نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار/ جلد ۲۷ شماره ۴/ زمستان ۱۳۹۶

اثر همزیستی میکوریزایی در شرایط متغیر بارش انتهای فصل بر عملکرد و کیفیت چاودار دیم (*Secale cereal* L.)

محمود مظلومی مميندی[۱]، علیرضا پیرزاد[۲*]، جلال جلیلیان[۲]

تاریخ دریافت: ۹۶/۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۲۸

۱-دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار زراعت، گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*مسئول مکاتبه: Email: alirezapirzad@yahoo.com, a.prizad@urmia.ac.ir

چکیده

آبیاری تکمیلی همزمان با همزیستی میکوریزایی در چاودار (*Secale cereal* L.) یکی از روش‌های پیامدداردرافزایش کیفیت وکمیت عملکرد می‌باشد. برای بررسی همزیستی میکوریزایی چاودار دیم، آزمایشی دوساله به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ در مرکز تحقیقات کشاورزی آذربایجان غربی اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل زمان پایان بارندگی در۲۰ اردیبهشت، ۳ خرداد و ۱۷ خرداد، همزیستی قارچ (شاهد و قارچ گونه *Glomus intraradices*) و آبیاری دیم و یک نوبت آبیاری تکمیلی بودند. همزیستی میکوریزایی تحت شرایط آبیاری تکمیلی باعث افزایش معنی‌دار عناصر فسفر، کلسیم و خاکستر در اندام هوایی چاودار، و پتاسیم و پروتئین دانه در برابر کشت دیم شد. همزیستی میکوریزایی کیفیت اندام هوایی و دانه را بهبود بخشید. البته بهبود عملکرد تحت شرایط آبیاری تکمیلی نسبت کشت دیم بیشتر بود. بیشترین درصد پروتئین دانه (۱۸/٤۳ درصد) مربوط به گیاهان میکوریزایی بود که آخرین بارندگی را در ۲۰ اردیبهشت دریافت کرده بودند، بیشترین اندازه عملکرد دانه مربوط به سال دوم در شرایط آبیاری تکمیلی حدود ۱٤۱۲/۹٦ کیلوگرم در هکتار بود که بارندگی تا ۱۷خرداد ادامه داشت. کیفیت اندام هوایی و دانه چاودار در کشت دیم با یک نوبت آبیاری تکمیلی بهبود می‌یابد و رابطه میکوریزایی صرف نظر از زمان پایان بارندگی در اندازه بهبود کیفیت و عملکرد دانه پیامددار بود. آبیاری تکمیلی و ادامه بارندگی تا ۱۷ خرداد در گیاهان میکوریزایی، عملکرد دانه را ۲۳ درصد در برابر عملکرد گیاهان نامیکوریزی دیم در پایان زود هنگام بارندگی بهاره افزایش داد.

واژه های کلیدی: اندام هوایی، چاودار دیم، قارچ ریشه، قطع بارش، کیفیت دانه

Effect of Mycorrhizal Symbiosis on the Yield and Quality of Rainfed Rye (*Secale cereal* L.) under Varying End Season Rainfall

Mahmoud Mazlomi Mamyandi[1], Alireza Pirzad[2*], Jalal Jalilian[2]

Received: April 9, 2017 Accepted: November 19, 2017
1- PhD Student of Agronomy, Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia, Iran.
2-Assoc. Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia, Iran.
*Corresponding Author: Email: alirezapirzad@yahoo.com, a.prizad@urmia.ac.ir

Abstract

Supplementary irrigation along with mycorrhizal symbiosis is one of the effective methods to increase quality and quantity of performance. To evaluate mycorrhizal symbiosis of rainfed Rye (*Secale cereal* L.) plants, a 2-year factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications at West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center during 2014 and 2015. Treatments were rain interrupted (30 May, 13 June and 27 June), mycorrhizal symbiosis (non-inoculated plants and inoculation with *Glomus intraradices*) and irrigation (rainfed and one time supplementary irrigation).Mycorrhizal symbiosis under supplementary irrigation significantly increased the forage phosphorus, calcium and ash, and grain potassium and protein more than rainfed condition. The mycorrhizal symbiosis enhanced the forage and grain quality. However, the yield enhancement under supplemental irrigation was better than rainfed condition. The highest grain protein concentration (18/43 %) belonged to mycorrhizal plants exposed to rainfall continuing 20 May. The highest grain yield in the second year under supplementary irrigation of about 1412.96 kg/ha, which have precipitation until 17 June. In general, rainfed rye forage and grain quality were improved with one time supplemental irrigation, and mycorrhizal relationship affedcted the grain quality and yield regardless rainfall interruption. In mycorrhizal rye plants, rainfall continuing until 17 June with supplemental irrigation was increased the grain yield (23 %) more than that rainfed condition in early rain interrupted.

Keywords: Aerial Parts, Grain Quality, Mycorrhizae, Rainfall Interupted, Rainfed Rye

مقدمه

غلات مهمترین منبع غذایی انسان می باشد که نزدیک ۷۰-۶۵ ٪ کربوهیدرات ها، پروتئین ها، و بخش بزرگی از ویتامین های گروه B، نمک ها و عناصر معدنی مردم ایران از راه غلات و فرآورده های آن تامین می شود. گندم، چاودار، جو، یولاف، برنج ، ارزن و ذرت در گروه غلات قرار می گیرند که در این میان چهار غله اول، جزو غلات اصلی طبقه بندی می گردند (امام ۲۰۱۱). .چاودار با نام علمی *Secale cereal* L گیاهی از خانواده گندمیان (Poaceae)، و بومی کشور های آسیای مرکزی، سوریه و ایران است که مهمترین غله مقاوم به سرما است. این گیاه خوشه های دراز و برگ های پهن دارد،

بیشتر در زمین‌های خشک و آهکی می روید، و دانه هایش برای تهیه آرد و نان به کار می‌رود. مناطق کشت عمده این گیاه روسیه، لهستان و کشور های اسکاند یناوی می باشد. چاودار را می توان یک گیاه اندام هوایی با ارزش معرفی کرد. بلندی ساقه چاودار ۱٤۰ تا ۱۹۰سانتی‌متر متغیر می‌باشد، و ۱۰ تا ۱۵ روز پیش از گندم به سنبله می‌رود (لورنز کاتمن ۲۰۱۵؛ استپین و همکاران ۲۰۱٦). امروزه ضرورت افزایش تولیدات و کیفیت محصولات کشاورزی منجر به بهره‌گیری مکرر از کودهای شیمیایی گردیده است، کود های زیستی که از اجزای ضروری کشاورزی ارگانیک هستند، نقش حیاتی در حفظ و پایداری بلند مدت حا صل خیزی خاک ایفا می کنند (میشرا و همکاران ۲۰۱۳).

در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان، کم آبی تولید محصولات زراعی را محدود می‌کند. تنش خشکی یکی از مهمترین فا کتورهای غیر زیستی است که رشد و عملکرد گیاه را محدود می‌کند (کرامر و بویر۱۹۹۵). ایران نیز به لحاظ قرار گرفتن در ناحیه خشک و نیمه خشک جهان از نزولات آسمانی محدودی برخوردار است. به علت کافی نبودن بارندگی، سطوح چشمگیری از دیم زار ها در برخی از سال ها قابل برداشت نبوده و یا عملکرد بسیار کمی دارند. بنابراین در مناطقی که اندازه و پراکنش زمانی بارندگی ناشایست است، آبیاری تکمیلی برای تولید مطلوب دیم قابل توصیه است (اویس ۱۹۹۷). بنابراین تنش خشکی مهم ترین عامل محدود کننده تولید محصولات در سیستم های کشاورزی در این مناطق خشک ونیمه خشک به حساب می اید (دبک و عبدالله ۲۰۰٤). در این مناطق، آب مهمترین منبع محدود برای تولید محصولات کشاورزی است. به طوری که در اثر خشکی میانگین تولید گیاهی بیش از ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (پی و همکاران ۲۰۱۳). بنابراین کارآیی مصرف آب، برای نظام های زراعی مناطق خشک راهبرد منا سبی به شمار می‌رود. در چنین شرایطی، می‌با یست به را هکار های مدیریت کارآمد بهره برداری از آب روی آورد. آبیاری تکمیلی عملیاتی با کارایی بالاست که برای افزایش تولید محصولات کشاورزی و بهبود زندگی در نواحی خشک از پتانسیل بالایی برخوردار است (اویس ۲۰۰٤) .

سیستم آبیاری تکمیلی (کاربرد اندازه محدودی آب در زمان توقف بارندگی و رخداد تنش کمبود آب به ویژه خشکی آخر فصل رشد، برای تامین آب کافی برای تداوم رشد بوته ها، و افزایش و ثبات عملکرد دانه) معمولا در مناطقی با ۳۰۰ تا ٦۰۰ میلی‌متر بارندگی سالیانه، به کار می‌رود که می‌تواند به عملکردی پایدار و رضایت بخش در دیم زار ها، بویژه غلات منجر شود (استون و شلگل ۲۰۰٦؛ یعقوبیان و همکاران ۲۰۱۲). اندازه و زمان آبیاری تکمیلی در بهبود عملکرد دیم پیامددار است. بنابراین باید به گونه‌ای برنامه ریزی شود که بتوان با کمترین اندازه آب قابل دسترس، به عملکرد بهینه و مطلوب دست یافت (ا حیایی و همکاران ۲۰۱۱).

روابط قارچ ریشه‌ای (میکوریزا) می‌تواند تعادل آبی گیاهان را در شرایط فاریاب و در تنش خشکی تحت تأثیر قرار دهد که علت اصلی افزایش عملکرد محصول در گیاهان مایه زنی شده با میکوریزا در شرایط تنش خشکی، در نتیجه جذب بیشتر آب و عناصر معدنی (بخصوص جذب فسفر) می‌باشد (حبیب زاده و همکاران ۲۰۱٤). همزیستی قارچ با ریشه گیاه یکی از مهمترین روابط متقابل مفید در اکوسیستم های زراعی است که اثرات مثبت آن بر رشد، فیزیولوژی و اکولوژی گیاهان مختلف اثبات شده است (اصغری ۲۰۰۸). جهت رسیدن به عملکرد مطلوب و دستیابی به تاثیر آبیاری تکمیلی در شرایط دیم در گیاه چاودار میکوریزایی و نامیکوریزی، همانند شایسته ترین غله برای تامین دانه وپروتئین، و از سوی دیگر جبران بخشی از خسارت ناشی از کمبود آب آخر فصل رشد، بررسی عملکرد کمی و کیفی چاودار دیم تحت شرایط

متغیر پایان بارندگی های بهاره ضرورت داشته و از اهداف اصلی این طرح می‌باشد همچنین در شرایط ناشایست برای تولید دانه در اثر نبود کفایت بارندگی، بررسی پتانسیل این گیاه تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی برای تولید اندام هوایی، از اهداف این پژوهش می-باشد.

