (۸/۹۶ درصد) مربوط به کشت دیم که بارندگی فقط تا ۲۰ اردیبهشت ادامه داشت، مشاهده شد (شکل ۱-ب). مقایسه میانگین نتایج نشان داد که گیاهان همزیست با میکوریزا با وجود بارندگی تا ۳ و ۲۰ خرداد دارای بیشترین مقدار خاکستر علوفه (۹/۸۴ درصد) را دارا بودند. در صورتی که کمترین (۹/۱۵ درصد) آن از تیمار قطع بارندگی تا ۲۰ اردیبهشت مشاهده شد (شکل ۱-ج).

با توجه به نتایج حاصل از آزمایش پاسخ گیاه به آبیاری تکمیلی بسته به زمان قطع بارندگی از نظر خاکستر علوفه متفاوت بود. هر چند در هر دو کشت دیم و آبیاری تکمیلی با ادامه بارندگی تا ۱۷ خرداد خاکستر علوفه افزایش معنی داری پیدا کرده است. با این حال مقادیر خاکستر علوفه در آبیاری تکمیلی در کلیه سطوح بارندگی بیشتر بود. به طوری که بیشترین خاکستر علوفه (۱۰ درصد) در آبیاری تکمیلی در شرایطی که بارندگی تا ۱۷ خرداد ادامه داشت،

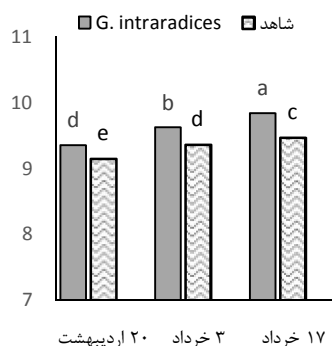
### الف



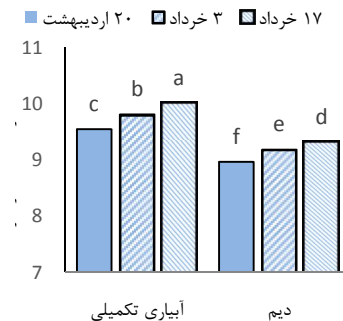
### د



### ج



### ب



شکل ۱- مقایسه میانگین خاکستر علوفه تحت تاثیر برهمکنش‌های سال × میکوریزا × آبیاری تکمیلی (الف)، پایان بارندگی × آبیاری (ب)، پایان بارندگی × میکوریزا (ج) و سال × پایان بارندگی (د) حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد

قارچ میکوریزا ارتباط آب با گیاه میزبان را بوسیله افزایش هدایت هیدرولیکی خاک، افزایش نسبت تعرق، کاهش مقاومت روزنه‌ای بوسیله تغییر در تعادل هورمونه‌ای گیاهی بهبود می‌بخشد (Ortas *et al.*, 2011)

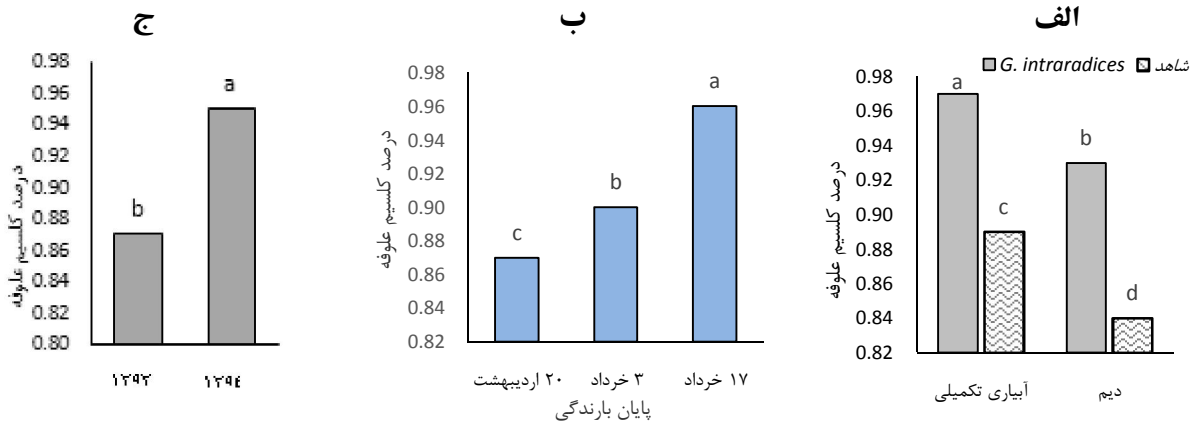
**کلسیم علوفه:** برهمکنش معنی‌دار ( $P \leq 0/05$ ) بین آبیاری تکمیلی و همزیستی با قارچ بر روی کلسیم علوفه (جدول ۳)، منجر به تولید علوفه با بیشترین مقدار کلسیم (۰/۹۷ درصد) در گیاهان میکوریزایی در آبیاری تکمیلی گردید. بطوری که کمترین مقدار کلسیم علوفه (۰/۸۴ درصد) نیز مربوط به گیاهان غیرمیکوریزایی کشت دیم بود. با این وجود، در هر دو سیستم کاشت دیم و آبیاری تکمیلی گیاهان میکوریزای کلسیم علوفه بالاتری داشتند (شکل ۲- الف). همچنین مقایسه نتایج دوساله حکایت از آن داشت که میزان کلسیم علوفه در ۲۰ اردیبهشت و ۳ و ۱۷ خرداد به ترتیب ۰/۸۷، ۰/۹۰ و ۰/۹۶ درصد بود (شکل ۲ - ب). به این ترتیب که با ادامه وقوع بارندگی بهاره درصد کلسیم علوفه افزایش نشان داد. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، نشان دهنده درصد بالاتر کلسیم علوفه در سال دوم (۰/۹۵ درصد) نسبت به سال اول (۰/۸۷ درصد) بود (شکل ۲- ج). قارچ میکوریزا به ویژه در شرایطی که گیاهان زراعی از نظر تغذیه‌ای دچار تنش شده‌اند، ابزاری کارآمد در افزایش دسترسی به عناصر غذایی به شمار می‌رود. بهبود انتقال عناصر غذایی به بافت گیاه از طریق افزایش سطح جذب ریشه‌ها توسط گسترش میسلیم‌های قارچ به فضای خارج فرا ریشه‌ای خاک صورت می‌گیرد که به افزایش میزان جذب فسفر، نیتروژن، گوگرد، پتاسیم، کلسیم، روی، آهن، مس و انتقال آب منجر خواهد شد (Boomsma and Vyn, 2006)

