به زراعی کشاورزی
دوره ۲۲ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۹
صفحه‌های ۳۴۴-۳۳۳

تأثیر تلقیح مایکوریزا و کاربرد مویان بر خصوصیات علوفه‌ای ذرت هیبرید ۷۰۶ در شرایط کم‌آبیاری

طیبه رستمی[۱]، سعیده ملکی فراهانی[۲*]
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.
۲. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۰۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۲۱

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تلقیح قارچ مایکوریزا و مویان بر خصوصیات علوفه‌ای گیاه ذرت تحت شرایط کم‌آبیاری، آزمایش به‌صورت کرت خردشده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. کرت‌های اصلی شامل رژیم‌های کم‌آبیاری در سه سطح (۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده) و کرت‌های فرعی شامل قارچ مایکوریزا (کاربرد و عدم کاربرد قارچ مایکوریزا) و مویان (کاربرد و عدم کاربرد مویان) بودند. تجزیه داده‌ها نشان داد که کم‌آبیاری، تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد مویان اثر معنی‌داری بر صفات پروتئین، ماده خشک قابل هضم، قندهای محلول، درصد دیواره سلولی، فیبرهای شسته‌شده با شوینده خنثی، وزن خشک علوفه و کارایی مصرف آب داشت. نتایج نشان داد که با افزایش درصد تخلیه آب قابل استفاده و کاربرد مایکوریزا درصد پروتئین، درصد کربوهیدرات‌های محلول در آب، درصد فیبرهای شسته‌شده با شوینده‌های اسیدی در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۳۹/۲۴، ۳۰/۶۴ و ۳۹ درصد افزایش نشان دادند. کاربرد مویان بر درصد فیبرهای شسته‌شده با شوینده‌های خنثی معنی‌دار نبود. همزمان با افزایش سطوح تنش کم‌آبیاری وزن خشک علوفه کاهش یافته و بیش‌ترین وزن خشک علوفه (۴۰۰ گرم در بوته) در شرایط آبیاری کامل و کاربرد مویان و مایکوریزا مشاهده شد. نتایج هم‌چنین نشان داد که با افزایش شدت تخلیه آب قابل استفاده، کاربرد مویان و تلقیح با قارچ مایکوریزا افزایشی ۹۷ درصدی در کارایی مصرف آب نسبت به شاهد مشاهده شد.

کلیدواژه‌ها: تنش آبی، ذرت، قارچ مایکوریزا، کارایی مصرف آب، کیفیت علوفه.

The Impact of Applying Mycorrhiza and Surfactant on Forage Characteristics of Maize under Deficit Irrigation

Tayebe Rostami[1], Saeideh Maleki Farahani[2*]
1. M.Sc. Student, Department of Crop production and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Shahed University, Tehran, Iran
2. Assistant Professor, Department of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Shahed University, Tehran, Iran
Received: October 27, 2019 Accepted: June 10, 2020

Abstract

In order to investigate the effect of mycorrhiza and surfactant on forage characteristics of corn (*Zea mays* L.) under deficit irrigation condition, a split plot factorial experiment has been conducted during 2016 in a randomized complete block design with three replicatess at the Research Farm of Agricultural College, Shahed University, Iran. The experimental treatments include irrigation at three levels of 30%, 60%, and 90% available soil water depilation as the main factor and inoculation with mycorrhizal fungi (*Glomus etunicatum, G. intraradices*, and *G. mossea*) at two levels (inoculation and no inoculation with mycorrhizal) and treatment of surfactant solution containing two levels (application of surfactant and non-use of surfactant solution) as the sub factors. Results show that by increasing depletion of available soil water, application of mycorrhizal fungi increases crude protein percentage (CP), water soluble carbohydrate (WSC), and acid detergent fibre (ADF) by 39.24%, 30.64%, and 39%, respectively. Application of surfactant on NDF percentage has not been significant. As deficit irrigation stress rises, dry weight of forage declines. The highest dry weight of forage (400 gr/plant) occurs under normal irrigation conditions and application of surfactant and mycorrhiza. Results also show that by increasing the amount of available water discharge, application of surfactant and inoculation with mycorrhizal fungi increase water use efficiency by 97%, compared to the control.