مواد و روش ها

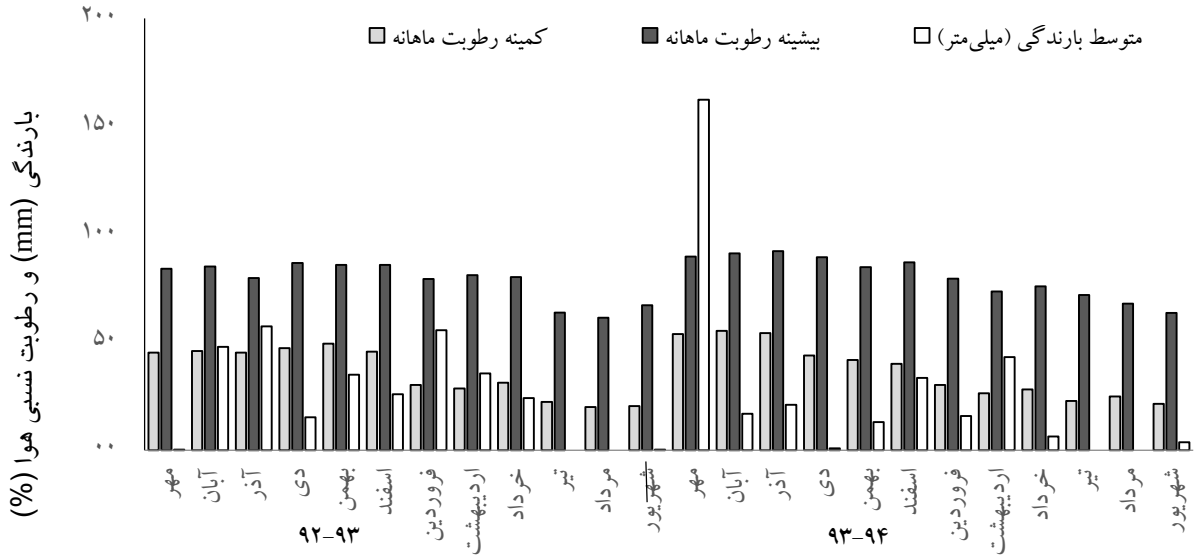
این آزمایش دو ساله در ایستگاه ساعتلو مرکز تحقیقات کشاورزی آذربایجان غربی، واقع در ۲۷ کیلومتری شهرستان ارومیه (عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ٤۳ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ٤٥ درجه شرقی و با بلندی ۱۳۲۹ متر از رویه دریا) در سال های ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ به گونه فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا 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 همریستی با گونه *Glomus intraradices* در دو شرایط آبیاری تکمیلی به روش آبیاری بارانی و در گام آشکار شدن ٦۰ درصد سنبلچه های چاودار و کشت دیم بودند.. اندازه بارش‌ها در این دو سال قابل توجه بود. ضمن اینکه در روز قطع بارندگی فرض بر این بود که آخرین بارندگی موثر با ۲۰ میلی‌متر بارندگی موثر اتفاق افتاده است. یعنی در روزهای قطع بارندگی برای همان تیمار قطع بارندگی آبیاری به صورت بارانی و به اندازه ۲۰ میلی‌متر تامین گردید. دانه های چاودار از مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان غربی تهیه شد. دانه های در عمق ۳ سانتی متری خاک مزرعه با شیب ٤ درصد و به گونه ردیفی به فواصل ۱۵ سانتی متر، در کرت هایی به ابعاد ٤ در ٤/٥ متر در دهه یکم آبان هر دو سال کاشته شدند. دانه های با تراکم ٤۲۰ بوته در مترمربع در روی ردیف ها به گونه شیاری کاشته شدند (فرنیا و همکاران ۲۰۱٤). زادمایه مایکوریزا گونه *G. intraradices* (آمیخته ای از شن و ماسه استریل، هیف قارچی و اسپور(۲۰ اسپور در گرم زادمایه و تکه های میکوریزای ریشه، تهیه شده از گروه گیاهپزشکی دانشگاه ارومیه) در درون شیار های کاشت به مقدار ۸۰ گرم در مترمربع قرار گرفت (جادرلوند ۲۰۰۸)، و دانه های بلا فاصله بر روی زادمایه کاشته شدند. کارهای مبارزه با علف های هرز به گونه دستی انجام گرفت. کود نیتروژن به اندازه ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار اوره (٦۰ کیلوگرم هنگام کاشت و بقیه به گونه سرک در گام پنجه زنی)، و کود فسفر به اندازه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (پیش از کاشت به گونه سوپر فسفات تریپل) به مزرعه افزوده شدند. اندازه بارندگی ماهیانه در هر دو سال در شکل ۱ ارایه شده است. برای اینکه ادامه بارندگی‌ها بر روی تیمار های آخرین بارندگی در ۲۰ اردیبهشت و ۳ خرداد تاثیر نداشته باشد، حفاظ هایی در برابر باران (شلترهایی) بر روی این یگان‌های آزمایشی با توجه به پیش بینی سازمان هواشناسی قرار داده شد. اندازه آب آبیاری تکمیلی برپایه درصد رطوبت خاک و رساندن آن به گنجایش زراعی با بهره گیری از رابطه زیر محاسبه و به خاک مزرعه افزوده شد (بنامی و اوفن ۱۹۸٤).

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

که دراین رابطه، FC، درصد وزنی رطوبت درحد گنجایش مزرعه ای، WP ، درصد وزنی رطوبت در نقطه پژمردگی، BD، جرم مخصوص ظاهری خاک (کیلوگرم بر مترمکعب)، D، عمق توسعهٔ ریشه (متر)، ASM، رطوبت خاک مزرعه در زمان پیش از آبیاری، و A ، مساحت هر کرت (مترمربع) می‌باشد. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱ –نتایج تجزیه خاک مزرعه محل آزمایش

هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته pH	کربن آلی (%)	فسفر	پتاسیم	شن	رس	سیلت	بافت خاک
			mg/kg			(%)		
۰/٦٢٤	۷/۸۰	۱/۰۸	۸	٤۱۰	۱۲	٤۲	٤٦	رس سیلتی



شکل ۱- بارندگی ماهیانه و رطوبت نسبی هوا در دو سال آزمایش

برای اندازه گیری کارکرد گیاه در ساخت و کیفیت اندام هوایی، کل بخش هوایی چاودار در گام شیری دانه با حذف کناره ها از هر طرف از مساحت یک مترمربع از هر کرت از سطح زمین کف بر شده و برداشت شد. برای اندازه گیری کارکرد گیاه در ساخت و کیفیت دانه، در گام رسیدگی فیزیولوژیک دانه با حذف کناره ها از هر طرف از مساحت یک مترمربع از هر کرت از سطح زمین برداشت شد. نمونه های مربوط به هر تکرار به گونه مجزا در سایه خشک و آسیاب شدند. سپس به آزمایشگاه ممتاز دامپزشکی استان آذربایجان غربی منتقل و اندازه رطوبت، خاکستر، پروتئین، کلسیم و فسفر اندام هوایی، و همچنین اندازه رطوبت، خاکستر، پروتئین، پتاسیم و فسفر دانه اندازه گیری شد. اندازه گیری عناصر یادشده طبق استاندارد A.O.A.C به روش هضم تر با بهره گیری از اسید های نیتریک ، کلریدیک و پرکلریدیک صورت گرفت (Association of Official Analytical Chemists, 2005). برای اندازه‌گیری فسفر دانه و اندام هوایی از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل GEN way 630 ساخت ژاپن، و برای اندازه گیری پتاسیم دانه و کلسیم اندام هوایی از دستگاه فلیم فتومتر مدل JENWAYpfp7 بهره گیری گردید. رطوبت اندام هوایی توسط دستگاه رطوبت سنج مدل Sortorius ساخت آلمان اندازه گیری شد. خاکستر اندام هوایی از سوزاندن در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت بدست آمد (بلانک ۱۹۹۲).

اندازه گیری درصد پروتئین دانه و برگ، توسط دستگاه کجدال مدل Vapodest 20 ساخت آلمان اندازه گیری شد (بریمر و مولوانی ۱۹۸۲). درصد پروتئین از حاصل ضرب نیتروژن در عدد ۵/۸۳ به دست می‌آید (AACC 2000).

(۱) ۱۰۰ ×{وزن نمونه/ (۰/۰۰۰۱٤ × اندازه اسید مصرف شده در تیتراسیون)}= درصد نیتروژن

(۲) ۵/۸۳× درصد نیتروژن = درصد پروتئین

تجزیه واریانس داده ها با بهره‌گیری از نرم افزار آماری SAS 9.1 انجام گردید. میانگین صفات بررسی شده با بهره‌گیری از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند

نتایج و بحث

عملکرد و کیفیت اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس مرکب (داده های دوساله) نشان داد که برهمکنش سال×پایان بارندگی× میکوریزا× آبیاری تکمیلی بر روی فسفر و پروتئین اندام هوایی، برهمکنش پایان بارندگی×میکوریزا×آبیاری تکمیلی بر روی کارکرد گیاه در ساخت اندام هوایی، برهمکنش‌های سال×میکوریزا×آبیاری تکمیلی، و سال×پایان بارندگی× آبیاری تکمیلی بر روی کلسیم اندام هوایی، برهمکنش‌های سال×پایان بارندگی بر روی خاکستر و کارکرد گیاه در ساخت اندام هوایی، سال×میکوریزا بر روی خاکستر اندام هوایی، و سال×آبیاری تکمیلی بر روی خاکستر و کارکرد گیاه در ساخت اندام هوایی معنی‌دار شدند (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس پیامدهای آبیاری تکمیلی و همزیستی قارچ میکوریزایی گونه *G. intraradices* بر کیفیت و کارکرد گیاه در ساخت اندام هوایی چاودار با بارندگی گوناگون

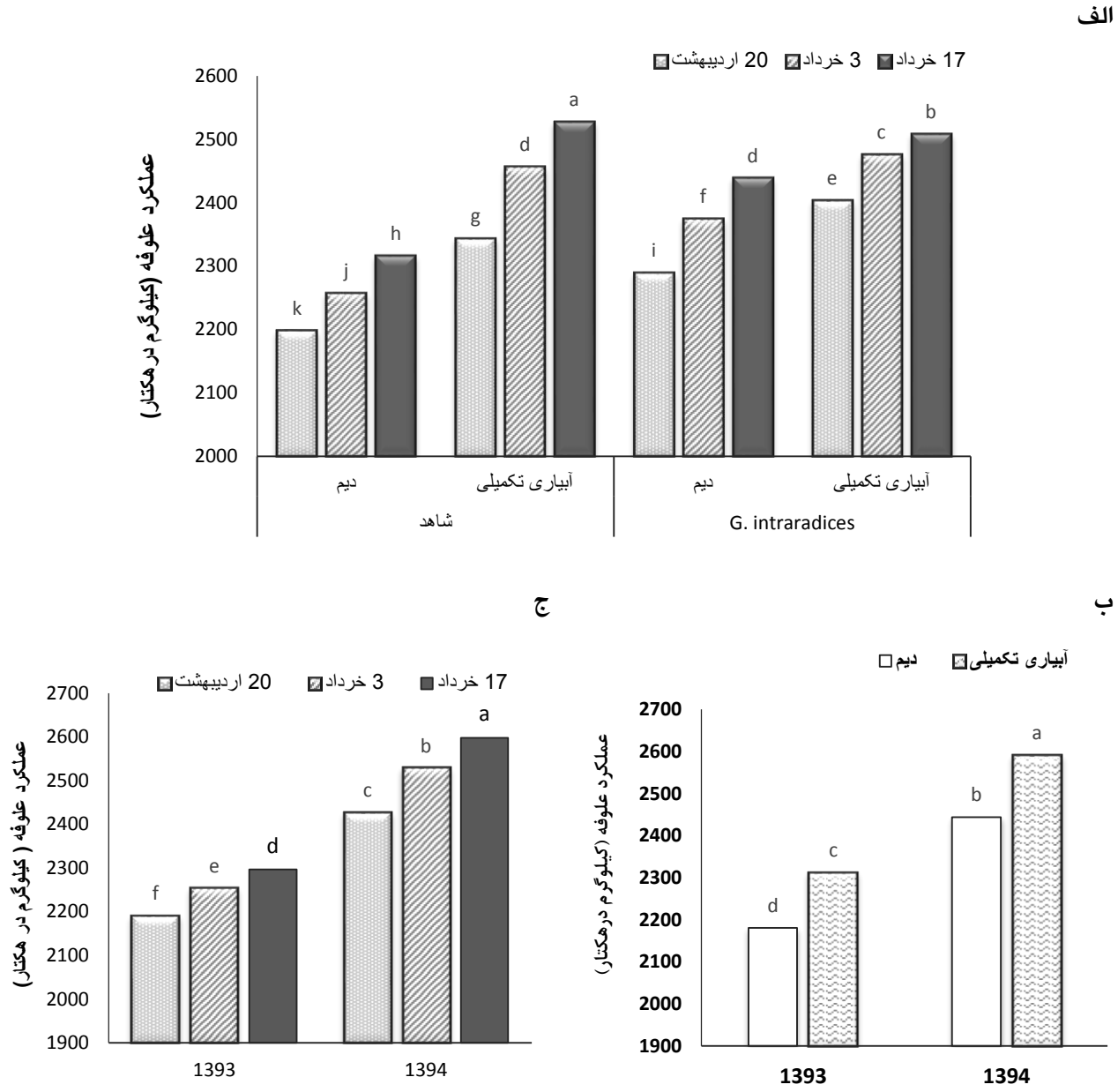
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد علوفه	خاکستر اندام هوایی	پروتئین اندام‌هوایی	فسفر اندام هوایی	کلسیم علوفه
سال	۱	۱۳۱۹۳۲۹/۵٦**	۷/٦۳**	۸۷/۷۷**	۰/۰۰۳**	۰/۷۲**
اشتباه آزمایشی (تکرار داخل سال)	٤	۱٤۰/۰٦	۰/۰۰٤	۰/۰۷۷	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۵
پایان بارندگی	۲	۱۱۷۲۹۷/۹۲**	٤/۱۳**	۰/٤٦**	۰/۰۲۰**	۰/۰٦٤**
میکوریزا	۱	۷٦۳۸۵/۱۲**	٤/۳۹**	٦/۹۱۲**	۰/۰۹۷**	۰/۳۱۲**
آبیاری تکمیلی	۱	۳۵۱۷۳۸/۲۰**	۱٤/۱۳**	۰/۸۹**	۰/۰۱۷**	۰/۰۹**
سال × پایان بارندگی	۲	٦۳۸٦/۵٦**	۰/۵۲**	۰/۵۰٤**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱^{ns}
سال × میکوریزا	۱	۲۳۵/۷۰^{ns}	۲/٦۵**	٤/٤۰**	۰/۰۵٦**	۰/۱۹**
سال × آبیاری تکمیلی	۱	۱۱۱۵/۵۷*	۸/۵۳**	۰/۵۷**	۰/۰۱**	۰/۰۵٦**
پایان بارندگی × میکوریزا	۲	۸۸٦/۷۳*	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۱۳**	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}
سال × پایان بارندگی × میکوریزا	۲	۰/۸٤^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۹۵**	۰/۰۰۰۲٤^{ns}	۰/۰۰۰۰٤^{ns}
پایان بارندگی × آبیاری تکمیلی	۲	٦۲۳/۳۱^{ns}	۰/۰۲۵^{ns}	۰/۰۹۷**	۰/۰۰۰۵**	۰/۰۰۲۲**
سال × پایان بارندگی × آبیاری تکمیلی	۲	۷/۵٦^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۰٦٦*	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۱۲*
میکوریزا × آبیاری تکمیلی	۱	۳٦۵۷۱/۱۵**	۰/۰۲۵^{ns}	۲/۳۹**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۳۹**
سال × میکوریزا × آبیاری تکمیلی	۱	۱۲٤/۵۳^{ns}	۰/۰۱٦^{ns}	۱/۵۳**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۲۳*
پایان بارندگی × میکوریزا × آبیاری تکمیلی	۲	٤۷٤٤/۱٤۰**	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۰۸۳*	۰/۰۰۳٤**	۰/۰۰۰۰٦^{ns}
سال×پایان‌بارندگی×میکوریزا×آبیاری‌تکمیلی	۲	۱۹/۵۲^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰٦۲*	۰/۰۰۰٤*	۰/۰۰۰۰۳^{ns}
اشتباه آزمایشی	٤٤	۲۵۲/۵۸	۰/۰۰۸۷	۰/۰۱۸۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰٤
ضریب تغییرات (٪)		۰/٦۷	۰/۸۷۵	۱/۱۳	٤/٤۹	۱/۷۳