میزان خاکستر علوفه با ادامه وقوع بارندگی تا ۱۷ خرداد افزایش پیدا کرده است. با این حال مقادیر خاکستر علوفه در سال دوم (۱۳۹۴) در کلیه سطوح بارندگی بیشتر بود. یعنی بیشترین خاکستر علوفه (۱۰/۳۹ درصد) در شرایطی که بارندگی تا ۱۷ خرداد ادامه داشت، از سال دوم به دست آمد، ولی کمترین خاکستر علوفه (۸/۵۲ درصد) در پایان زود هنگام بارندگی (۲۰ اردیبهشت) در سال اول مشاهده شد (شکل ۱- د). به نظر می‌رسد همزیستی میکوریزایی و همچنین بهبود شرایط آبیاری در دو سال متوالی باعث جذب بهتر عناصر غذایی و افزایش خاکستر در سال دوم (به ویژه در شرایطی که بارندگی‌ها تا اواسط خرداد ادامه داشته است) شده است. درصد خاکستر بیانگر مقدار مواد معدنی موجود در بافت‌های گیاهی بود و جذب این مواد توسط ریشه در شرایط کم آبی کاهش می‌یابد، در نتیجه کاهش درصد خاکستر علوفه در این شرایط بسیار محتمل است. کاهش درصد خاکستر علوفه در شرایط تنش خشکی توسط سایر محققان در گیاه ارزن علوفه‌ای نیز گزارش شده است (رهبری و همکاران، ۱۳۹۳). بطوری که قارچ‌های میکوریزا قادر هستند اثرات نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان تعدیل نمایند (Copetta *et al.*, 2006). نتایج تحقیقات بر روی ماش سبز در گیاهان میکوریزایی و غیرمیکوریزایی در شرایط تنش رطوبتی نشان داده است که هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌های گیاهان میکوریزایی بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزایی است که این امر در اثر افزایش سطح ریشه و یا طول ریشه‌های میکوریزایی می‌باشد (حبیب زاده و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین هدایت آبی در واحد طول ریشه ۲ تا ۳ برابر افزایش نشان می‌دهد.

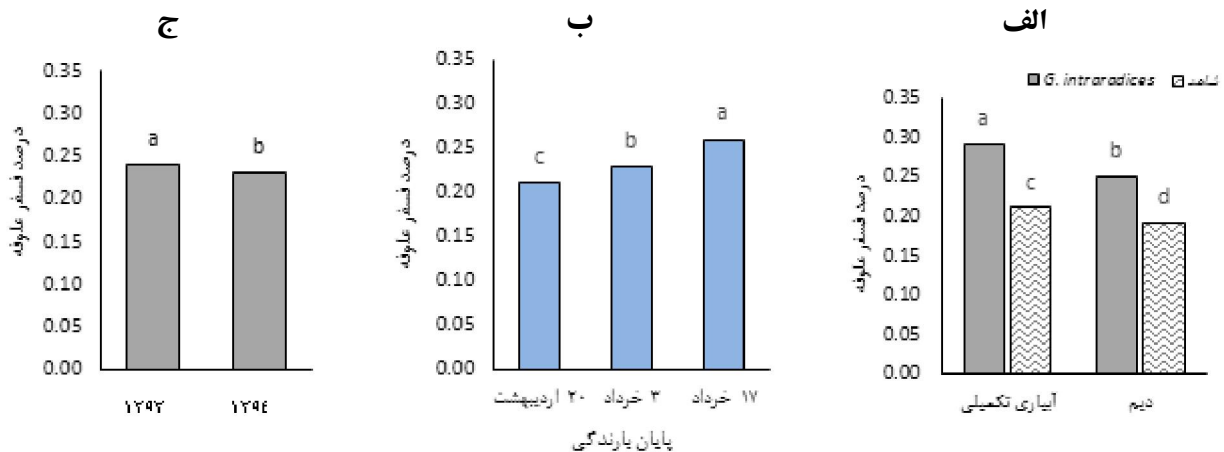


قارچ میکوریزی تأثیر معنی داری بر افزایش میزان کلسیم برگ‌های گندم داشت (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۲).

(2008) و این امر به طور عمده از طریق افزایش جذب و انتقال یون‌های عناصر غذایی که در شرایط عدم حضور قارچ‌های میکوریزی به آرامی انتشار می‌یابند صورت می‌گیرد (Subramanian *et al.*, 2008). در تحقیقی دیگر مشخص شد که کاربرد



شکل ۲- مقایسه میانگین کلسیم علوفه تحت تاثیر برهمکنش میکوریزا × آبیاری (الف)، پایان بارندگی (ب) و سال (ج). حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد



شکل ۳- مقایسه میانگین فسفر علوفه تحت تاثیر برهمکنش میکوریزا × آبیاری (الف)، پایان بارندگی (ب) و سال (ج). حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد

میکوریزا (*G. intraradices*) است (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در شرایط انجام آبیاری تکمیلی گیاهان میکوریزایی دارای بیشترین مقدار فسفر علوفه (۰/۲۹ درصد) بودند. بطوری که

فسفر علوفه: اثر متقابل معنی دار مقادیر متفاوت فسفر علوفه گیاهان میکوریزایی در کشت دیم نسبت به آبیاری تکمیلی نشان دهنده اثر متقابل معنی دار بین آبیاری تکمیلی و همزیستی با قارچ ( $P \leq 0/05$ )

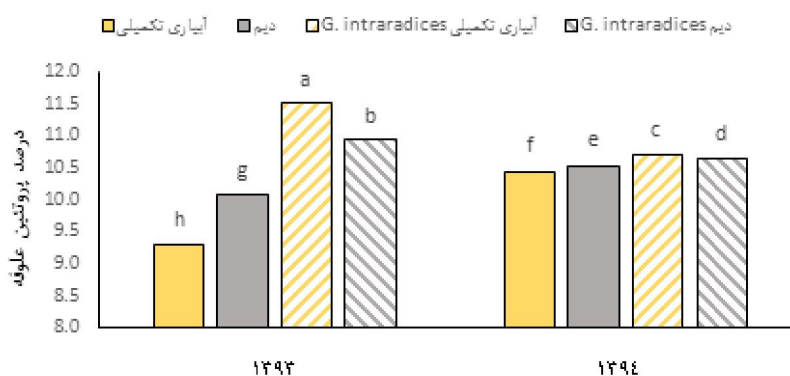
غیرمیکوریزایی می‌باشد، چرا که گیاه میکوریزایی بهتر از گیاهان غیرمیکوریزایی قادر به دسترسی به فسفر از خاک خشک بود (Neumann and George, 2004). همچنین گزارش شده که گیاهان میکوریزایی (ذرت علوفه‌ای) در مقایسه با شاهد رشد بیشتری داشتند و بنابراین از نظر ذخیره N.P.K (بدلیل قدرت جذب بالاتر) غنی‌تر بودند (امیرآبادی و همکاران، ۱۳۸۸).

**پروتئین علوفه:** اثر متقابل سال × میکوریزا × آبیاری تکمیلی بر پروتئین علوفه گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در شرایط آبیاری تکمیلی گیاهان میکوریزی دارای بیشترین مقدار پروتئین علوفه (۱۱/۴۹ درصد) را در سال اول داشتند. بطوری که در هر دو سیستم دیم و آبیاری تکمیلی، پروتئین علوفه گیاهان میکوریزایی بیشتر بود (شکل ۴).

در هر دو سیستم دیم و آبیاری تکمیلی، فسفر علوفه گیاهان میکوریزایی بیشتر بود (شکل ۳-الف). نتایج نشان داد با ادامه بارندگی‌ها تا ۱۷ خرداد به تدریج مقادیر فسفر علوفه به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرده است. بطوری که بیشترین فسفر علوفه (۰/۲۶ درصد) در شرایطی که بارندگی تا ۱۷ خرداد ادامه داشت، به دست آمد (شکل ۳-ب).

قابلیت بالاتر جذب و تجمع فسفر در شرایط تامین مناسب آب (در تحقیق حاضر ادامه بارندگی‌ها) می‌تواند منجر به افزایش فسفر برگ شود (حبیب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین مشخص شد که علوفه گندم در سال اول آزمایش از درصد فسفر بیشتری در مقایسه با سال دوم برخوردار بودند (جدول ۳).