Keywords: Corn, forage quality, mycorrhiza fungi, water stress, water use efficiency.

* نویسنده مسئول Email: maleki@shahed.ac.ir

۱. مقدمه

در بین گیاهان علوفه‌ای، ذرت یکی از مهم‌ترین‌هاست که در گستره بزرگی برای تولید دانه و علوفه غیرمرتعی کشت‌وکار می‌شود. دانه این گیاه در تغذیه پرندگان و بخش‌های هوایی آن پس از برداشت در مرحله شیری، برای تولید علوفه سیلویی مصرف می‌شود (Mirhadi, 2002). ازآنجایی‌که ذرت در دوره‌های مختلف رشد و نمو نیازهای متفاوتی به عناصر غذایی دارد، اثر تنش خشکی نیز بر روند غلظت و تجمع عناصر غذایی در دوره‌های مختلف رشدی متفاوت بوده و با افزایش نیاز گیاه به عناصر غذایی در هر مرحله از رشد، اثر تنش خشکی نیز در آن دوره بیش‌تر خواهد بود (Ocampo, 2004). تولید علوفه و محصولات زراعی به‌طور مستقیم از طریق تغییرات اقلیمی و به‌طور غیرمستقیم از طریق تغییر در دسترسی به مواد مغذی تحت تأثیر قرار می‌گیرند که منجر به افزایش تغییر در عملکرد و کیفیت علوفه می‌شود (Olesen *et al*., 2011). کیفیت علوفه که تابع عوامل ژنتیک، محیط (Buxton, 1996)، سن گیاه و مرحله رشد (Ghoorchi *et al*., 1997) است، با توجه به پارامترهایی مانند درصد پروتئین، درصد فیبر و قابلیت هضم تعریف می‌شود (Mirlohi *et al*., 2000) و در این میان قابلیت هضم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا با مقدار انرژی و موادی که به‌وسیله دام دریافت می‌شود، ارتباط دارد (Buxton, 1996).

استفاده بهینه از منابع بیولوژیک نه‌تنها دارای اثرات مثبتی بر خصوصیات خاک می‌باشد، بلکه از جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی نیز مفید بوده و می‌تواند جایگزین مناسبی برای نهاده‌های شیمیایی باشد (Dodd, 2000). قارچ‌های مایکوریزا آرباسکولار از طریق افزایش سطوح جذب‌کننده عناصر غذایی از جمله هیف‌ها و میسیلیوم‌ها سبب افزایش سطح جذب آب و جذب عناصری با تحرک کم مانند مس (Cu)، روی (Zn) و فسفر (P) و در نتیجه افزایش عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود (Santiago *et al*., 2017). این قارچ‌ها علاوه بر افزایش جذب مواد غذایی ممکن است سبب تحریک مواد تنظیم‌کننده رشد، افزایش فتوسنتز، بهبود تنظیم فشار اسمزی در شرایط خشکی و افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی نیز می‌شوند (Esmaeilpour *et al*., 2013). این قارچ‌ها با افزایش تنوع زیستی میکروبی محیط به بازسازی خاکدانه‌های خاک و افزایش بهره‌وری و کنترل فرسایش خاک کمک می‌کنند (Millar & Bennett, 2016; Faria *et al*., 2017).