*و ** و ns به ترتیب نشانگر معنی‌داری در سطوح احتمال پنج ، یک درصد و غیر معنی‌دار می‌باشد.

کارکرد گیاه در ساخت اندام هوایی

اندازه کارکرد گیاه در ساخت اندام هوایی در گیاهانی که آبیاری شده بودند (هم در گیاهان میکوریزایی و هم در گیاهان تیمار نشده) با ادامه بارندگی تا ۱۷ خرداد به گونه معنی‌داری افزایش پیدا کرده است. با این حال همواره در شرایط آبیاری تکمیلی کارکرد گیاه در ساخت اندام هوایی در برابر کشت دیم بیشتر بود. بیشترین کارکرد گیاه در ساخت اندام هوایی (۲۵۲٦/٦۹ کیلوگرم در هکتار) از گیاهان آبیاری شده تیمار نشده با قارچ میکوریزا در شرایطی که بارندگی تا ۱۷ خرداد ادامه داشت، به دست آمد که در برابر کمترین اندازه در پایان زود هنگام بارندگی بهاره (۲۰ اردیبهشت) از گیاهان نامیکوریزی دیم حدود ۱۳/۰۱ درصد افزایش نشان داد. به نظر می‌رسد ادامه بارندگی تا اواسط خرداد، سودمندی میکوریزا را در تولید اندام هوایی چاودار از بین برده است. می‌توان این نتیجه را به هزینه کربوهیدراتی میکوریزا نسبت داد که در ادامه بارندگی‌ها آب به اندازه مطلوب برای اندام هوایی چاودار تامین شده است و در واقع گیاه تحت تنش جدی قرار ندارد (شکل ۲ – الف). آبیاری تکمیلی هم کارکرد گیاه در ساخت اندام هوایی را در برابر کشت دیم در هر دو سال افزایش داده ا ست. در سال دوم گیاهان آبیاری شده بیشترین کارکرد گیاه در ساخت اندام هوایی (۲۵۹۱/۰٤ کیلو گرم در هکتار)، کشت دیم در سال یکم کمترین کارکرد گیاه در ساخت اندام هوایی (۲۱۸۰/۵۱ کیلوگرم در هکتار) را دا شتند. روهمرفته کارکرد گیاه در ساخت اندام هوایی سال دوم در هر دو سیستم کاشت بیشتر بود (شکل ۲ –ب). در سال دوم کشت کارکرد گیاه در ساخت اندام هوایی در برابر سال یکم کشت افزایش چشمگیری داشته است. با توجه به نتایج حاصله مشخص گردید که با ادامه بارندگی تا دیر هنگام (۱۷ خرداد) در سال دوم کشت کارکرد گیاه در ساخت اندام هوایی بیشترین است که در برابر کمترین اندازه آن در قطع زود هنگام بارندگی سیستم دیم حدود ۱۵/۷۰ درصد افزایش داشت (شکل ۲ –ج).

در مطالعه‌ای که بر روی امکان بهبود تحمل به خشکی ذرت با بهره گیری از همزیستی میکوریزی صورت گرفت، بومسما و وین (۲۰۰۸) بیان داشتند که رابطه همزیستی میکوریزی ریشه گیاه ذرت به اندازه قابل توجهی به رشد و تغذیه گیاه کمک می‌کند و باعث افزایش کارکرد گیاه در ساخت اندام هوایی ذرت می‌گردد. آنان علت این امر را به دلیل افزایش جذب آب و مواد غذایی، و انتقال بهتر این مواد در اندام گیاهی، و همچنین افزایش فتوسنتز گیاه که منجر به ساخته شدن مواد فتوسنتزی بیشتری می‌شود، نسبت دادند. گزارش شده است که تنش آبی به خصوص در ابتدای گام رشد رویشی گیاه، سبب کوتاه شدن این دوره رشد و بدنبال آن، تعداد شاخه و عملکرد کاهش یافته است (کورت و همکاران ۱۹۸۳). اهمیت قارچ‌های میکوریز در کشاورزی پایدار، اساسا به نقش این قارچ ها همانند پل ارتباطی بین گیاه و خاک مربوط می‌شود. این قارچ ها، انتقال مواد غذایی از خاک به گیاه را تسهیل نموده و عناصری از قبیل فسفر، روی و پتاسیم را جذب گیاه می‌کنند (کولتای و کاپولنیک ۲۰۱۰).



شکل ۲- میانگین کارکرد گیاه در ساخت اندام هوایی تحت تاثیر برهمکنش پایان بارندگی×میکوریزا×آبیاری تکمیلی (الف)، سال×آبیاری تکمیلی (ب) و سال×پایان بارندگی (ج)

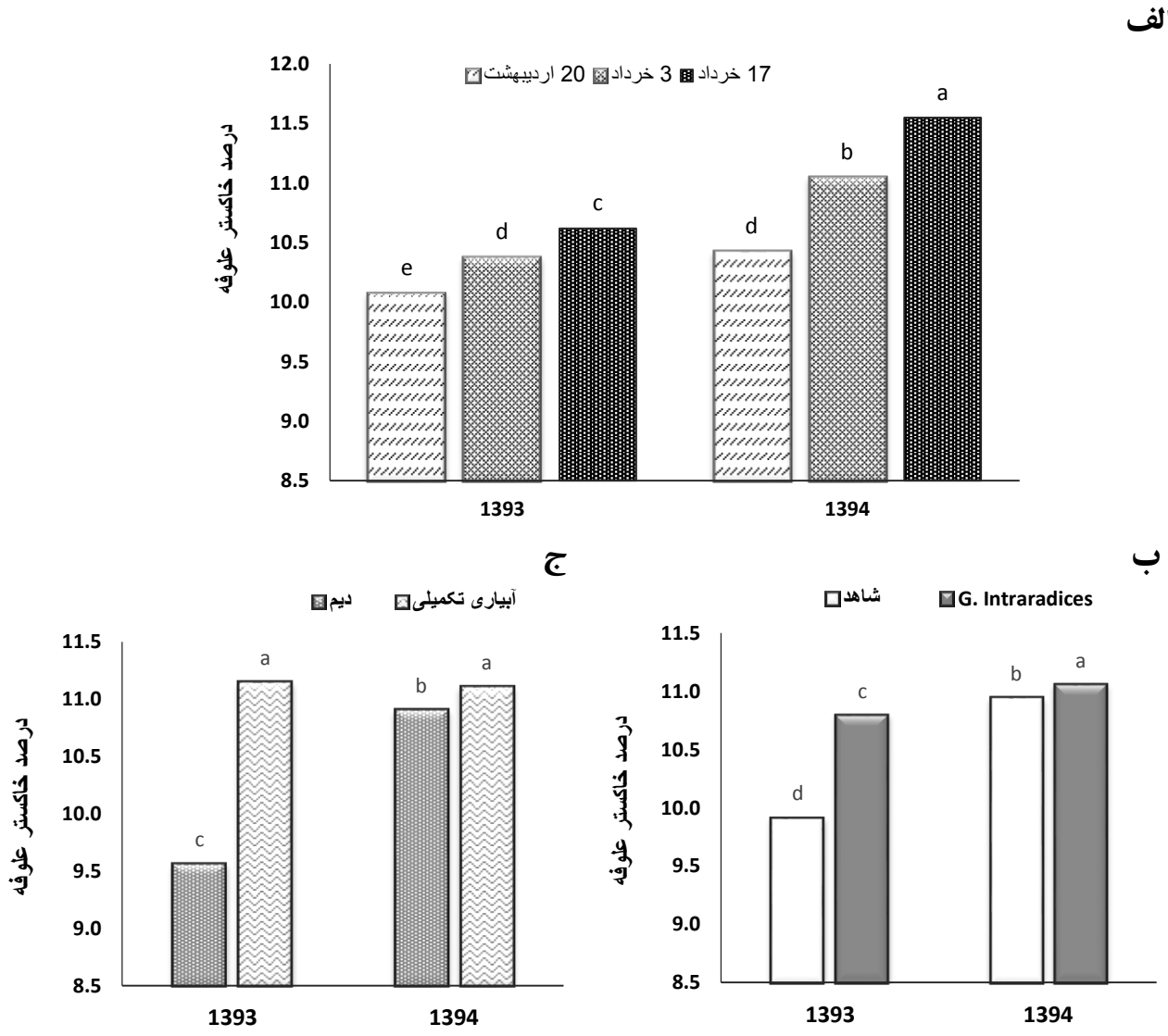
حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

خاکستر اندام هوایی

نتایج آزمون میانگین‌های دوساله آزمایش نشان داد که بیشترین اندازه خاکستر اندام هوایی (۱۱/۵۵ درصد) با ادامه بارندگی تا ۱۷ خرداد در سال دوم بدست آمد که در برابر کمترین اندازه آن (پایان بارندگی ۲۰ اردیبهشت ۱۳۹۳) حدود ۱۳ درصد افزایش نشان داده است. با اینکه قطع زود هنگام بارندگی بهاره در هر دو سال باعث کاهش چشمگیر خاکستر اندام هوایی شده است، مقدار آن در سال دوم بیشتر می‌باشد (شکل ۳- الف). با وجود افزایش خاکستر اندام هوایی گیاهان میکوریزایی در هر دو سال در برابر شاهد، در سال دوم کشت گیاهان میکوریزایی اندازه خاکستر اندام هوایی (۱۱/۰۶ درصد) بیشتری را در برابر سال یکم را دارا

بودند. طوری که در سال یکم کشت گیاهان تیمار نشده کمترین اندازه خاکستر اندام هوایی را داشتند (شکل ۳-ب).