متوسط درصد فسفر در علوفه گندم در سال اول آزمایش ۰/۲۴ درصد و در سال دوم آزمایش ۰/۲۳ درصد بود (شکل ۳-ج). غلظت فسفر در هر واحد برگ گیاهان همزیست با میکوریزا بیشتر از گیاهان



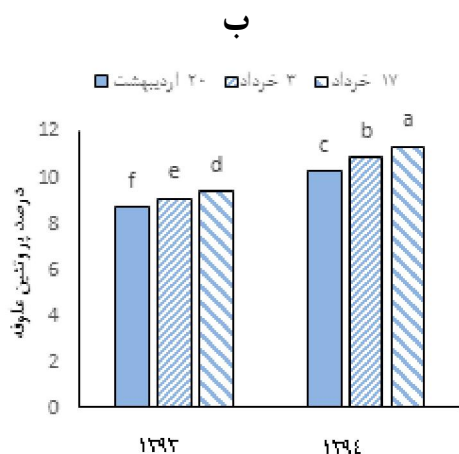
شکل ۴- مقایسه میانگین پروتئین علوفه تحت تاثیر برهمکنش سال × میکوریزا × آبیاری.

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد

خرداد به تدریج مقادیر پروتئین علوفه به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرده است. مقادیر پروتئین علوفه گندم در آبیاری تکمیلی نسبت به کشت دیم کاهش نشان داد. زمانیکه اتمام بارندگی ۲۰

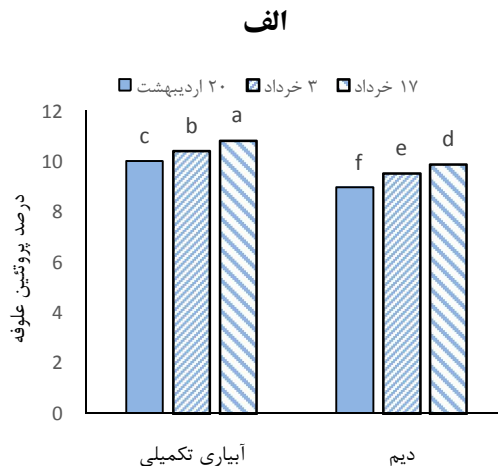
اثر متقابل زمان آخرین بارندگی × آبیاری تکمیلی بر پروتئین علوفه گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). طوری که در هر دو کشت دیم و آبیاری تکمیلی با ادامه بارندگی‌ها تا ۱۷

سال دوم به دست آمد. با این حال مقادیر پروتئین علوفه در سال دوم در کلیه سطوح بارندگی بیشتر بود (شکل ۵-ب). در مطالعه عکس العمل فیزیولوژیک گندم به کاربرد قارچ میکوریزا نتایج نشان داده که قارچ میکوریزا موجب افزایش میزان نیتروژن، پروتئین، کربوهیدرات و کل پروتئین های محلول در دانه و ساقه شده است. علاوه بر موارد فوق در کاهش تنش خشکی توسط قارچ های میکوریزا، وجود شبکه گسترده میسلیم های قارچ به عنوان ادامه سیستم ریشه ای گیاه میزبان امکان جذب آب و مواد غذایی را از مناطق دور از دسترس گیاه فراهم می سازد (Smith and Read, 2008).



اردیبهشت اتفاق افتاده باشد، آبیاری تکمیلی تغییری در پروتئین علوفه نمی دهد، ولی در شرایطی که ادامه بارندگی های بهار تا ۳ و ۱۷ خرداد موجب کاهش میزان پروتئین علوفه شده است. به طوری که کمترین مقدار پروتئین علوفه (۱۰/۱۶ درصد) مربوط به گیاهان آبیاری شده پس از بارندگی های ۱۷ خرداد می باشد (شکل ۵-الف).

نتایج مقایسه میانگین دو ساله داده ها نشان داد که میزان پروتئین علوفه با ادامه وقوع بارندگی تا ۱۷ خرداد به طور معنی داری کاهش پیدا کرده است. به طوری که بیشترین پروتئین علوفه (۱۱/۱۸ درصد) در شرایطی که بارندگی تا ۲۰ اردیبهشت ادامه داشت، از



شکل ۵ - مقایسه میانگین پروتئین علوفه تحت تاثیر برهمکنش پایان بارندگی × آبیاری (الف) و پایان بارندگی × سال (ب). حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد

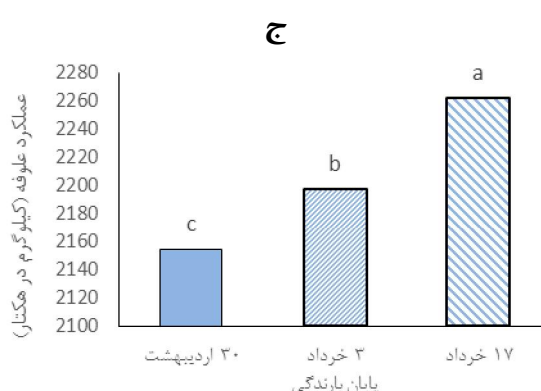
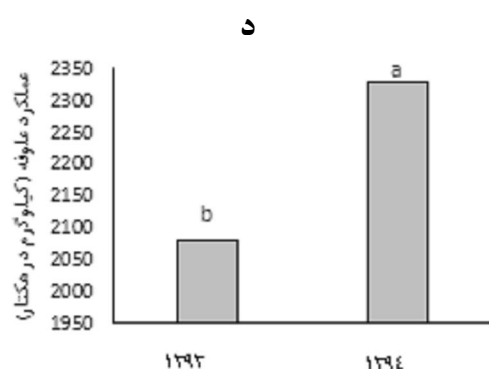
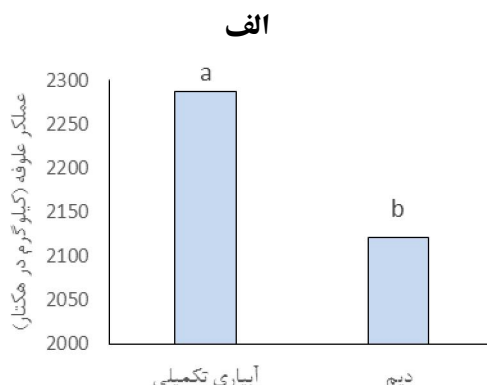
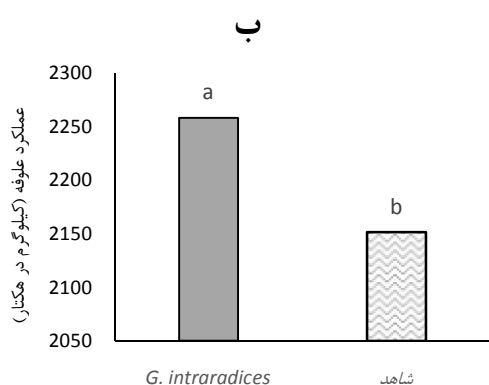
در شرایط انجام آبیاری تکمیلی دارای بیشترین میزان عملکرد علوفه (۲۱۸۷/۳۱ کیلوگرم در هکتار) را دارا بود. در حالی کشت دیم درصد علوفه کمتری نسبت به آبیاری تکمیلی داشت (شکل ۶-الف). همچنین نتایج نشان داد که همزیست با میکوریزا باعث افزایش عملکرد علوفه گندم نسبت به گیاهان غیر میکوریزایی شد. طوری که کمترین مقدار عملکرد علوفه

**عملکرد علوفه:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد تاثیر تیمارهای قطع بارندگی، همزیستی با میکوریزایی و آبیاری تکمیلی بر روی عملکرد علوفه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود با این حال هیچ یک از اثرات متقابل (برهمکنش) در رابطه با این صفت معنی دار نگردید (جدول ۳). مقایسه میانگین نتایج دوساله نشان داد که گیاه گندم

باشد، تا ۵ درصد برتری نشان داد (شکل ۶-ج). همچنین نتایج نشان داد که گیاه گندم در سال دوم آزمایش، از عملکرد علوفه بیشتری در مقایسه با سال اول برخوردار بود. متوسط عملکرد علوفه گندم در سال اول آزمایش ۲۰۷۹/۳۳ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم آزمایش ۲۳۳۰/۰۳ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۶-د).