مویان‌ها یا عوامل خیس‌کننده دارای مولکول‌های آمفیبولی هستند که کشش سطحی آب را کاهش و حلالیت ترکیبات آلی آب‌گریز را افزایش می‌دهد (Laha *et al*., 2009). کاربرد مویان در خاک باعث کاهش کشش سطحی آب شده و در نتیجه نفوذ آب از سطح خاک راحت‌تر و سطح خیس‌کنندگی خاک افزایش می‌یابد (Pulter *et al*., 2009). Mehrvarz *et al*. (2013) در شرایط تنش شدید، استفاده از مویان‌ها باعث افزایش ارتفاع بوته در مقایسه با شرایط بدون کاربرد مویان می‌شود. طی سال‌های اخیر، پژوهش‌گران بر تأثیر کم‌آبیاری بر اجزای عملکرد علوفه، عملکرد دانه و ساختار خاک تمرکز کرده‌اند (Chaichi *et al*., 2015). همان‌گونه که مشخص شده است کاربرد مایکوریزا و مویان هر یک به تنهایی اثرات مثبتی بر تعدیل تنش خشکی در گیاهان گذاشته است. لذا در این پژوهش اثر کاربرد مویان و مایکوریزا در شرایط کم‌آبیاری بر کمیت و کیفیت علوفه ذرت مورد بررسی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر مویان و تلقیح مایکوریزا جنس *Glomus*

و گونه‌های *etunicatum*، *intraradices* و *mossea* بر ویژگی‌های علوفه‌ای ذرت هیبرید ۷۰۶ در شرایط کم‌آبیاری آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شاهد با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳٤ دقیقه شرقی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۸ دقیقه شمالی و میزان بارندگی سالیانه ۲۱٦ میلی متر، در سال زراعی ۱۳۹٦-۱۳۹۵ انجام شد. مشخصات خاک مزرعه آورده شده است (جدول ۲). آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در سه تکرار و با سه عامل انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح آبیاری پس از ۳۰، ٦۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده به‌عنوان عامل اصلی و تلقیح با قارچ مایکوریزا شامل دو سطح (کاربرد و عدم کاربرد مایکوریزا) و مویان در دو سطح (کاربرد و عدم کاربرد مویان) به‌عنوان عوامل فرعی بودند. زمان‌های آبیاری مزرعه با اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌روش وزنی از طریق نمونه‌گیری خاک در منطقه توسعه ریشه در تیمارهای مختلف و رسیدن به رطوبت موردنظر تعیین گردید. معیار انتخاب تیمارهای آبیاری، درصد تخلیه آب قابل استفاده از عمق توسعه ریشه بود. در این آزمایش با نمونه‌گیری‌های مکرر خاک، زمان رسیدن به تیمار مورد نظرمشخص شد. پس از رسیدن رطوبت خاک هر تیمار به مقدار موردنظر، آبیاری تیمارها انجام شد و میزان آب آبیاری مصرفی برای هر کرت از رابطه (۱) محاسبه شد.

رابطه (۱)
$$In = \frac{(Fc- \Theta) \times D \times A}{۱۰۰}$$

که در این رابطه In= حجم آب آبیاری برحسب مترمکعب، Fc= رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی، Θ= رطوبت خاک در هر تیمار، D= عمق توسعه ریشه (متر) و A= مساحت کرت (مترمربع) می‌باشد. میزان آب مورداستفاده در هر تیمار در جدول (۱) مشخص شده است.

آبیاری به‌صورت جوی و پشته انجام شد و انتهای کرت ها برای جلوگیری از خروج آب به‌طور کامل بسته شد. در این مطالعه از ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰٦ استفاده شد. در هر کرت چهار ردیف با فاصله نیم متر و فاصله بوته ۲۰ سانتی‌متر کشت شدند. کاربرد مویان به مقدار یک میلی‌گرم در هر لیتر آب آبیاری (Daneshnia *et al*., 2016) در تمامی زمان‌های آبیاری صورت گرفت. قارچ مایکوریزا نیز به‌صورت تلقیح با بذر به مقدار ۳۰ گرم در هر کیلوگرم بذر در زمان کشت در تیمارهای تلقیحی استفاده شد. در نهایت در زمان رسیدگی بلال (پایان خمیری‌شدن دانه) برای اندازه‌گیری صفات کیفی، نمونه‌هایی از کل اندام هوایی تهیه شد و پس از خشک‌کردن، آسیاب شده و سپس ۲۰ گرم از نمونه‌های آسیاب‌شده برای اندازه‌گیری صفات کیفی برداشته شد. اندازه‌گیری در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع و با استفاده از دستگاه آنالیز کیفیت علوفه (مدل ۸٦۲۰ ساخت آمریکا) انجام شد. داده‌های حاصله از طریق نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید.