خاکستر اندام هوایی در چاودار آبیاری شده در سال یکم و دوم نسبت کشت دیم متفاوت بود. به سخن دیگر در کشت دیم خاکستر اندام هوایی در سال دوم افزایش چشمگیری در برابر سال یکم آزمایش داشت، ولی در گیاهان آبیاری شده خاکستر اندام هوایی در هر دو سال ثابت مانده است (شکل ۳-ج). با توجه به اندازه‌های بالای بارندگی همراه با پراکندگی شایسته آن در سال یکم (شکل ۱)، رشد گیاه کمتر خشبی شده و درصد خاکستر در سال یکم و در کلیه سطوح تیمار های آزمایش (قطع بارندگی، همزیستی میکوریزایی و آبیاری) کمتر از سال دوم بود (شکل ۳).



شکل ۳- میانگین خاکستر اندام هوایی تحت تاثیر برهمکنش سال×پایان بارندگی (الف)، سال×میکوریزا (ب) و سال×آبیاری تکمیلی (ج)

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

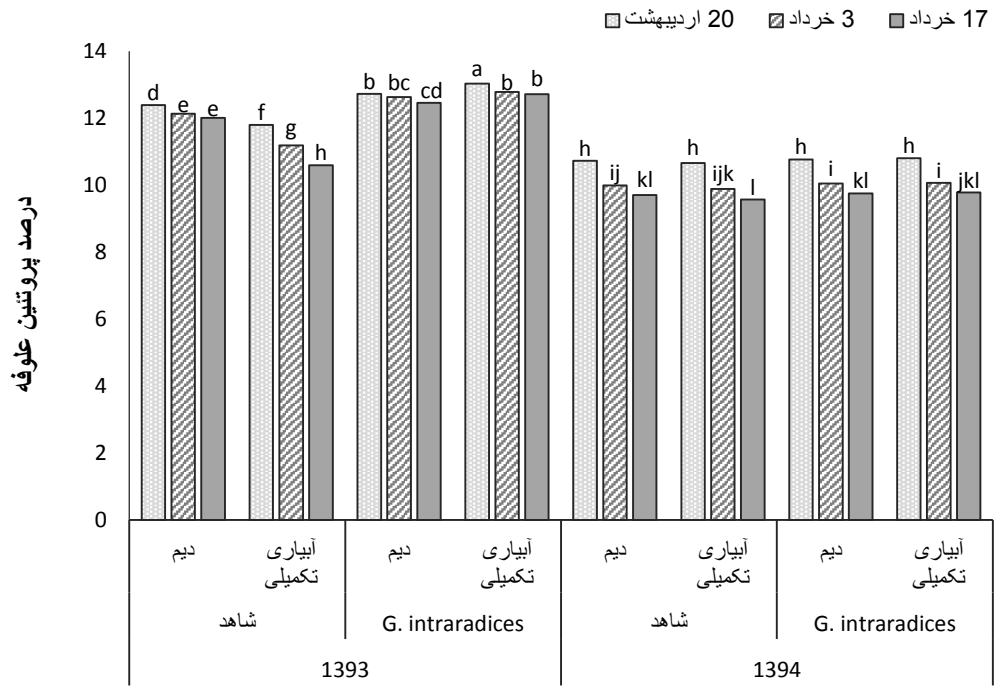
به نظر می‌رسد همزیستی میکوریزایی و همچنین بهبود شرایط آبیاری در دو سال پی در پی باعث جذب بهتر عناصر غذایی و ا فزایش خاکستر در سال دوم (به ویژه در شرایطی که بارندگی‌ها تا اواسط خرداد ادامه داشته است) شده است. قارچ های میکوریزا با داشتن شبکهٔ هیفی گسترده و افزایش سطح و سرعت جذب ریشه، کارایی گیاهان را در جذب آب و عناصر غذایی بویژه عناصر کم تحرک فسفر، روی، مس و سایر عناصر معدنی افزایش داده و موجب بهبود رشد آنها می‌شوند (مارشنر و دل ۱۹۹٤). قارچ های میکوریزا آربسکولار نقش مهمی در بهبود تغذیه ورشد گیاهان در شرایط تنش دارند به نحوی که بعضی آنها را همانند اصلاح کنندگان زیستی خاک‌ها می‌نامند (سینگ و همکاران ۱۹۹۷). مهمترین و بارزترین اثر مفید قارچ های میکوریزا، افزایش رشد گیاه میزبان است که معمولاً به واسطه افزایش جذب عناصر غیر متحرک ازخاک صورت می گیرد (بولان ۱۹۹۱). علاوه بر این، کودهای زیستی از راه افزایش فراهمی عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، آهن و روی و تولید مواد افزاینده رشد گیاه (هورمون‌ها) سبب بهبود رشد و عملکرد خواهند شد (حسن و بانو ۲۰۱۵). کاهش درصد خاکستر اندام هوایی در شرایط تنش خشکی در گیاه ارزن علوفه‌ای نیز گزارش شده است (رهبری و همکاران ۲۰۱٤).

پروتئین اندام هوایی

در سال یکم کشت گیاهانی که با قارچ میکوریزا همزیستی داشتند و به گونه آبیاری تکمیلی کشت شده‌اند با پایان بارندگی زود هنگام (۲۰ اردیبهشت) بیشترین درصد پروتئین اندام هوایی (۱۳/۹۷ درصد) را به دلیل اعمال طولانی مدت تنش کمبود آب داشتند. این روند افزایشی در هر دو سال در گیاهانی که با قارچ میکوریزا همزیستی داشتند در برابر گیاهانی که تیمار نشده دیده گردید. با این حال روند مشابهی در تغییرات پروتئین اندام هوایی در سال دوم البته با شدت کمتر مشاهده شد. کمترین اندازه پروتئین اندام هوایی (۱۰/۲٦درصد) در گیاهان نامیکوریزی که در سال دوم به گونه آبیاری تکمیلی و در شرایط قطع بارندگی دیر هنگام (۱۷ خرداد) کشت شده بود دیده گردید. به گونه کلی، با وجود کاهش درصد پروتئین اندام هوایی در تامین شایسته آب (ادامه بارند گی و آبیاری تکمیلی)، اندازه آن در گیاهان میکوریزایی بیشتر بود (شکل ٤).

گزارش شده است که فعالیت میکرو ارگانیسم‌های مفید خاک نظیر قارچ‌های میکوریزی ومیکرو ارگانیزم-های حل کننده فسفات در جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول عمل نموده، و سبب ا فزایش اندازه پروتئین و بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (آرانکون و همکاران ۲۰۰٤).

قارچ میکوریزا موجب افزایش اندازه نیتروژن، پروتئین، کربوهیدارت و کل پروتئین‌های محلول در دانه و ساقه می‌شود. بعلاوه، در کاهش تنش خشکی توسط قارچ‌های میکوریزا، وجود شبکه گسترده میسلیوم‌های قارچ همانند ادامه سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان امکان جذب آب و مواد غذایی را از مناطق دور از دسترس گیاه فراهم می‌سازد (اسمیت و رید ۲۰۰۸). مکانیسم‌های گوناگونی می‌توانند موجب افزایش جذب فسفر توسط گیاهان میکوریزایی گردند که از بین آنها می توان به : ۱- جستجوی حجم بیشتری از خاک، ۲- بالا بودن سرعت جذب فسفر توسط هیف قارچ‌های میکوریزا و ۳- افزایش انحلال فسفر خاک اشاره کرد. جستجوی حجم بیشتری از خاک توسط گیاهان میکوریزایی موجب می‌شود که فاصله بین یون‌های فسفر و ریشه گیاهان کاهش یابد (بولان ۱۹۹۱).



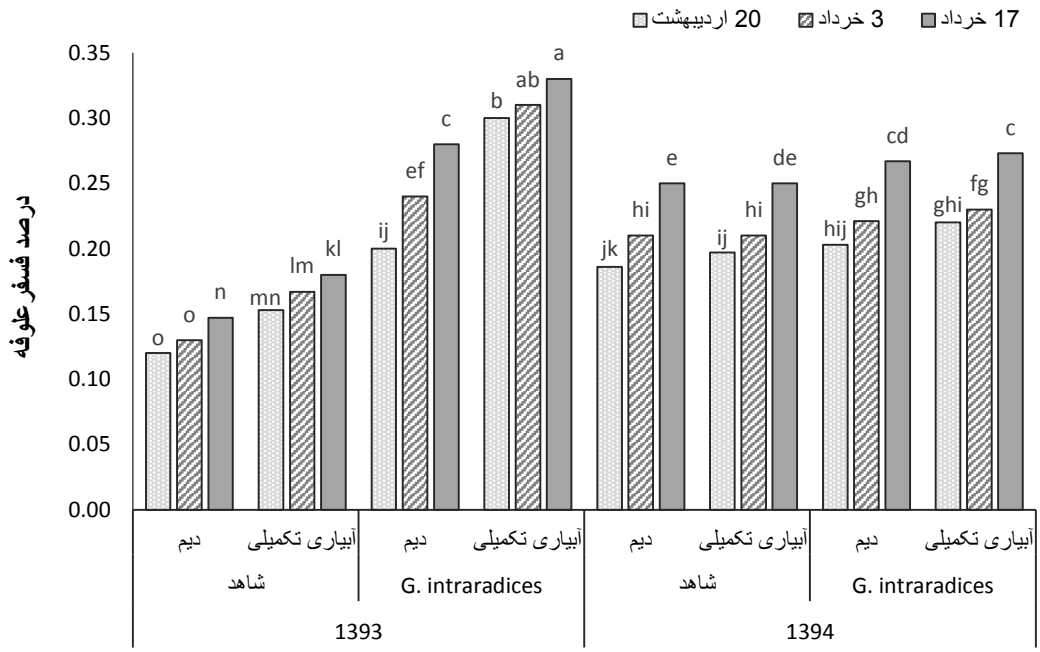
شکل ۴- میانگین پروتئین اندام هوایی تحت تاثیر بر همکنش سال×پایان بارندگی×میکوریزا×آبیاری تکمیلی
حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

فسفر اندام هوایی

میزان فسفر اندام هوایی در سال یکم کشت در برابر سال دوم بیشتر بود. در سال یکم کشت گیاهانی که با قارچ میکوریزا همزیستی داشتند و به گونه آبیاری تکمیلی کشت شده بودند، با ادامه بارندگی تا ۱۷ خرداد، بیشترین درصد فسفر اندام هوایی (۰/۳۳ درصد) را داشتند. این روند افزایشی در سال یکم در گیاهانی که با قارچ میکوریزا همزیستی داشتند و در شرایط آبیاری تکمیلی در برابر گیاهان تیمار نشده در شرایط دیم، بیشتر بود. کمترین اندازه فسفر اندام هوایی (۰/۱۲ درصد) در گیاهان نامیکوریزی که در سال یکم و در شرایط قطع آبیاری زود هنگام (۲۰ اردیبهشت) دیده شد (شکل ۵). کاهش در اندازه فسفر برگ گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) با افزایش دوره آبیاری از ٤ روز به ۱۲ روز گزارش شده است (رسولی صدقیانی و همکاران ۲۰۱۰). خشکی خاک همچنین سرعت انتشار مواد غذایی را از محیط خاک به سطح جذب کنندهٔ ریشه همراه با کاهش رطوبت خاک کاهش می‌دهد (الم ۱۹۹۹).

از آنجایی که فسفر همانند یک عنصر غذایی ضروری بوده و اغلب به دلیل تثبیت شدن در خاک غیر قابل دسترس برای گیاهان می‌باشد، بهره گیری از ریز جانداران محرک رشد از جمله قارچ‌ها را می‌توان همانند یک راهکار مناسب برای افزایش رشد و نمو گیاهان محسوب کرد (حبیب زاده و همکاران ۲۰۱۳).