۲۱۵۱/۳۲ کیلوگرم در هکتار) مربوط به گیاهان غیرهمزیست با میکوریزایی بود (شکل ۶-ب).

طبق نتایج حاصل با ادامه بارندگی ها تا ۱۷ خرداد به تدریج مقادیر عملکرد علوفه گندم به طور معنی داری افزایش پیدا کرده، و بیشترین مقدار علوفه (۲۲۶۲/۴۴ کیلوگرم در هکتار) را تولید کرده است. این مقدار عملکرد علوفه نسبت به زمانی که اتمام بارندگی ۲۰ اردیبهشت و سوم خرداد اتفاق افتاده



شکل ۶- مقایسه میانگین عملکرد علوفه تحت تاثیر آباری تکمیلی (الف)، همزیستی میکوریزایی (ب)، پایان بارندگی (ج) و سال (د). حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد

خرداد ادامه داشته است) می شود. نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده از قارچ میکوریزا سرعت رشد گیاه را افزایش داده و بر تخصیص و انتقال عناصر غذایی بین ریشه و ساقه اثر داشته، به طوری که با افزایش جذب عناصر غذایی و انتقال آنها، وزن خشک اندام های هوایی افزایش یافت (حبیبی و

به نظر می رسد برتری نسبی عملکرد (کمی و کیفی) در سال دوم آزمایش در گیاهان میکوریزایی و حتی گیاهان شاهد، اجرای آزمایش در سال قبل باشد که کلیه عملیات کاشت و مراقبت از گیاه را تحت کنترل درمی آورد و باعث رشد بهتر گیاه در سال دوم (به ویژه در شرایطی که بارندگی ها تا اواسط

گیاهی و همچنین افزایش فتوسنتز گیاه که منجر به ساخته شدن مواد فتوسنتزی بیشتری می شود، نسبت دادند.

### عملکرد و کیفیت دانه

**پتاسیم دانه:** برهمکنش معنی دار سال  $\times$  آبیاری تکمیلی  $\times$  همزیستی با قارچ میکوریزا نشان می دهد که پاسخ گیاه به آبیاری تکمیلی بسته به سال کشت در گیاهان میکوریزایی متفاوت است (جدول ۴).

همکاران، ۱۳۹۲). در مطالعه ای که بر روی امکان بهبود تحمل به خشکی ذرت با استفاده از همزیستی میکوریزی صورت گرفت، بومسما و وین (۲۰۰۸) بیان داشتند که رابطه همزیستی میکوریزی و ریشه گیاه ذرت به میزان قابل توجهی به رشد و تغذیه گیاه کمک می کند و باعث افزایش عملکرد علوفه ذرت می گردد. آنان علت این امر را به دلیل افزایش غلظت آب و مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد در اندام

جدول ۴- تجزیه واریانس اثرات آبیاری تکمیلی و همزیستی قارچ مایکوریزای گونه *G. intraradices* بر عناصر غذایی و عملکرد

دانه گندم در شرایط متفاوت دیم					
منابع تغییر	درجه آزادی	پتاسیم دانه	فسفر دانه	پروتئین دانه	عملکرد دانه
سال (Y)	۱	۰/۰۹**	۰/۱۰**	۷۸/۶۷**	۳۱۸۱۵۴/۶۶*
تکرار در سال	۴	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰۷*	۰/۰۷ <sup>ns</sup>	۱۵۰۹/۸۹ <sup>ns</sup>
پایان بارندگی (RI)	۲	۰/۰۵**	۰/۰۶**	۲۵/۰۹**	۵۰۶۸۷/۰۲**
میکوریزا (M)	۱	۰/۰۲**	۰/۶۲**	۷۹/۴۷**	۱۷۰۵۷۴/۷۲**
آبیاری تکمیلی (SI)	۱	۰/۰۲**	۰/۱۳**	۳۰۹/۱۳**	۴۰۸۴۶۰/۳۶**
Y $\times$ RI	۲	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۴**	۰/۵۰*	۱۸۹۹/۱۲ <sup>ns</sup>
Y $\times$ M	۱	۰/۰۱**	۰/۰۰۳**	۰/۲۹ <sup>ns</sup>	۵۲۵/۰۹ <sup>ns</sup>
Y $\times$ SI	۱	۰/۰۱**	۰/۰۰۰۷ <sup>ns</sup>	۱/۱۶**	۱۲۴۶/۸۳ <sup>ns</sup>
RI $\times$ M	۲	۰/۰۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۸*	۰/۷۷**	۴۵۰۱/۱۷ <sup>ns</sup>
Y $\times$ RI $\times$ M	۲	۰/۰۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۵ <sup>ns</sup>	۸/۳۴ <sup>ns</sup>
SI $\times$ RI	۲	۰/۰۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱*	۱/۹۵**	۸۷۵۲/۴۲**
SI $\times$ RI $\times$ Y	۲	۰/۰۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۱۰/۲۸ <sup>ns</sup>
SI $\times$ M	۱	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۱**	۰/۴۸*	۷۴۷/۸۱ <sup>ns</sup>
SI $\times$ M $\times$ Y	۱	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>	۱/۰۴ <sup>ns</sup>
SI $\times$ M $\times$ RI	۲	۰/۰۰۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۵ <sup>ns</sup>	۱/۴۶**	۸۵۸۷/۴۷**
SI $\times$ M $\times$ RI $\times$ Y	۲	۰/۰۰۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۵ <sup>ns</sup>	۲۳/۹۸ <sup>ns</sup>
اشتباه آزمایشی	۴۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۱۱	۱۶۶۵/۶۸
ضریب تغییرات (%)		۲/۹۷	۳/۲۰	۱/۹۹	۳/۴۵

، \* و \*\* به ترتیب نشانگر اختلاف آماری معنی داری در سطوح احتمال پنج، یک درصد و عدم اختلاف آماری معنی دار می باشد.