جدول ۱. برنامه آبیاری و میزان آب مورد استفاده در هر تیمار آبیاری

تیمار	تعداد دفعات آبیاری	میزان آب استفاده‌شده در هر کرت (lit)
۳۰ درصد تخلیه آب قابل‌استفاده	۱۵	۱۱۹۸
٦۰ درصد تخلیه آب قابل‌استفاده	۹	۱۰۲۷
۹۰ درصد تخلیه آب قابل‌استفاده	۷	۹۳۵

جدول ۲. مشخصات خاک مزرعه در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر

سیلت (٪)	رس (٪)	شن (٪)	نیتروژن (٪)	اسیدیته خاک	بافت خاک	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	فسفر ($mg.kg^{-1}$)	آهن ($mg.kg^{-1}$)	بر ($mg.kg^{-1}$)	روی ($mg.kg^{-1}$)	مس ($mg.kg^{-1}$)	منگنز ($mg.kg^{-1}$)
٤٤	٢٠	٣٦	٠/١	٧/٥	لومی رسی	٣٧٦/٦	٢٣٠	٠/٠٩	٥/٣١	٢/٠٥	٢/٤١	٣/١

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. درصد پروتئین علوفه[1]

در گونه‌های علوفه‌ای، پروتئین خام یکی از قابلیت‌های توانایی هضم علوفه می‌باشد (Hughes *et al.*, 2014). تجزیه داده‌ها نشان داد که هر سه عامل آزمایشی کم‌آبیاری، تلقیح با قارچ مایکوریزا آرباسکولار و کاربرد مویان بر درصد پروتئین اثر معنی‌داری داشتند (جدول ۳).

با افزایش درصد تخلیه آب قابل استفاده پروتئین (CP) افزایش معنی‌داری یافت اما با کاربرد مایکوریزا این افزایش معنی‌دار بود (۳۹/۲٤ درصد) (شکل ۱).

در مطالعه عکس‌العمل فیزیولوژیک گندم با کاربرد قارچ مایکوریزا نتایج نشان داده شده است که قارچ مایکوریزا موجب افزایش میزان نیتروژن، پروتئین، کربوهیدارت و کل پروتئین‌های محلول در دانه و ساقه شده است (Smith & Read, 2008). هم‌چنین Weichenthal *et al.* (2004) در آزمایشی روی ارقام علوفه‌ای سورگوم و ارزن مرواریدی و یونجه نشان دادند که درصد پروتئین در ارزن مرواریدی تحت شرایط دیم نسبت به شرایط آبی افزایش یافت. در مطالعه Liu *et al.* (2018) بر گیاه یونجه نتایج نشان داد که با افزایش سطوح تنش خشکی میزان پروتئین خام (CP) کاهش یافت که با نتایج این مطالعه مغایرت دارد. در مطالعه Watson *et al.* (2002) بیان داشتند که علت کاهش پروتئین با افزایش تنش به این دلیل است که میزان پروتئین گیاه بستگی به میزان نیتروژن در دسترس گیاه دارد و چون با افزایش تنش خشکی نیتروفیکاسیون یونجه کاهش پیدا می‌کند، درنتیجه میزان نیتروژن این گیاه هم با افزایش تنش کاهش پیدا می‌کند.

۳. ۲. ماده خشک قابل هضم[2]

تجزیه داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف آبیاری و تلقیح با مایکوریزا بر درصد ماده خشک قابل هضم (DMD) معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش درصد آب قابل‌استفاده مقدار ماده خشک قابل هضم به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. اما با کاربرد مایکوریزا به‌دلیل در دسترس قرارگرفتن آب آبیاری توسط قارچ‌های مایکوریزا این کاهش حدود ۱۱/۸٤ درصد کم‌تر بود (شکل ۲).