از آنجایی که قارچ‌های میکوریزی موجب افزایش توانایی گیاه میزبان در جذب عناصر معدنی از خاک بویژه فسفر به خصوص از منابع غیر قابل دسترس آنها می‌شوند، لذا عقیده بر این است که این قارچ‌ها می‌توانند جایگزین خوبی برای قسمتی از کود های شیمیایی مصرف شده مخصوصاً کود های فسفاته در اکوسیستم های مختلف باشند (موکرجی و چاملا ۲۰۰۳). همزیستی با میکوریزا اندازه رشد و جذب عناصر غذایی در گندم و اندازه فتوسنتز در فلفل را در برابر گیاهان شاهد بهبود می‌بخشد. افزایش اندازه فتوسنتز در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا به علت بهبود جذب فسفر و افزایش محتوای کلروفیل می‌باشد (دمیر ۲۰۰٤).



شکل ۵- میانگین فسفر اندام هوایی تحت تاثیر بر همکنش سال×پایان بارندگی×میکوریزا×آبیاری تکمیلی

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

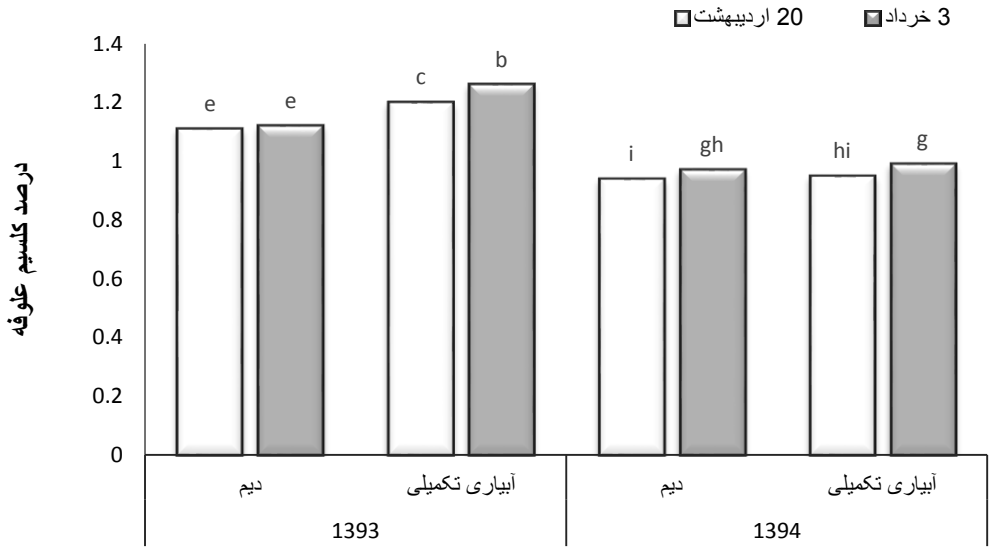
کلسیم اندام هوایی

پاسخ گیاه به آبیاری تکمیلی بسته به زمان قطع بارندگی در هر دو سال کشت از نظر کلسیم اندام هوایی متفاوت بود. اندازه‌های کلسیم اندام هوایی در آبیاری تکمیلی در کلیه سطوح قطع بارندگی در سال یکم بیشتر بود، درحالیکه تفاوتی در سال دوم دیده نشد. بیشترین اندازه کلسیم در شرایط آبیاری تکمیلی و قطع دیر هنگام بارندگی در سال یکم کشت دیده شد (۳۲ /۱ درصد). کمترین کلسیم اندام هوایی (۰/۹٤ درصد) مربوط به کشت دیم در سال دوم که بارندگی فقط تا ۲۰ اردیبهشت ادامه داشت، دیده شد. با وجود تشابه زیاد در روند تغییرات کلسیم اندام هوایی، اندازه آن در سال یکم بیشتر بود (شکل ٦- الف).

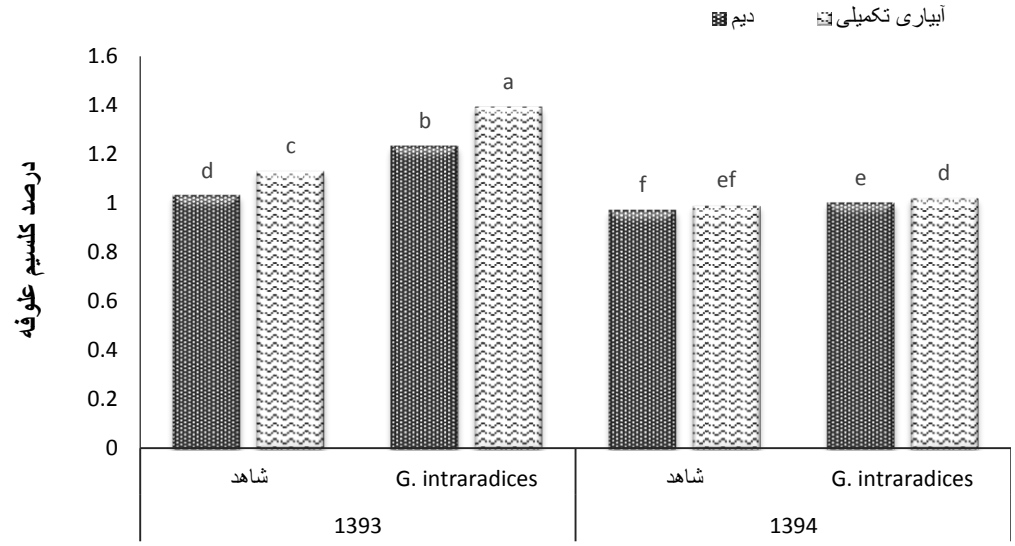
گیاهان میکوریزایی در شرایط آبیاری تکمیلی در سال یکم با (۱/۳۹ درصد) بیشترین اندازه کلسیم اندام هوایی را داشتند که این اندازه در برابر کمترین اندازه کلسیم اندام هوایی (۰/۹۷ درصد) که مربوط به گیاهان تیمار نشده تحت شرایط دیم در سال دوم حدود ٤۳ درصد افزایش داشت (شکل ٦-ب). اندازه‌های بالای کلسیم برگ در سال یکم در برابر سال دوم در سطوح تیمارهای آزمایش مربوط به بارندگی بیشتر (شکل ۱) و دسترسی بهتر به آن عنصر می‌باشد (شکل ٦-الف و ب).

گزارش‌هایی مبنی بر کاهش و یا افزایش اندازه کلسیم در گیاهان تحت شرایط کم آبی وجود دارد (عبدالرحمان و همکاران ۱۹۷۱). در تنش آبی قارچ میکوریز به ویژه در شرایطی که گیاهان زراعی از نظر تغذیه‌ای دچار تنش شده‌اند، نقش اصلی در افزایش دسترسی به عناصر غذایی در گیاه را دارد. این عمل از راه افزایش سطح جذب ریشه‌ها توسط گسترش میسلیوم‌های قارچ به فضای خارج فرا ریشه‌ای خاک صورت می‌گیرد که به افزایش اندازه جذب عناصر غذایی و انتقال آب منجر خواهد شد (بومسما و وین ۲۰۰۸).

الف



ب



شکل ۶- میانگین کلسیم اندام هوایی تحت تاثیر برهمکنش سال×پایان بارندگی×آبیاری تکمیلی (الف)، سال×میکوریزا×آبیاری تکمیلی (ب)

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

عملکرد و کیفیت دانه

برهمکنش‌های پایان بارندگی×میکوریزا×آبیاری تکمیلی بر روی عملکرد دانه، برهمکنش‌های میکوریزا×آبیاری تکمیلی، اثر پایان بارندگی×میکوریزا، و اثر سال×پایان بارندگی بر روی فسفر دانه، برهمکنش-های سال×آبیاری تکمیلی، و اثر سال×میکوریزا بر روی پتاسیم، برهمکنش‌های سال×آبیاری تکمیلی بر روی پروتئین و برهمکنش‌های سال×آبیاری تکمیلی، و سال×پایان بارندگی بر روی عملکرد دانه، و اثرات ساده پایان بارندگی بر روی پتاسیم و پروتئین دانه، و تاثیر میکوریزا بر روی پروتئین دانه معنی‌دار شدند (جدول ٤).

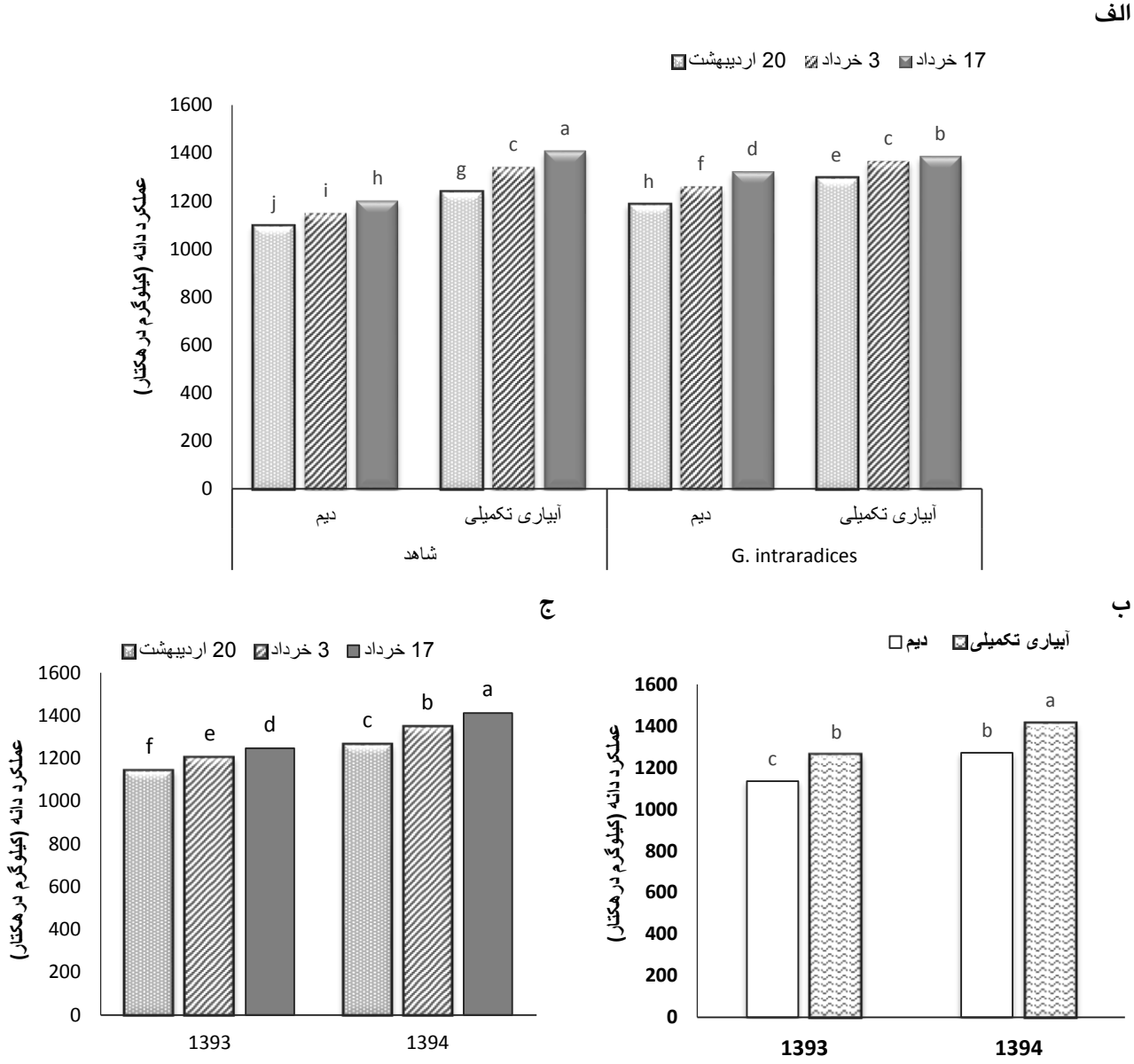
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس پیامدهای آبیاری تکمیلی و همزیستی قارچ میکوریزایی گونه *G. intraradices* بر عناصر غذایی و کارکرد گیاه در ساخت دانه چاودار با بارندگی گوناگون