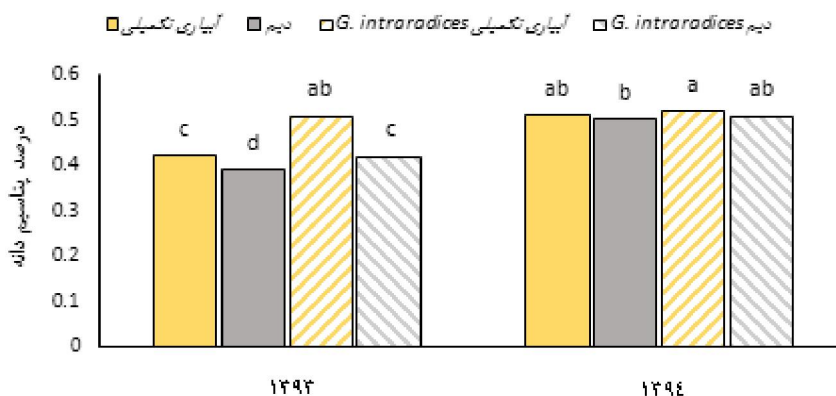
تکمیلی نسبت به کشت دیم بیشتر است. بطوری که بیشترین پتاسیم دانه (۰/۵۲ درصد) از گیاهان آبیاری شده در همزیستی با قارچ میکوریزا به دست آمد. در حالی که کمترین مقادیر پتاسیم دانه (۰/۳۹ درصد)

در هر دو کشت دیم و آبیاری تکمیلی مقادیر پتاسیم دانه در گیاهان همزیستی با قارچ میکوریزا در سال دوم کشت به طور معنی داری افزایش پیدا کرده است. با این حال همواره مقادیر پتاسیم دانه در آبیاری

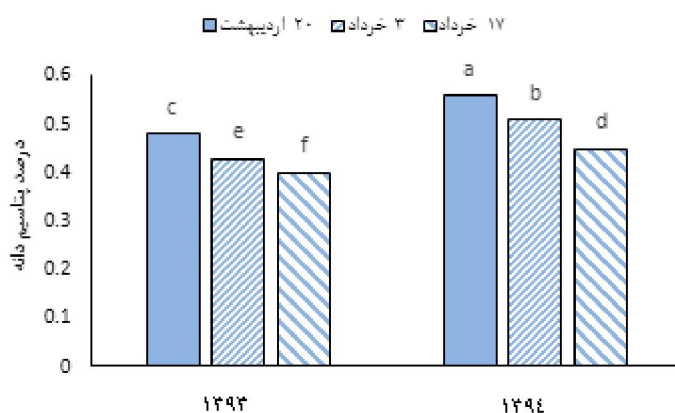
تأثیر معنی‌داری بر افزایش میزان پتاسیم اندام‌های هوایی ذرت دارد (امیرآبادی و همکاران، ۱۳۸۸). بطوری که افزایش غلظت پتاسیم در شرایط تنش خشکی به دلیل نقش این عناصر در تنظیم فشار اسمزی می‌باشد، گزارش شده است (Aliasgharzad *et al.*, 2009). همچنین مشخص شده است که تحت شرایط تنش کم‌آبی جذب عناصر غذایی توسط گیاهان، معمولاً به واسطه کاهش مقادیر تعرق، مختل شدن سیستم‌های انتقال فعال و نفوذپذیری غشاء و در نتیجه کاهش نیروی جذب کنندگی ریشه گیاه کاهش می‌یابد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۰).

در شرایط دیم و بدون همزیستی با قارچ میکوریزا مشاهده شد (شکل ۷- الف). در هر دو کشت سال‌های اول و دوم با تاخیر در قطع بارندگی از ۲۰ اردیبهشت تا ۱۷ خرداد مقادیر پتاسیم دانه به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرده است. با این حال همواره مقادیر پتاسیم دانه در سال دوم نسبت به سال اول بیشتر است. یعنی بیشترین پتاسیم دانه (۰/۵۶ درصد) از گیاهان آبیاری شده در شرایط قطع بارندگی ۱۷ خرداد به دست آمد، ولی پایان زودهنگام بارندگی در ۲۰ اردیبهشت ماه منجر به تولید دانه‌هایی با کمترین پتاسیم دانه (۰/۴ درصد) شد (شکل ۷- ب). گزارش شده است که کاربرد قارچ میکوریزی

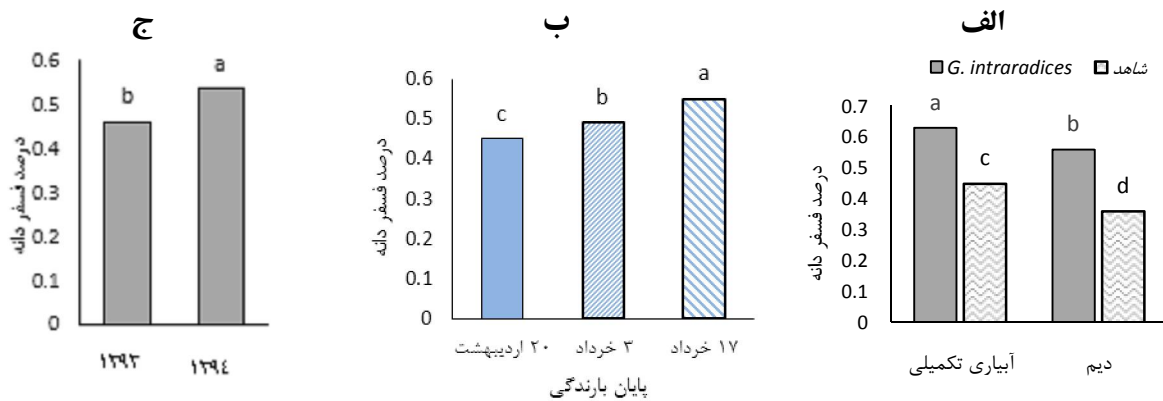
#### الف



#### ب



شکل ۷- مقایسه میانگین پتاسیم دانه تحت تاثیر برهمکنش سال × پایان بارندگی (الف) و سال × آبیاری × میکوریزا (ب). حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد



شکل ۸ - مقایسه میانگین فسفر دانه تحت تاثیر برهمکنش آبیاری × میکوریزا (الف)، پایان بارندگی (ب) و سال (ج). حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد

برهمکنش معنی دار سال کشت × پایان بارندگی نشان می دهد که پاسخ مقادیر پروتئین گیاه به وقوع بارندگی در دو سال کشت متفاوت است (جدول ۴). بطوری که در هر دو سال کشت با تاخیر در قطع بارندگی از ۲۰ اردیبهشت تا ۱۷ خرداد مقادیر پروتئین دانه به طور معنی داری کاهش پیدا کرده است. با این حال همواره مقادیر پروتئین دانه در سال دوم کشت نسبت به سال اول بیشتر است. یعنی بیشترین پروتئین دانه گندم (۱۹/۳۶ درصد) از پایان زود هنگام بارندگی در ۲۰ اردیبهشت ماه بدست آمد. ولی قطع بارندگی دیر هنگام در ۱۷ خرداد منجر به تولید دانه هایی با کمترین پروتئین دانه (۱۵/۲۲ درصد) شد (شکل ۹-ج). با توجه به نتایج حاصل به نظر می رسد که با وقوع شرایط کم آبی و کوتاه شدن دوره ی رشد زایشی، فرصت کمتری برای ذخیره ی نشاسته وجود دارد و در نتیجه میزان پروتئین دانه افزایش می یابد. طبق نتایج حاصل تلقیح قارچ میکوریزا در شرایط کم آبی، درصد پروتئین دانه گندم را افزایش داد. به نظر می رسد در شرایط کم آبی قارچ میکوریزا در تشکیل و ثبات خاکدانه های خاک نقش مهمی را داشته و در نتیجه هدایت

**پروتئین دانه:** اثر متقابل معنی دار سه جانبه فاکتورهای آزمایش (زمان پایان بارندگی × آبیاری تکمیلی × قارچ میکوریزا) بر پروتئین دانه نشان دهنده پاسخ بسیار متغیر پروتئین دانه به این عوامل است (جدول ۴). هر چند در هر دو کشت دیم و آبیاری تکمیلی مناسب ترین زمان وقوع بارندگی های بهاره از نظر درصد پروتئین دانه ۲۰ اردیبهشت می باشد، گیاهان آبیاری شده درصد پروتئین بالاتری داشتند. به طوری که بیشترین درصد پروتئین دانه (۲۱/۹۸ درصد) مربوط به آبیاری تکمیلی گیاهانی میکوریزایی بوده که آخرین بارندگی ۲۰ اردیبهشت را داشتند. در حالی که کمترین درصد پروتئین دانه (۱۳/۳۱ درصد) از گیاهان غیر میکوریزایی کشت دیم با آخرین بارندگی ۱۷ خرداد به دست آمد (شکل ۹-الف).