Yazdani *et al.* (2009) در مطالعه‌ای در گیاه ذرت نشان دادند که کاربرد میکروارگانیسم های حل‌کننده فسفات تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کمی و کیفی ذرت داشت و کیفیت علوفه ذرت را از طریق افزایش میزان قابلیت هضم ماده خشک بهبود بخشید. نتایج پژوهش‌ها نشان داد که کیفیت علوفه تریتیکاله در اثر تلقیح با قارچ مایکوریزا، بهبود چشم‌گیری نسبت به شاهد داشته است (Cazzato *et al.*, 2012).

۳. ۳. قندهای محلول برگ، ساقه و بلال[3]

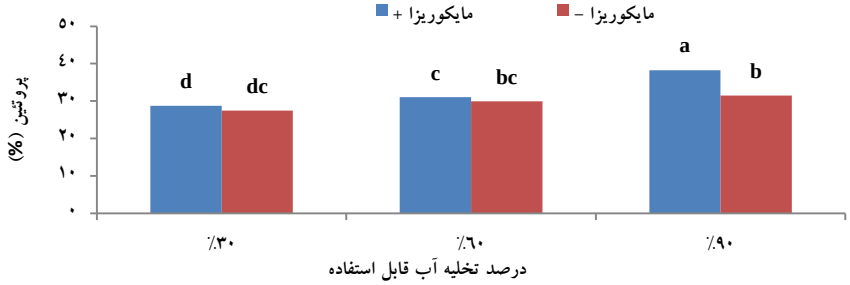
تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که قندهای محلول برگ، ساقه و بلال (WSC) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح آبیاری، تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد مویان قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش

1. Crude protein

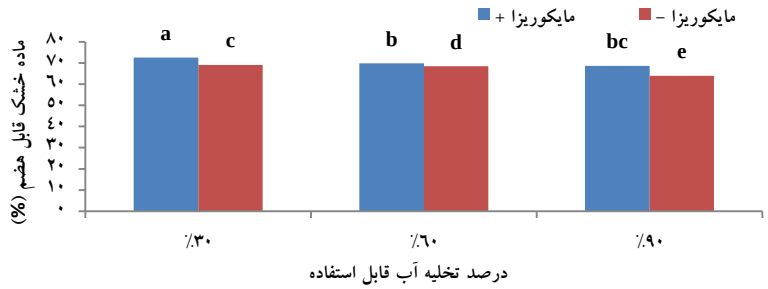
2. Dry matter digestible

3. Water soluble carbohidrates

سطوح کم‌آبیاری WSC روندی افزایشی را نشان داد، به‌طوری‌که در تیمار تنش شدید و تلقیح با قارچ مایکوریزا (۳۰/٦٤ درصد) و مویان (۵۲/۸۸ درصد) بیش‌ترین WSC را نشان داد (شکل ۳- الف، ب و ج). تنش خشکی از طریق تأثیر در افزایش رشد گیاه یونجه موجب افزایش کیفیت علوفه در این گیاه می‌شود (Cassida, 2012).