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		عملکرد دانه	پروتئین دانه	فسفر دانه	پتاسیم دانه
سال	۱	۳۶۸۳۵۳/۷۵**	٤٤/۷۳**	۰/۰٦۹**	۰/۲۸۹**
اشتباه آزمایشی (تکرار داخل سال)	٤	۱٤٥/۷۱	۰/٥۲	۰/۰۰۰٦۲	۰/۰۰۱
پایان بارندگی	۲	۹٤٤۱۱/۳۷**	۱۷/٤٤**	۰/۰٦۹**	۰/۰۹٥**
میکوریزا	۱	٦۹٥۲٤/۷۲**	۱٤٦/٤۲**	۰/۳۳**	۰/۰۸۳**
آبیاری تکمیلی	۱	۳۲۸۰۸۲/٤۰**	٥٥٤/۰۳**	۰/۱۲۱**	۰/۰۳٦**
سال × پایان بارندگی	۲	۲٥۳٤/۱۰**	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۰٤۳**	۰/۰۰۰۱ ^{ns}
سال × میکوریزا	۱	۲۱۳/۷۰ ^{ns}	۲/۰۲۷ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰٤۸**
سال × آبیاری تکمیلی	۱	۱۰۳۹/۰۷**	٤/٥۰**	۰/۰۰۰٤ ^{ns}	۰/۰۲۱**
پایان بارندگی × میکوریزا	۲	۸۹۲/۷۸*	۰/٥٦ ^{ns}	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۰٤ ^{ns}
سال × پایان بارندگی × میکوریزا	۲	۰/۸۰۱ ^{ns}	۰/٥۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۳ ^{ns}
پایان بارندگی × آبیاری تکمیلی	۲	٥۲٥/۹۰ ^{ns}	۰/۱٦٥ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰٥٤ ^{ns}
سال × پایان بارندگی × آبیاری	۲	۷/۰۰٤ ^{ns}	۰/٤۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۳۸ ^{ns}
میکوریزا × آبیاری تکمیلی	۱	۳٦۸۲٤/٤٦**	۰/۸۰ ^{ns}	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۰٥۳ ^{ns}
سال × میکوریزا × آبیاری تکمیلی	۱	۱۲٥/٤۰ ^{ns}	۰/٤٤ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۳ ^{ns}
پایان بارندگی ×میکوریزا × آبیاری تکمیلی	۲	٤۷٥۷/۹۹**	۰/۸٦ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۸ ^{ns}
سال×پایان بارندگی×میکوریزا×آبیاری‌تکمیلی	۲	۱۹/٦٥ ^{ns}	۰/٥۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰٤ ^{ns}	۰/۰۰۰٤۳ ^{ns}
اشتباه آزمایشی	٤٤	۲٤٤/۱۱	٥/۳٥	۰/۰۰۰٤	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)		۱/۲۳	۰/٥۷	٤/٦۱	٤/۰۱

*و ** و ^{ns} به ترتیب نشانگر معنی‌داری در سطوح احتمال پنج ، یک درصد و غیر معنی‌دار می‌باشد

کارکرد گیاه در ساخت دانه

عملکرد دانه در گیاهان همزیست و غیرهمزیست با قارچ میکوریزا، با تامین بیشتر و شایسته‌تر آب، یعنی ادامه بارندگی تا ۱۷ خرداد، و آبیاری تکمیلی افزایش زیادی پیدا کرده است. با این حال همواره در شرایط آبیاری تکمیلی عملکرد دانه در برابر کشت دیم بیشتر است. به جز مواردی که بارندگی تا اواسط خرداد ادامه داشته و بعلاوه گیاهان یک نوبت آبیاری شده اند که در این صورت بیشترین عملکرد دانه (۱٤۰۸/۲۳ کیلوگرم در هکتار) از گیاهان آبیاری شده تیمار نشده به دست آمد. البته در ادامه بارندگی تا سوم خرداد به همراه یک نوبت آبیاری تکمیلی هم بدلیل تامین آب در حد مورد نیاز گیاه چاودار باعث بی تاثیر شدن رابطه میکوریزایی شده است (شکل ۷- الف). آزمون میانگین تیمارها نشان داد که در هر دو سال کشت، عملکرد دانه در گیاهانی که آبیاری صورت گرفته در برابر شرایط دیم بیشتر می باشد که بیشترین اندازه مربوط به سال دوم در شرایط آبیاری تکمیلی حدود ۱٤۱۲/۹٦ کیلوگرم در هکتار می باشد (شکل ۷-ب). با تداوم رخداد بارندگی تا ۱۷خرداد اندازه عملکرد دانه در هر دو سال در برابر پایان زودتر بارندگی در ۲۰ اردیبهشت و ۳ خرداد افزایش داشت. بیشترین عملکرد دانه (۱٤۱۰/۷٦ کیلوگرم در هکتار) در شرایطی که بارندگی تا ۱۷ خرداد ادامه داشت، از سال دوم به دست آمد، ولی کمترین عملکرد دانه (۱۱٤۳/۰٥ کیلوگرم در هکتار) در پایان زود هنگام بارندگی (۲۰ اردیبهشت) در سال یکم دیده شد (شکل ۷- ج).



شکل ۷- میانگین عملکرد دانه تحت تاثیر برهم کنش پایان بارندگی×میکوریزا×آبیاری تکمیلی (الف)، سال×آبیاری تکمیلی (ب) و سال×پایان بارندگی (ج)

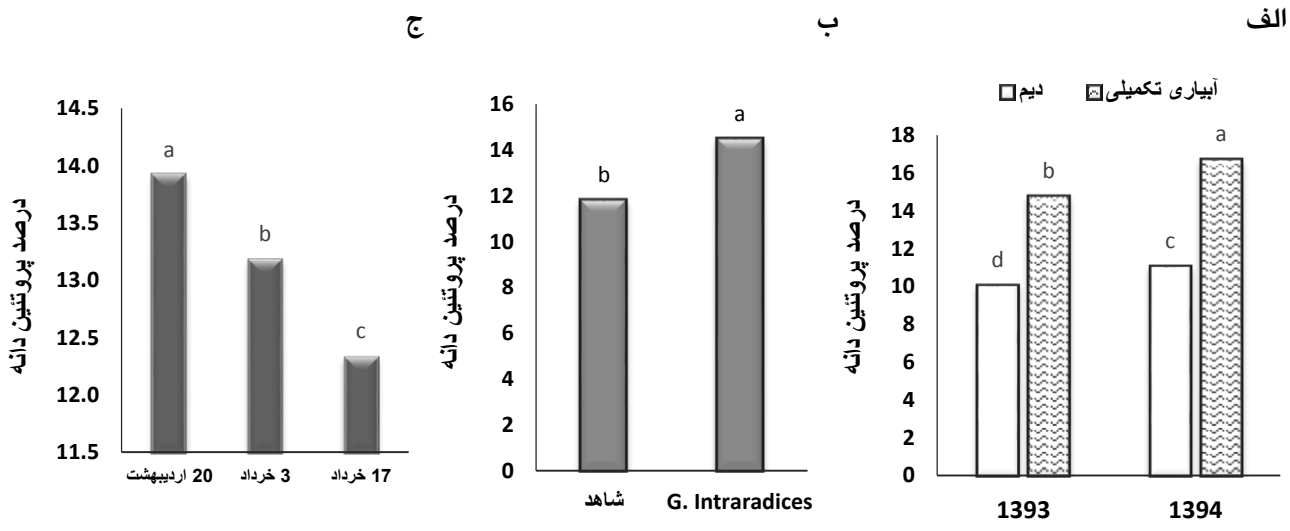
حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

به گونه کلی، این ریزجانداران (قارچ های میکوریز) با استقرار در ریشه گیاه و تولید هورمون‌های گیاهی، ویتامین‌ها، مواد محرک رشد و توانایی انحلال مواد معدنی فسفاته و دیگر مواد مغذی موجب بهبود عملکرد گیاه میزبان خواهند شد (ورما و همکاران ۲۰۱۳). آب بیشترین اهمیت را برای تولید و رشد گیاهان دارد، چرا که در جذب مواد غذایی و حلالیت و حرکت مواد درگیاهان نقش بسزایی ایفا می‌کند. تحت شرایط استرس خشکی فعالیت های حیاتی گیاه مانند فتوسنتز و فعالیت آنزیم ها کاهش و در نهایت رشد و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (مونز ۲۰۰۲). همچنین با بررسی تاثیر تنش کم آبی خاک بر گیاه ماش اعلام شد که با کاهش

رطوبت خاک تعداد نیام در هر بوته، ماده خشک کل و عملکرد دانه کاهش می‌یابد (حبیب زاده و همکاران ۲۰۱۳). تلقیح ریشه‌های گیاهان با قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار می‌تواند در افزایش عملکرد محصولات زراعی پیامدار باشد (الکراکی و کلارک ۱۹۹۸). همچنین، در یک بررسی، ژنوتیپ‌های بادام زمینی در همزیستی با گونه *G. mosseae* نشان داد که عملکرد دانه در مقایسه با گیاهان تیمار نشده به اندازه ۲۲ درصد افزایش یافت (آتایس۲۰۰۷).

پروتئین دانه

با توجه به درصد بالای پروتئین دانه در سال دوم، اندازه آن در گیاهان آبیاری شده در هر دو سال بیشتر از چاودار دیم بود. با توجه به آزمون میانگین داده ها بیشترین پروتئین دانه (۱۷/۹۰ درصد) در سال دوم تیمار آبیاری تکمیلی به دست آمد که حدود ۳۹/۷۸ درصد در برابر کشت دیم سال یکم افزایش داشت (شکل ۸-الف). نتایج آزمون میانگین داده‌ها نشان داد که اندازه پروتئین دانه در گیاهانی که با قارچ میکوریزایی همزیستی داشتند بیشترین اندازه پروتئین دانه را دارا می باشند، طوری که در مقایسه با گیاهان غیرهمزیست حدود ۱۸/۵ درصد افزایش نشان داد (شکل ۸- ب). قطع بارندگی زود هنگام (۲۰ اردیبهشت) باعث افزایش معنی‌دار پروتئین دانه تا حداکثر اندازه (۱٤/۹۲ درصد) شد. از نظر اندازه پروتئین دانه، گیاهانی با قطع دیر هنگام بارندگی (۱۷ خرداد) در برابر گیاهانی که مدت طولانی‌تری در معرض محدودیت بارندگی بودند (پایان بارندگی در ۲۰ اردیبهشت) حدود ۱۱/٤ درصد کاهش نشان داد (شکل ۸- ج).



شکل ۸- میانگین پروتئین دانه تحت تاثیر برهمکنش سال×آبیاری تکمیلی (الف)، میکوریزا (ب) و پایان بارندگی (ج) حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

به نظر می‌رسد با افزایش شدت تنش کم آبی هم در گیاهان میکوریزایی و هم در گیاهان نامیکوریزایی درصد پروتئین دانه کاهش می‌یابد. رابطه میکوریزایی نیز از راه تأثیر بر قدرت جذب، نگهداری و تدارک بالای رطوبت و عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر روی اندازه پروتئین دانه اثر گذاشته و موجب بهبود عملکرد پروتئین دانه می‌گردد (اورتاس ۲۰۱۰). در حالت تنش خشکی سنتز پروتئین در واکنش به کم آب کاهش یافته و بیان ژن ها تحت تنش خشکی دگرگون می‌شود (شمسی و همکاران ۲۰۱۰).