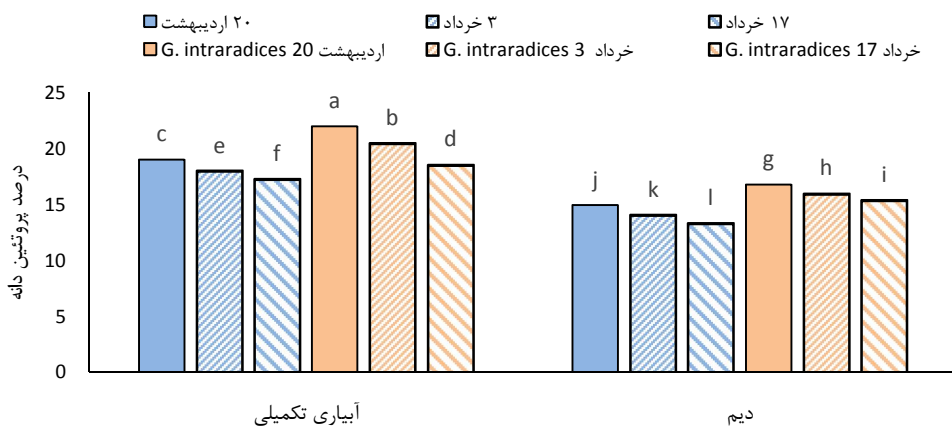
برهمکنش معنی دار ( $P \leq 0.01$ ) بین سال کشت و آبیاری تکمیلی بر روی پروتئین دانه (جدول ۴)، منجر به تولید دانه با بیشترین مقدار پروتئین (۲۰/۳۸ درصد) در گیاهان با آبیاری تکمیلی شد. با این حال همواره مقادیر پروتئین دانه در سال دوم نسبت به سال اول بیشتر است (شکل ۹-ب).



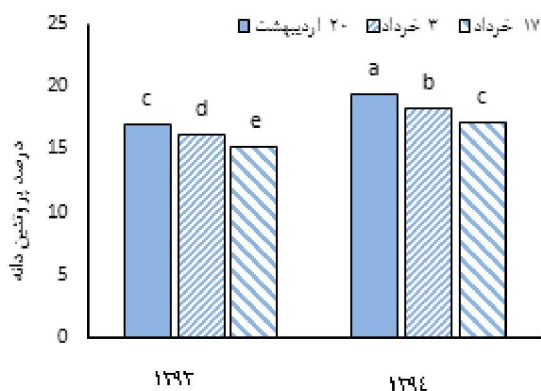
نمودند که با افزایش شدت تنش کم آبی در گیاهان میکوریزایی و غیر میکوریزایی غلظت آهن، روی، مس، بر و درصد پروتئین دانه افزایش نشان داد.

هیدرولیتیکی خاک بهبود یافته و باعث توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود جذب آب و عناصر غذایی شده است. نتایج این تحقیق با نتایج جورج و همکاران (۱۹۹۴) مطابقت دارد. اویگک (۲۰۰۱) گزارش

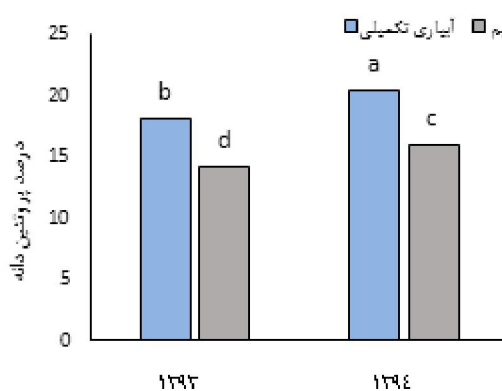
### الف



### ج



### ب



شکل ۹ - مقایسه میانگین پروتئین دانه تحت تاثیر برهمکنش پایان بارندگی × آبیاری تکمیلی × قارچ میکوریزا (الف)، سال × آبیاری (ب) و سال × پایان بارندگی (ج). حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد

تکمیلی مقادیر عملکرد دانه در گیاهان همزیستی با قارچ میکوریزا در قطع بارندگی دیر هنگام ۱۷ خرداد به طور معنی داری افزایش پیدا کرده است. با این حال همواره عملکرد دانه گندم در شرایط آبیاری تکمیلی نسبت به کشت دیم بیشتر است. بطوری که بیشترین عملکرد دانه (۱۳۲۶/۵۵ کیلوگرم در هکتار) از

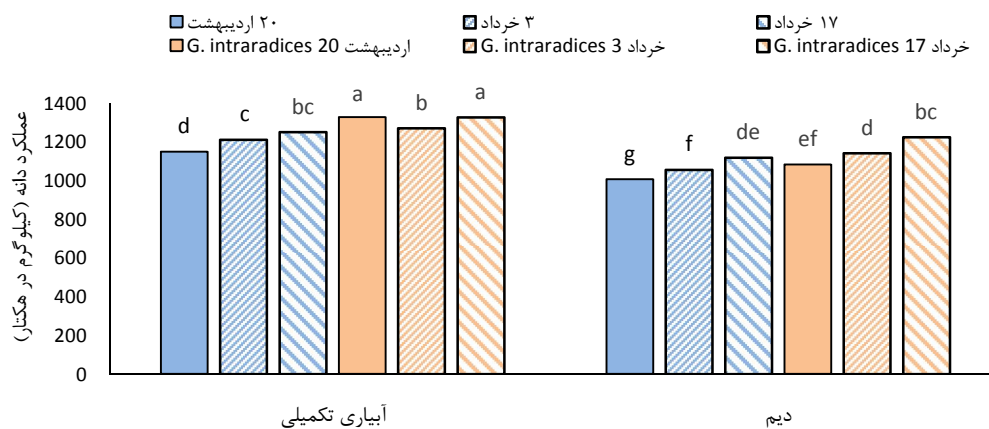
**عملکرد دانه:** برهمکنش معنی دار سه جانبه فاکتورهای آزمایشی (پایان بارندگی × آبیاری تکمیلی × همزیستی با قارچ میکوریزا) نشان داد که پاسخ عملکرد گیاه به آبیاری تکمیلی بسته به وقوع بارندگی در گیاهان میکوریزایی متفاوت است (جدول ۴). بطوری که در هر دو کشت دیم و آبیاری



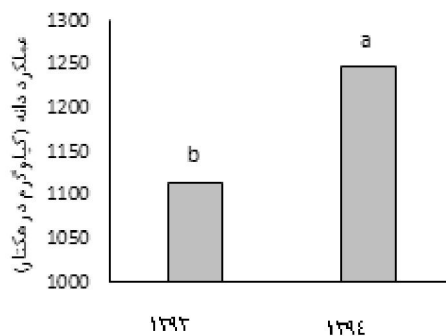
گیاهان غیرمیکوریزی در شرایط دیم مشاهده شد (شکل ۱۰- الف). اثر سال بر عملکرد دانه معنی دار بود (جدول ۳). بطوری که عملکرد دانه گندم در سال دوم آزمایش ۱۲۴۷/۷۱ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید، اما در سال اول آزمایش عملکرد به میزان ۱۳۲/۹۵ کیلوگرم کمتر از سال دوم آزمایش بود (شکل ۱۰- ب).