شکل ۱. اثر کم‌آبیاری و مایکوریزا روی درصد پروتئین

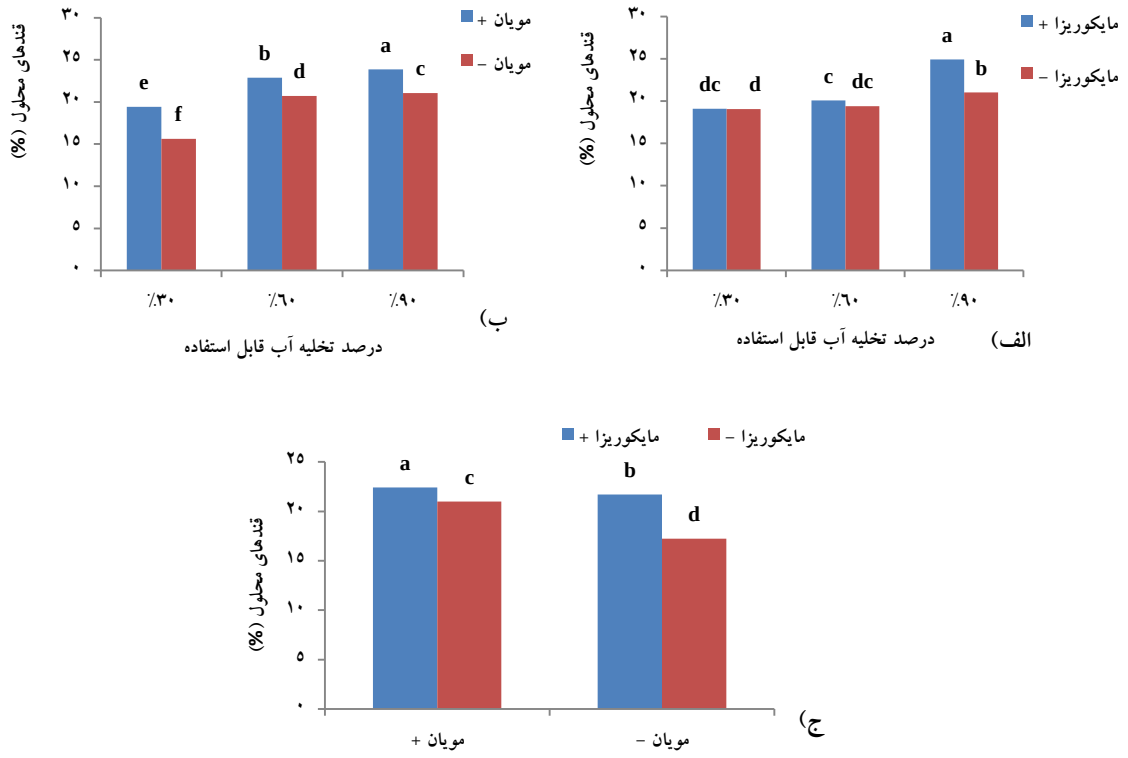


شکل ۲. اثر کم‌آبیاری و مایکوریزا روی ماده خشک قابل هضم

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر کم‌آبیاری، مایکوریزا و مویان

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		پروتئین	ماده خشک قابل هضم	قندهای محلول	الیاف شسته‌شده با شوینده‌های اسیدی	الیاف شسته‌شده با شوینده‌های خنثی	وزن خشک علوفه	کارایی مصرف آب
بلوک	۲	۳٤/۷۹**	٤/٤۱^{ns}	۱/۷٤^{ns}	۱۸۹/۹۳**	۵۱/۹۰**	۲۹۸۳/۳۵^{ns}	۰/۱۷٦۵^{ns}
آبیاری کم	۲	۷٦/٦۰**	٤/۷٦*	۳۵/۳۵**	۳۰۳/۵۵**	۱۰۹/۲۲**	۸۷۰۱۵/۷۸**	٤/۷۸۲**
خطا	٤	۰/٤۱	۱/۸۹	۰/۹۰۳	۰/۵۵	۸/۵۵	٤۲۵۸/٤۸	۰/۰۰۱۱
مایکوریزا	۱	٦۸/٦۲**	۱۸۲/٤۳**	٤۲/۳۰*	۱۵۸/۷۷**	۱٦۰/۲۵**	۳۷٦۳۹/۱۵**	۰/٤٦٦٤**
مویان	۱	۲۱/۹٤**	۲۵/۸۱**	۱۵۵/۰۲**	۱۰۷/۳۱**	٤٦۱/۵۲**	۲۱/۸۰^{ns}	۰/۱۷۳۲۹^{ns}
آبیاری× مایکوریزا	۲	۲/۷۵**	۱۳٦/۹۹**	۹۳/۹۹**	۸۰/٤۲**	۳۸۹**	۹۱۱۰۸/٤۳**	۰/۰۰۲۳۱^{ns}
آبیاری× مویان	۲	۳/٤٤^{ns}	۲/٦۱^{ns}	۱٤۱/۳۳**	۲۱۲/٤۲**	٤۰۷/۵۹**	٤۵۰۰۷/۵۹**	۰/۰۰٤۳^{ns}
مایکوریزا× مویان	۲	۱/٦۵^{ns}	۸/۰۷^{ns}	۸۸/۹۵**	۳۵۸/۰٤**	۰/۹۱^{ns}	۷۷۹۳۳/۰۷**	۰/۱۹۳۲^{ns}
آبیاری× مایکوریزا× مویان	۲	۰/٤۰^{ns}	۱۱۹/٤٤**	۵۰/٤٦**	۳۲۵/۱٦**	۳۷/۹٤**	۱۹۷۹۸/٤٦**	۰/٤٤٦۹**
خطا	۱۸	٤۸/۵۱۰	۵۵/٤۰	۲۳٦/۵۰	۹۰/۰۱٦	۱۲٤/٤۹	۷۳۲۵٤/۷۸	۰/۹۸۹۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/٦٦	۱/۸۰	۱۲/٤٤	۵/۱۰	۳/۵۱	۱٦/۰۳	۱٤/۹٤