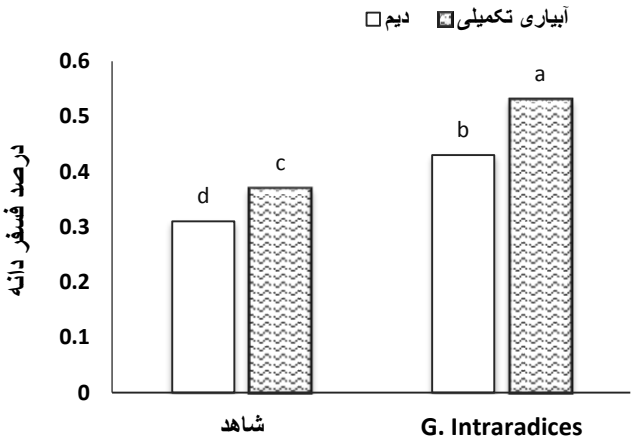
فسفر دانه

در هر دو سیستم کاشت دیم و آبیاری تکمیلی، فسفر دانه گیاهان میکوریزایی بیشتر شد، بطوری که در

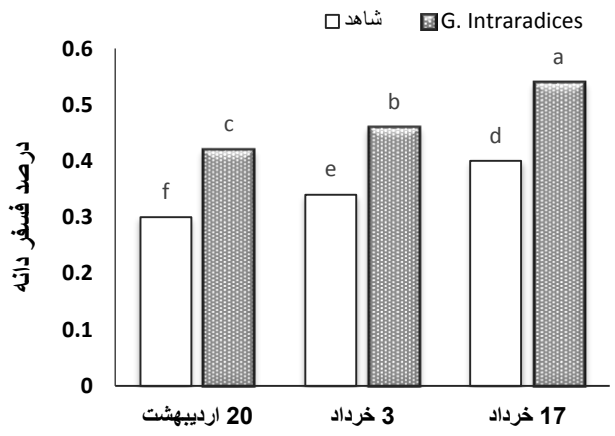
شـــرایط آبیـــاری تکمیلی گیـــاهـــان میکوریزایی دارای بیشـترین اندازه فسفر دانه (۰/۵۳ درصد) بود و کمترین انـدازه فســـفر دانـه (۰/۳۱ درصـــد) مربوط بـه گیاهان نامیکوریزی که در شرایط دیم کشت شده‌اند بدست آمد (شکل ۹- الف).

بـا توجه به نتایج آزمون میانگین تیمارها مشـــخص شـــد کـه بـا تـداوم بـارنـدگی تا ۱۷ خرداد ماه گیاهان میکوریزایی افزایش فسـفر دانه چشمگیری حدود ٤٤/٤٤ درصـــد در برابر کمترین انـدازه (درصـــد در گیـاهـان نـامیکوریزی کـه بـارندگی در ۲۰ اردیبهشـــت به پایان رسیده بود) را داشتند. این روند افزایشی در گیاهانی که به گونه همزیسـت با گیاهان میکوریزا کشت شده بودند در برابر گیاهان تیمار نشده با قارچ میکوریزا چشمگیرتر به نظر می‌رسید (شکل ۹- ب). با ادامه رخداد بارندگی تا ۱۷خرداد اندازه فسفر دانه در هر دو سال افزایش نشان داد (۰/۵۱ درصد). با این وجود سطح فسفر دانه در سال دوم بیشـتر بود. کمترین اندازه فسفر دانه در پایان زود هنگـام بارندگی (۲۰ اردیبهشـــت) در ســـال یکم (۰/۳٤ درصد) دیده شد (شکل ۹- ج).

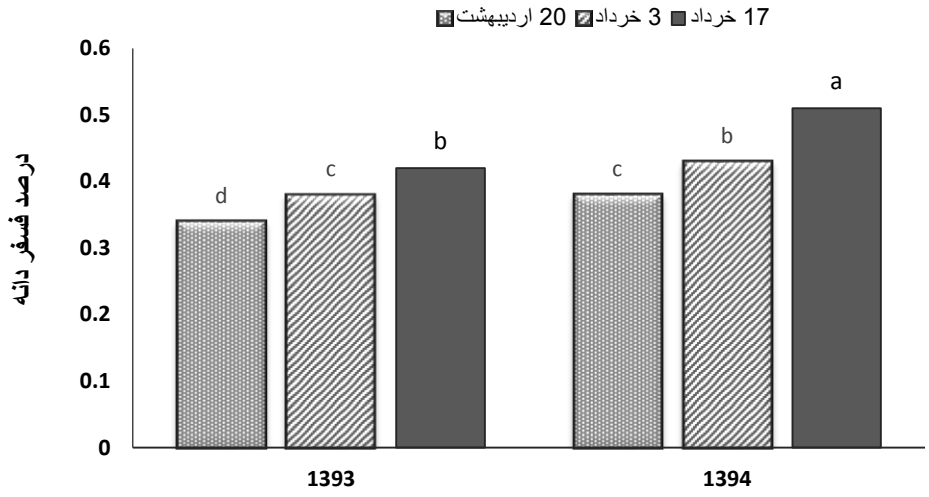
الف



ب



ج



شکل ۹- میانگین فسفر دانه تحت تاثیر برهمکنش میکوریزا × آبیاری تکمیلی (الف)، پایان بارندگی × میکوریزا (ب) و سال × پایان بارندگی (ج)

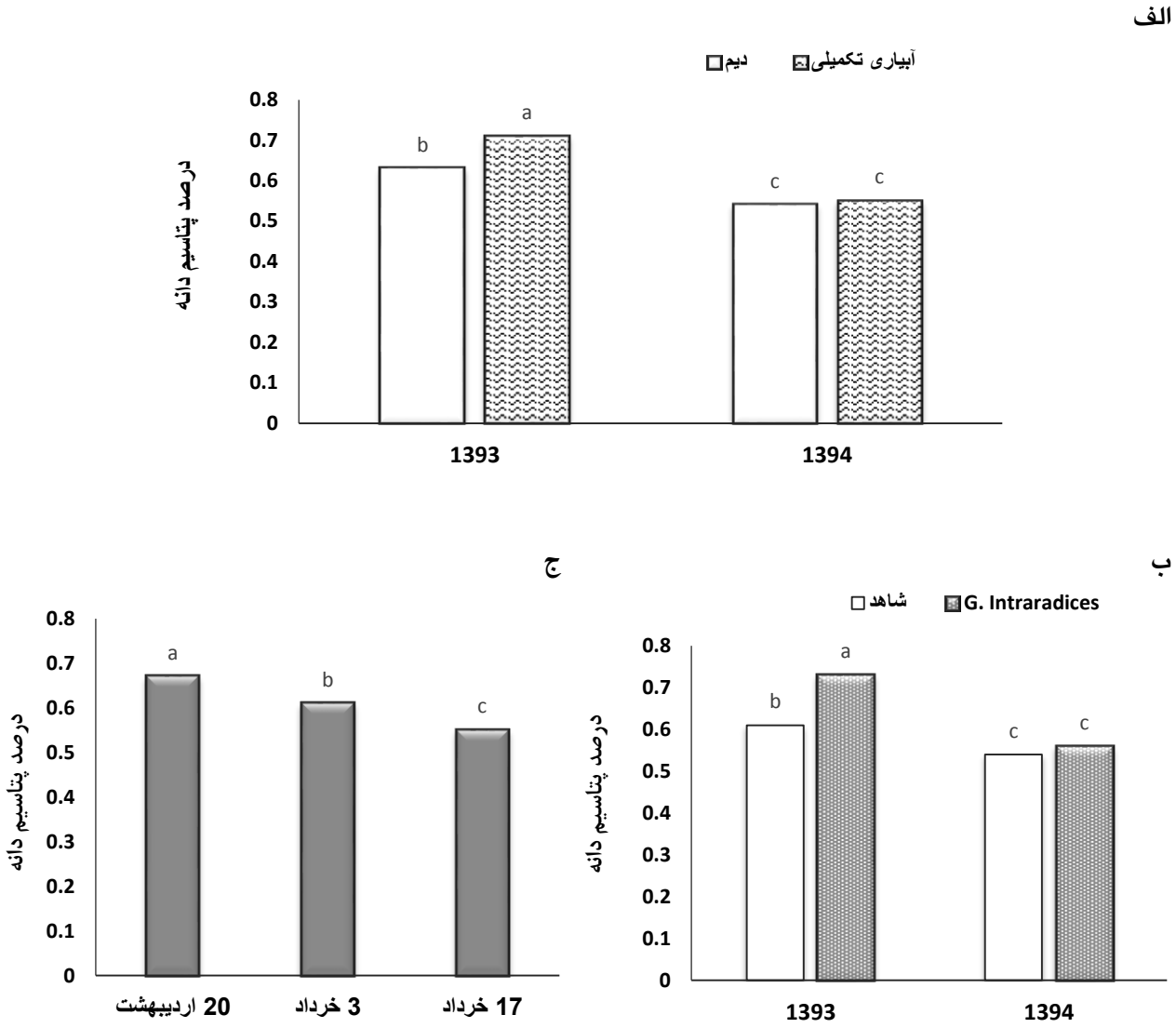
حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد می‌باشد.

افضل و بانو (۲۰۰۸) افزایش محتوای فسفر دانه گندم درزمان به کارگیری ریز جانداران حل کننده فسفات را گزارش نمودند. محققان زیادی در جهت برطرف نمودن اثرات سوء ناشی از این تغییرات نشان دادند که قارچ‌های میکوریزی می‌توانند اثرات نامطلوب تنش خشکی در گیاهان را کاهش دهند (میرانصاری ۲۰۱۰). گزارش شده است که افزایش حلالیت فسفر توسط میکوریزاها و در نتیجه افزایش قابلیت دسترسی ریشه به فسفر می‌تواند در افزایش تعداد دانه در گیاه و نیز سایر اجزای عملکرد گیاه سویا موثر باشد (توحیدی مقدم و همکاران ۲۰۰٤). تحقیقات زیادی در زمینه اثر این همزیستی بر جنبه های فیزیولوژیک گیاهان انجام شده است و نتایج نشان داده است که قارچ‌های میکوریزی جذب عناصر N, P, S, K, Mg, Ca, Mn را افزایش می‌دهند (جفریز ۲۰۰۱).

پتاسیم دانه

بیشترین اندازه پتاسیم دانه (۰/۷۱ درصد) در گیاهانی که به گونه آبیاری تکمیلی در سال یکم کشت شده بودند به دست آمد. با این حال همواره اندازه‌های پتاسیم دانه در سال یکم در برابر سال دوم بیشتر است و در سال دوم آزمایش تفاوت معنی‌داری بین گیاهانی که در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم کشت شده‌اند دیده نشد (شکل ۱۰- الف). در سال یکم کشت، اندازه پتاسیم دانه در گیاهان به گونه معنی‌داری افزایش پیدا کرده است، به طوری که بیشترین اندازه پتاسیم (۰/۷۳ درصد) در سال یکم از گیاهان همزیست با قارچ میکوریزا به دست آمد. اندازه‌های پتاسیم دانه در سال یکم در برابر سال دوم بیشتر است و در سال دوم تفاوت معنی‌داری بین گیاهانی که به گونه همزیست با قارچ میکوریزا و تیمار نشده با قارچ میکوریزا کشت شده‌اند وجود ندارد (شکل ۱۰- ب). قطع بارندگی زود هنگام (۲۰ اردیبهشت) باعث افزایش معنی‌دار اندازه پتاسیم دانه تا حداکثر اندازه (۰/٦۷ درصد) شد، یعنی اندازه پتاسیم دانه در برابر زمانیکه بارندگی‌ها تا اواخر بهار (۱۷ خرداد) ادامه یابد ۱۷/۹۱ درصد افزایش نشان داد (شکل ۱۰- ج).

افزایش معنی‌دار اندازه پتاسیم اندام های هوایی ذرت با کاربرد قارچ میکوریزی گزارش شده است (امیرآبادی و همکاران ۲۰۰۹). برخی محققین بر این باورند که گونه‌های قارچی به دلیل ا فزایش جذب مواد مغذی از قبیل پتاسیم، فسفر و نیتروژن ،و حل کنندگی فسفات و عناصر کم مصرف سبب افزایش رشد گیاهان می‌شوند (سینگ و همکاران ۲۰۰۸). قارچ میکوریزی به گونه موثری باعث افزایش گنجایش جذب عناصر پرمصرف و کم مصرف از راه تولید آنزیم های متفاوتی مانند فسفاتازها و حلالیت عناصری مانند فسفر، پتاسیم و عناصر کم تحرک بخصوص در شرایط تنش خشکی می‌شوند (مارشنر و دل ۱۹۹٤).در مطالعات بسیار زیادی به نقش قارچ‌های میکوریزی در افزایش توانایی گیاه در جذب بیشتر عناصر معدنی از جمله فسفر و پتا سیم، و جذب آب اشاره شده است (کاپور و همکاران ۲۰۰۷). اهمیت این همزیستی در مورد جذب فسفر، پتاسیم و عناصر با تحرک اندک در خاک در شرایط تنش آبی مشهودتر می‌باشد. همانند یک نتیجه گیری کلی می‌توان بیان دا شت که حدود ۱۰ درصد از کل پتاسیم جذب شده توسط گیاه میزبان ناشی از فعالیت هیف‌های خارج از ریشه‌های قارچ میکوریز آربسکولار می‌باشد (مارشنر و دل ۱۹۹٤). در خاک‌های قلیایی افزایش جذب پتاسیم بستگی به نوع قارچ همزیست و گونه گیاهی دارد. در همزیستی ایجاد شده بین سویا و ایزوله‌های مختلفی از قارچ دیده شده است که تنها ایزوله‌های *Glomus mosseae* جداسازی شده از مناطق خشک منجر به افزایش جذب پتاسیم در گیاه میزبان شده‌اند (بتلن فالوی و همکاران ۱۹۸۹).