گیاهان آبیاری شده در همزیستی با قارچ میکوریزا در شرایطی که بارندگی تا ۱۷ خرداد ادامه داشت به دست آمد. با این حال عملکرد دانه، نسبت به زمانیکه اتمام بارندگی بهاره ۲۰ اردیبهشت اتفاق افتاده بود تفاوت معنی داری نشان نداد. با این حال کمترین عملکرد دانه (۱۰۰۶/۰۰ کیلوگرم در هکتار) در پایان زود هنگام بارندگی بهاره (۲۰ اردیبهشت) از

## الف



## ب



شکل ۱۰- مقایسه میانگین عملکرد دانه تحت تاثیر برهمکنش پایان بارندگی × آبیاری تکمیلی × همزیستی با قارچ میکوریزا (الف) و سال (ب). حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

میسیلیوم‌های خارجی خود در منافذ ریز خاک که امکان ورود ریشه‌های موئین برای جذب آب وجود ندارد، آب و عناصر غذایی را جذب و به گیاه منتقل می کند و در نتیجه باعث افزایش عملکرد دانه می گردد (ساجدی و رجالی، ۱۳۹۰). گیاهان

بنابراین با توجه به نتایج حاصله شرایط کم آبی که باعث کاهش غلظت بیشتر عناصر غذایی می گردد، تلقیح گیاهان با قارچ میکوریزا اثرات نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان تعدیل می کند. بطوری که قارچ میکوریزا از طریق انتشار

میکوریزایی از طریق افزایش سطح برگ و افزایش مقدار تثبیت CO<sub>2</sub> به ازای واحد وزن برگ می‌تواند سرعت فتوسنتز خود را افزایش دهند تا نیازهای همزیست خود را تامین نمایند ( Copetta et al., 2006).

### نتیجه‌گیری کلی

بررسی‌های طولانی مدت آمار هواشناسی نشان می‌دهد که توزیع کمی و کیفی بارندگی در اغلب مناطق کشت گندم در کشور و بویژه استان آذربایجان غربی، بسیار پراکنده بوده و برای دستیابی به عملکردهای قابل قبول، غیرقابل اعتماد است. در این مناطق گیاهان کشت شده در پاییز و یا زمستان معمولاً در دوره رشد رویشی خود تحت تاثیر تنش خشکی متناوب قرار می‌گیرند و در مرحله رشد زایشی با تنش خشکی نهایی مواجه می‌شوند. نتایج این مطالعه نشان داد که در منطقه مورد مطالعه انجام یک بار آبیاری عملکرد دانه گندم را در ارقام رایج منطقه نسبت به شرایط دیم بصورت معنی‌داری افزایش می‌دهد. با این حال همواره عملکرد دانه گندم در شرایط آبیاری تکمیلی نسبت به کشت دیم بیشتر است. بطوری که بیشترین عملکرد دانه (۱۳۲۶/۵۵ کیلوگرم در هکتار) از گیاهان آبیاری

شده در همزیستی با قارچ میکوریزا در شرایطی که بارندگی تا ۱۷ خرداد ادامه داشت به‌دست آمد، ولی عملکرد دانه، نسبت به زمانیکه اتمام بارندگی بهاره ۲۰ اردیبهشت اتفاق افتاده بود تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کمترین عملکرد دانه (۱۰۰۶ کیلوگرم در هکتار) در پایان زود هنگام بارندگی بهاره (۲۰ اردیبهشت) از گیاهان غیرمیکوریزایی در شرایط دیم مشاهده شد. در مطالعه حاضر، مشخص شد که قارچ مورد بررسی (*G. intraradices*) و سطوح مختلف آبیاری از نظر نیتروژن (پروتئین)، فسفر و پتاسیم دانه، کیفیت علوفه و عملکرد دانه گندم نسبت به گیاهان بدون تلقیح با میکوریزا برتری نشان دادند. تنش خشکی در کشت دیم، غلظت و محتوای فسفر را در گیاهان میکوریزایی و غیرمیکوریزایی کاهش داد. با این وجود، رابطه میکوریزایی غلظت و محتوای فسفر را در گندم افزایش داد. در نتیجه در شرایط کم‌آبی با مدیریت صحیح منابع آب و کاربرد کودهای بیولوژیک علاوه بر کاهش میزان آب مصرفی و تقویت گیاه، می‌توان ضمن غنی‌سازی محصولات زراعی گامی مؤثر در راستای کشاورزی پایدار برداشت.

### منابع:

آقابائی فاطمه، رئیسی فایز، نادیان حبیب اله. ۱۳۹۰. اثر همزیستی میکوریزایی بر جذب عناصر غذایی توسط برخی ژنوتیپ‌های تجاری رقم بادام در یک خاک لومی شنی. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) ۲۵(۲): ۱۳۷-۱۴۷

آمارنامه کشاورزی ۱۳۹۲. دفتر آمار و فن آوری اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی.

احیایی حمیدرضا، پارسا مهدی، کافی محمد، نصیری محلاتی مهدی. ۱۳۸۹. اثر محلول پاشی متانول و آبیاری رژیم در عملکرد و اجزای عملکرد ارقام نخود. مجله پژوهش‌های حبوبات ایران ۱(۲): ۳۷-۴۸