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.



شکل ۳. اثر کم‌آبیاری، مایکوریزا و مویان بر درصد قندهای محلول

بعضی از پژوهش‌گران بر این باور هستند که همزیستی با مایکوریزا باعث افزایش قندهای محلول در برگ گیاهان میزبان می‌شود و دلیل این امر را این گونه بیان کرده‌اند که این ترکیبات با تجمع در سلول، باعث کاهش پتانسیل آب برگ شده و گیاه را از صدمات تنش خشکی محافظت می‌کنند (Khalafallah & Abo-Ghalia, 2008). در پژوهش Shoresh *et al.* (2010) نشان داد میزان قندهای محلول برگ ذرت تلقیح‌شده با قارچ مایکوریزا تحت تنش خشکی نسبت به گیاهان غیر تلقیحی افزایش پیدا کرد. Lidon & Zlatev (2012) گزارش کردند که اثرات تنش خشکی معمولاً سبب کاهش رشد و آسیمیلاسیون کربن می‌شود. تعادل اسموتیک قادر به حفظ حالت تورگر سلول جهت بقا و یا کمک به رشد گیاه ارزن مرواریدی و گلرنگ تحت شرایط تنش شدید خشکی شد (Shao *et al.*, 2008; Maghami *et al.*, 2014).

۳. ٤. درصد دیواره سلولی برگ، ساقه و بلال عاری از همی سلولز[1]

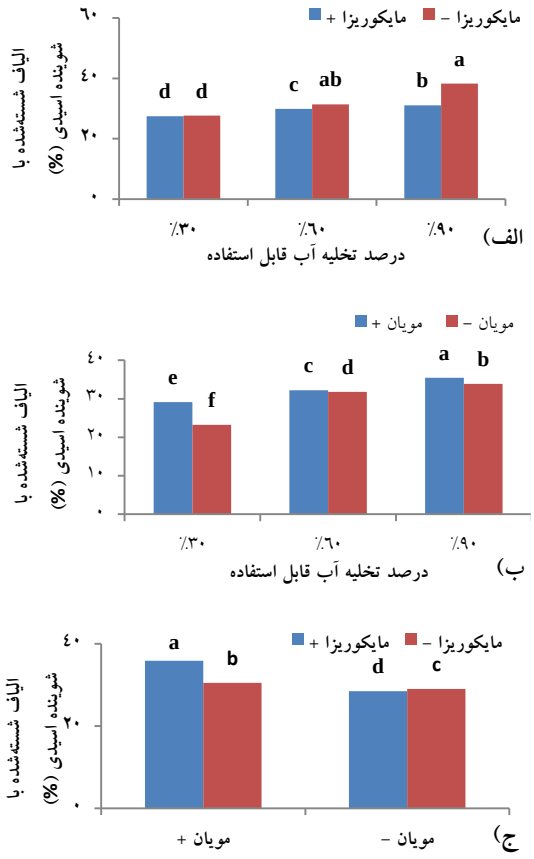
الیاف شسته‌شده با شوینده‌های اسیدی (ADF) بخشی از فیبرهای قابل‌هضم هستند که کم‌تر شامل لیگنین و سلولز خام می‌باشند (Contreras-Govea *et al.*, 2009). با افزایش درصد تخلیه آب درصد ADF افزایش یافت اما کاربرد مایکوریزا این افزایش را تعدیل کرد، به‌طوری‌که بیش‌ترین ADF در تیمار عدم کاربرد مایکوریزا و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل‌استفاده مشاهده شد (۳۹ درصد) (شکل ٤– الف). اما کاربرد مویان نه تنها افزایش ADF ناشی از تنش را کاهش نداد که آن را ١٦ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ٤– ب). در مطالعه Chaichi *et al.* (2015) کاربرد توأم مایکوریزا و مویان سبب افزایش