شکل ۱۰- میانگین پتاسیم دانه تحت تاثیر برهمکنش سال × آبیاری تکمیلی (الف)، سال × میکوریزا (ب) و پایان بارندگی (ج)
حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

نتیجه گیری کلی

کلونیزاسیون ریشه چاودار در شرایط بدون تلقیح، با ادامه بارندگی تا ۱۷ خرداد ماه از ۲۷ درصد به ۳۹ درصد در شرایط دیم، و از ۲۳ درصد به ۳۰ درصد در آبیاری تکمیلی نسبت به کلونیزاسیون ریشه در شرایط پایان زودهنگام بارندگی در ۲۳ اردیبهشت ماه افزایش داشت. این افزایش در گیاهان تلقیح شده از ٥٦ درصد تا ۷۵ درصد در کشت دیم، و از ٧٤ درصد به ۷۵ درصد در آبیاری تکمیلی متغیر بود. بخشی از کاهش کلونیزاسیون ریشه ناشی از پایان زودهنگام بارندگی‌ها توسط آبیاری تکمیلی جبران شده است. به گونه‌ای که در گیاهان میکوریزایی و آبیاری شده، کلونیزاسیون ریشه در کلیه سطوح پایان بارندگی یکسان بود (داده‌های منتشر نشده). در ایران به دلیل توزیع ناشایست زمانی و مکانی بارندگی، محصولات دیم در طول مراحل مختلف رشد با انواع تنش خشکی مواجه می‌شوند که موجب کاهش چشمگیری عملکرد محصول می‌شود. به همین دلیل ، جهت افزایش بهره‌وری و

عملکرد آبیاری تکمیلی و همزیستی قارچ‌های میکوریزا از راهکارهای بسیار پیامدار در کاهش تنش‌های وارده بر گیاه در طول دوره رشد است. در این مناطق گیاهان کشت شده در پاییز و یا زمستان معمولا در دوره رشد رویشی خود تحت تاثیر تنش خشکی متناوب قرار می‌گیرند و در گام رشد زایشی با تنش خشکی نهایی مواجه می‌شوند. نتایج این مطالعه نشان داد که در منطقه بررسی شده، انجام یک بار آبیاری عملکرد دانه چاودار را در برابر شرایط دیم به گونه معنی‌داری افزایش می‌دهد. با این حال همواره عملکرد دانه چاودار در شرایط آبیاری تکمیلی در برابر کشت دیم بیشتر است. در نتیجه در شرایط تنش خشکی با مدیریت صحیح منابع آب وهمزمان کاربرد قارچ های میکوریزایی ضمن تقویت گیاه باعث افزایش عملکرد در واحد سطح می شود.

منابع مورد استفاده

Abdel Rahman AA, Shalaby AF and Monayeri MOEI, 1971. Effect of moisture stress on metabolic products and ions accumulation, Plant and Soil, 34: 65-90.

AACC (American Association of Cereal Chemists), 2000. 10th Edition. Adapted from Method, 38-10.

Afzal A and Bano A, 2008. Rhizobium and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum*). International Journal of Agriculture and Biology, 10: 85-88.

Al-Karaki GN and Clark RB, 1998. Growth, mineral acquisition and water use by mycorrhizal wheat grown under water stress. Journal of Plant Nutrition, 21: 263–276.

Alam SM, 1999. Nutrition uptake by plants under stress condition. Pp. 285-315. In: Pessaraki M (ed). Handbook of plant and crop stress. Second Edition, Marcel Dekker Inc.

Amirabadi M, Rejali F, Ardakani MR and Borji M, 2009. Effect of azotobacter and mycorrhizal fungi inoculants at different levels of phosphorus on uptake of some mineral elements by forage Maize. Iranian Journal of Soil Research, 23(1): 107-115. (In Persian).

Arancon NCA, Edwards P, Bierman C, and Metzger JD, 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresource Technology, 93(2): 145-153.

Asghari HR, 2008. Vesicular–arbuscular (VA) mycorrhizae improve salinity tolerance in pre-inoculation subterranean clover (*Trifolium subterranean*) seedlings. International Journal of Plant Production, 2(3): 243-256.

Association of Official Analytical Chemists, 2005. Official Methods of Analysis of AOAC, Vol. II. Association of Official Analytical Chemist, 18th Edition, Washington, DC. Rating,1-4. vote.

Atayese MO, 2007. Field response of Groundnut (*Arachis hypogea* L.) cultivars to mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilizer in Abekuta, South West Nigeria. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 2(1): 16-23.

Benami A and Ofen A, 1984. Irrigation Engineering-Sprinkler, Trickle and Surface Irrigation: Principles, Design and Agricultural Practices. Irrigation Engineering Science Publications. IIIC Bet Dagan, 263-264.

Bethlenfalvay GJ, Franson RL, Brown MS and Mihara KL, 1989. The Glycne-*Glomus-Bradyrhizobium* symbiosis, IX: Nutritional, morphological and physiological responses of nodulated soybean to geopgraphic isolates of the mycorrhizal fungus, *Glomus mosseae*. Physilogia Plantarum, 76(2): 226-232.

Bolan NS, 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. Plant and Soil, 134: 189–207.

Boomsma CR and Vyn TJ, 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through Arbuscular mycorrhizal symbiosis. Field Crops Research, 108: 14–31.

Bremner JM and Mulvaney CS, 1982. Total nitrogen. Pp. 895-926. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds.). Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, Agronomy Monograph Series, Vol. 9.2. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America (ASA and SSSA), Madison, Wisconsin.

Debaeke P and Abdellah A, 2004. Adaptation of crop management to water-limited environments. European Journal of Agronomy, 21: 433-446.

Demir S, 2004. Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological, growth parameters of pepper. Turkish Journal of Biology, 28: 85-90.

Ehyaee H, Parsa M, Kafi M and Nasiri Mahallati M, 2011. Effect of foliar application of methanol and irrigation regimes on yield and yield components of chickpea cultivars. Iranian Journal of Pulses Research, 1(2): 37-48. (In Persian).

Habibzadeh Y, Jalilian J, Eivazy A, Tayeferezai H, Zardoshti MR and Pirzad A, 2013. Effect of arboscular mycorrhiza on water use efficiency and grain yield of mungbean under water Stress conditions. Journal of Agronomy, 100: 38-48. (In Persian).

Habibzadeh Y and Abedi M, 2014.The effects of arbuscular micorrhizal fungi on morphological characteristics and grain yield of Mung bean (*Vigna radiata* L.) plants under water deficit stress. Iranian Journal of Agriculture Science, 2 (1): 9-14. (In Persian).

Hassan TU and Bano A, 2015. Role of carrier-based biofertilizer in reclamation of saline soil and wheat growth. Archives of Agronomy and Soil Science, 61: 1719-1731.

Imam Y, 2011. Crops Cereals. Publication of Shiraz University.(In Persian).

Jaderlund L, Arthurson V, Grandhall U and 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.

Jeffries P, 2001. Achievements in the past and autlook for the future of AMF. Research School of Biosciences, University of Kent. Canterbury. Kent.

Kapoor R, Chaudhary V and Bhatnaga AK, 2007. Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. Mycorrhiza, 17: 581-587.

Koltai H and Kapulnik, 2010. Arbuscular mycorrhizas: physiology and function. Springer-verlag.

Korte LL, Williams JH, Specht TE and Sorensen RC, 1983. Irrigation of soybean genotypes during reproductive ontogeny. I. Agronomic responses. Crop Science, 28(3): 521-527.

Kottmann L, 2015. Rye (*Secale cereale* L.): agronomic performance under drought and methods of crop physiology to determine the drought tolerance of winter rye. Ph.D. thesis, University of Hohenheim, Germany.

Kramer PJ and Boyer JS, 1995. Water relations of plants and soils. Academic Press, San Diego.

Marschner H and Dell B, 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant and Soil, 159: 89-102.

Miransari M, 2010. Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant growth under different types of soil stresses. Plant Biology, 12(4): 563-569.

Mishra DJ, Rajvir S, Mishra UK and Kumar SS, 2013. Role of biofertilizer in organic agriculture: a review. Research Journal of Recent Sciences, 2: 39-41.

Mukerji KG and Chamola BP, 2003. Compendium of mycorrhizal research. A.P.H. Publisher. New Delhi. 310.

Munns R, 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment, 25(2): 239-250.

Ortas I, 2010. Effect of mycorrhiza application on plant growth and nutrient uptake in cucumber production under field conditions. Spanish Journal of Agricultural Reseaech, 8: 116-122.

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, Hachum A and Pala M, 2004. Lentil production under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. Journal of Agricultural Water Management , 68: 251-265.

Pei F, Li X, Liu X and Lao C, 2013. Assessing the impacts of droughts on net primary productivity in China. Journal of Environmental Management, 114: 362–371.

Plank CO, 1992. Plant Analysis Reference Producers for the Southern Region of the United States. TheUniversity of Georgia, Crop and Soil Science Deoartment. Athens.

Rabari A, Sinaki JM and Zarei M, 2014. Effects of Phosphate fertilizer and less irrigation on grain yield of the forage millet. Journal of Agronomy Sciences, 5(10): 27-38. (In Persian).

Rasouli-Sadaghiani M, Hassani A, Barin M, Rezaee Danesh Y and Sefidkon F, 2010. Effects of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on growth, essential oil production and nutrients uptake in basil. Journal of Medicinal Plants Reseaech, 4(21): 2222-2228.

Shamsi K, Kobraee S and Haghparast R, 2010. Drought stress mitigation using supplemental irrigation in rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties in Kermanshah, Iran. African Journal of Biotechnology, 9(27): 4197-4203.

Singh RP, Choudhary A, Gulati A, Dahiya HC, Jaiwal PK and Sengar RS, 1997. Response of plants to salinity in interaction with other abiotic and factors. Science Publishers, Enfield, 25–39.

Smith SE and Read DJ, 2008. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, London, U.K.

Stępień A, Wojtkowiak K, Pietrusewicz M, Skłodowski M and Pietrzak-Fiećko R, 2016. The yield and grain quality of winter rye (*Secale cereale* L.) under the conditions of foliar fertilization with micronutrients (Cu, Zn and Mn). Polish Journal of Natural Sciences, 31(1): 33-46.

Stone LR and Schlegel AJ, 2006. Yield–water supply relationships of grain sorghum and winter wheat. Agronomy Journal, 98(5): 1359-1366.

Tohidi-Moghaddam H, Sani B and Ghooshchi F, 2004. The effect of nitrogen fixing and phosphate solubilizing microorganism on some quantitative parameters on soybean from sustainable agricultural point of views". Proceeding of 8th Agronomy and Plant Breeding Congress of Iran, Guilan University, Iran. (In Persian).

Verma JP, Yadav J, Tiwari KN and Kumar A, 2013. Effect of indigenous *Mesorhizobium* spp. and plant growth promoting rhizobacteria on yields and nutrients uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under sustainable agriculture. Ecological Engineering, 51: 282-286.

Yaghoubian Y, Pirdashti H, Mohammadi Goltapeh E, Feiziasl V and Esfandari E, 2012. Investigation of dryland wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Azar 2) plants response to symbiosis with arbuscular mycorrhiza and mycorrhiza like fungi under different levels of drought stress. Journal of Agroecology, 4(1): 63-73. (In Persian).