- اسدپور سیروس، مدنی حمید، کلارستانی کیومرث، محمدی علیرضا. ۱۳۸۵. اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه در چهار رقم گندم دوروم (*Triticum durum* L.). یافته‌های نوین کشاورزی (۲): ۹۳-۱۰۲
- امیرآبادی محسن، رجالی فرهاد، اردکانی محمدرضا، برجی محسن. ۱۳۸۸. تأثیر کاربرد مایه تلقیح ازتوباکتر و قارچ میکوریزا بر جذب برخی عناصر معدنی توسط ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ در سطوح مختلف فسفر. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). (۱)۲۳: ۱۰۷-۱۱۵
- بهداد ماریه، پاک نژاد فرزاد، وزان سعید، اردکانی محمدرضا، نصیری محمد. ۱۳۸۸. اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد در مراحل مختلف رشد ارقام گندم. پژوهش‌های به‌زراعی (۲): ۱۴۳-۱۵۷
- حبیب‌زاده یعقوب، زردشتی محمدرضا، پیرزاد علیرضا، جلیلیان جلال. ۱۳۹۱. اثر قارچ ریشه‌های آربوسکولار بر شاخص‌های رشد و عملکرد دانه ماش تحت تنش کم آبی [*Vigna radiata* (L.) Wilczk] مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۶۰: ۵۷-۶۹
- حبیب‌زاده یعقوب، زردشتی محمدرضا، پیرزاد علیرضا، جلیلیان جلال، عیوضی علیرضا، طایفه رضایی حیدر. ۱۳۹۲. اثر میکوریزا آربوسکولار بر کار آبی مصرف آب و عملکرد دانه ماش در شرایط تنش آبی. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی). ۱۰۰: ۶۸-۷۵
- حبیبی سمانه، فرزانه معصومه، مسگریاشی موسی. ۱۳۹۲. تأثیر تلقیح قارچ میکوریزا بر رشد و جذب عناصر غذایی گندم در شرایط شور. تحقیقات آب و خاک ایران (۳): ۴۴-۳۱۱-۳۲۰
- حسینی فریده سادات، نظامی احمد، پارسا مهدی، حاج محمدنیا قالیباف کمال. ۱۳۹۰. اثر آبیاری تکمیلی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام عدس (*Lens culinaris* Medik) در شرایط آب و هوایی مشهد. آب و خاک (۳): ۶۲۵-۶۳۳
- رهبری علی، سینکی جعفر مسعود، زارعی مهرناز. ۱۳۹۳. تأثیر کود آلی فسفره و کم‌آبیاری بر عملکرد ارقام ارزن علوفه‌ای. دانش زراعت (۱۰)۵: ۲۷-۳۸
- ساجدی نورعلی، رجالی فرهاد. ۱۳۹۰. تأثیر تنش خشکی، کاربرد روی و تلقیح میکوریزا بر جذب عناصر کم مصرف در ذرت. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) (۲): ۸۳-۹۲
- فرنیا امین، نخجوان شهرام، خدایی فرید، شاهوردی محمد. ۱۳۹۳. تأثیر تراکم کاشت بر خصوصیات فیزیولوژیکی رشد و عملکرد گندم دیم در بروجرد. یافته‌های نوین کشاورزی (۴): ۲۹۱-۳۰۲
- یعقوبیان یاسر، پیردشتی همت اله، محمدی گل تپه ابراهیم، فیضی اصل ولی، اسفندیاری عزت اله. ۱۳۹۱. ارزیابی واکنش گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) رقم آذر ۲ به همزیستی با قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار و شبه میکوریزا در سطوح مختلف تنش خشکی. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی (۱)۴: ۶۳-۷۳

- Aliasghar zad N, Bolandnazar SA, Neyeshabouri MR, Chapar zadeh N. 2009. Impact of soil sterilization and irrigation intervals on P and K acquisition by mycorrhizal onion (*Allium cepa* L.). *Biologia* 64(3): 512-515
- Association of Official Analytical Chemists. 2005. Official Methods of Analysis of AOAC, Vol. II. Association of Official Analytical Chemist, 18<sup>th</sup> Edition, Washington DC.
- Benami A, Ofen A. 1984. Irrigation Engineering-Sprinkler, Trickle and Surface Irrigation: Principles, Design and Agricultural Practices. Irrigation Engineering Scientific Publications.
- Bremner JM, Mulvaney CS. 1982. Total nitrogen. In: Page et al. (eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy Monograph Series, Vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 895-926
- Boomsma CR, Vyn TJ. 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research* 108:14-31
- Copetta A, Lingua G, Berta G. 2006. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. *Mycorrhiza* 16: 485-494
- Elwan LM. 2001. Effect of soil water regimes and inoculation with mycorrhizae on growth and nutrients content of maize plants. *Zagazig Journal of Agricultural Research* 28:163-172
- George E, Romheld V, Marschner H. 1994. Contribution of mycorrhizal fungi to micronutrient uptake by plants. In: Manthey JA, Crowley DE, Luster DG (eds.) *Biochemistry of Metal Micronutrients in the Rhizosphere*. Lewis, London. 93-109 pp
- Habibzadeh Y, Jalilian J, Zardashti MR, Pirzad A, Eini O. 2015 Some morpho-physiological characteristics of Mung Bean mycorrhizal plant under different irrigation regimes in field condition. *Journal of Plant Nutrition* 38(11):1754-1767
- Jaderlund L, Arthurson V, Grandhall U, Jansson JK. 2008. Specific interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting bacteria: as revealed by different combinations. *FEMS Microbiology Letters* 287(2): 174-180
- Neumann E, George E. 2004. Colonisation with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* (Nicol. and Gerd.) enhanced phosphorus uptake from dry soil in *Sorghum bicolor* L. *Plant and Soil* 261(1): 245-255
- Ortas I, Sari N, Akpınar C, Yetisir H. 2011. Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae* 128: 92-98
- Oweis T. 1997. Supplemental Irrigation: A highly efficient water-use practice. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria
- Oweis T, Zeidan H, Taimeh A. 1992. Modeling approach for Optimizing. Proceedings of the International Conference on Supplemental Irrigation and Drought Water Management, Bari, Italy. 1st Agron. Mediterraneo, CIHEAM/MAI-B, Bari
- Pei F, Li X, Liu X, Lao C. 2013. Assessing the impacts of droughts on net primary productivity in China. *Journal of Environmental Management* 114: 362-371
- Rossi AM, Juarez MD, Samman NC, Villarreal M. 2004. Nitrogen contents in food: A comparison between the Kjeldahl and Hach methods. *Anales des la Asociacion Quimica Argentina* 92(4): 99-108
- Smith SE, Read D. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. Third Edition, Academic Press, San Diego, California, USA, 769 pp

- Stone LR, Schlegel AJ. 2006. Yield–water supply relationships of grain sorghum and winter wheat. *Agronomy journal* 98: 1359-1366
- Subramanian KS, Bharathi C, Jegan O. 2008. Response of maize to mycorrhizal colonization at varying levels of zinc and phosphorus. *Biology and Fertility of Soils* 45: 133–144
- Troehza loynachan TE. 2003. Endomycorrhizal fungi survival in continuous corn, soybean and fallow. *Agronomy Journal* 95(1): 224-230

## Effect of mycorrhizal symbiosis and supplementary irrigation on wheat grain yield and quality under variable end-season rainfall conditions

M. Mazlomi Mamyandi, A. Pirzad\*, J. Jalilian

*Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran*

### Abstract

The effect of supplementary irrigation on mycorrhizal symbiosis of *Triticum aestivum* L. cv. Azar-2 at variable end season rain interruption (spring), was assessed by a 2-year factorial experiment based on randomized complete block design in three replications at West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center in two years (2014 and 2015). Treatments included rain interrupted (30 May, 13 June and 27 June), mycorrhizal symbiosis (non-mycorrhizal plants and inoculation with *G.intraradices*) and irrigation (rainfed and one supplementary irrigation). Results indicated that the supplementary irrigation increased forage quality (phosphorus and calcium) and grain nutrients (phosphorus) of wheat in comparison with rainfed condition. The highest seed protein content (22%) and seed yield (1327 kg/ha) was observed in irrigated mycorrhizal plants with precipitation interrupted on 30 May and 27 June, respectively. Generally in rainfed, forage and grain quality was improved by supplementary irrigation regardless interrupted precipitation. However, mycorrhizal symbiosis enhanced the wheat quality and yield (15% in supplementary irrigation and 10% in rainfed). It can be concluded that under drought conditions, appropriate water resources management and biofertilizers application would result in better water use efficiency and plants growth, and biofortification as well as sustainable agriculture.

**Keywords:** fungus inoculum, rainfall interruption, seed protein, seed phosphorous, yield

---

\* Corresponding author: a.pirzad@urmia.ac.ir Received: 2016/08/24 Accepted: 2017/02/21