1. Asid detergent fiber

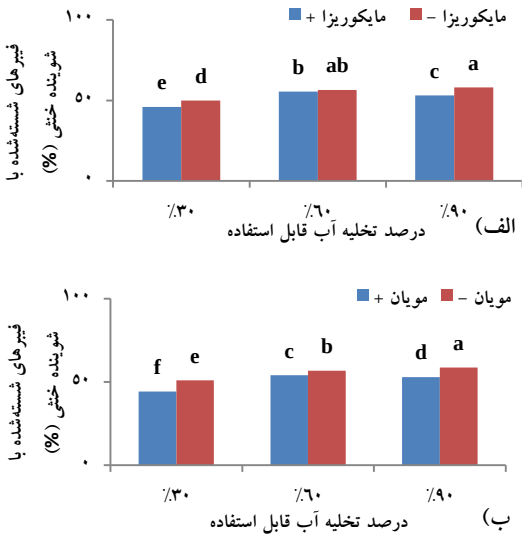
۲۳ درصد ADF شد. که با نتایج مطالعه ما همخوانی داشت (شکل ٤- ج). در مطالعه Daneshnia *et al.* (2016) روی گیاه شبدر برسیم بیان داشتند افزایش ADF می‌تواند به‌دلیل رقابت گیاه برای جذب آب و مواد غذایی مورد نیاز و شرایط مناسب جهت رشد ساقه گیاه تحت شرایطی که مویان استفاده کرده‌ایم، باشد.

۳. ۵. درصد فیبر محلول برگ در شوینده خنثی[1]

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها همزمان با افزایش شدت تنش خشکی، میزان فیبر محلول برگ در شوینده خنثی (NDF) ۲٦ درصد افزایش یافت. اما این افزایش در تیمارهایی که مایکوریزا دریافت کردند کم‌تر بود (شکل ٥- الف). که با نتایج Mehrvarz *et al.* (2013) در مطالعه اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر صفت NDF گیاه جو مطابقت دارد. نتایج پژوهش‌های Comaei *et al.* (2015) نشان داد که تلقیح ماشک گل‌خوشه‌ای با میکروارگانیسم‌ها بر مقدار NDF اثر معنی‌داری ندارد. تجزیه داده‌ها همچنین نشان داد که درصد NDF به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار با مویان قرار گرفت (جدول ۳). همچنین کاربرد مویان باعث کاهش NDF شد. به‌طوری‌که بیش‌ترین درصد NDF (۱۵) در ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده و عدم کاربرد مویان مشاهده شد (شکل ٥- ب) که با نتایج Daneshnia *et al.* (2016) در گیاه شبدر برسیم تحت شرایط کم‌آبیاری و کاربرد مویان هم‌خوانی دارد. مویان سبب افزایش سطح تماس آب در خاک می‌شود و ریشه گیاه آب بیش‌تری در دسترس آن قرار می‌گیرد که این منجر به رشد رویشی بیش‌تر گیاه و افزایش NDF شد.



شکل ٤. اثر کم‌آبیاری، مایکوریزا و مویان بر الیاف شسته‌شده با شوینده‌های اسیدی



شکل ۵. اثر کم‌آبیاری، مایکوریزا و مویان بر درصد فیبرهای شسته‌شده با شوینده خنثی

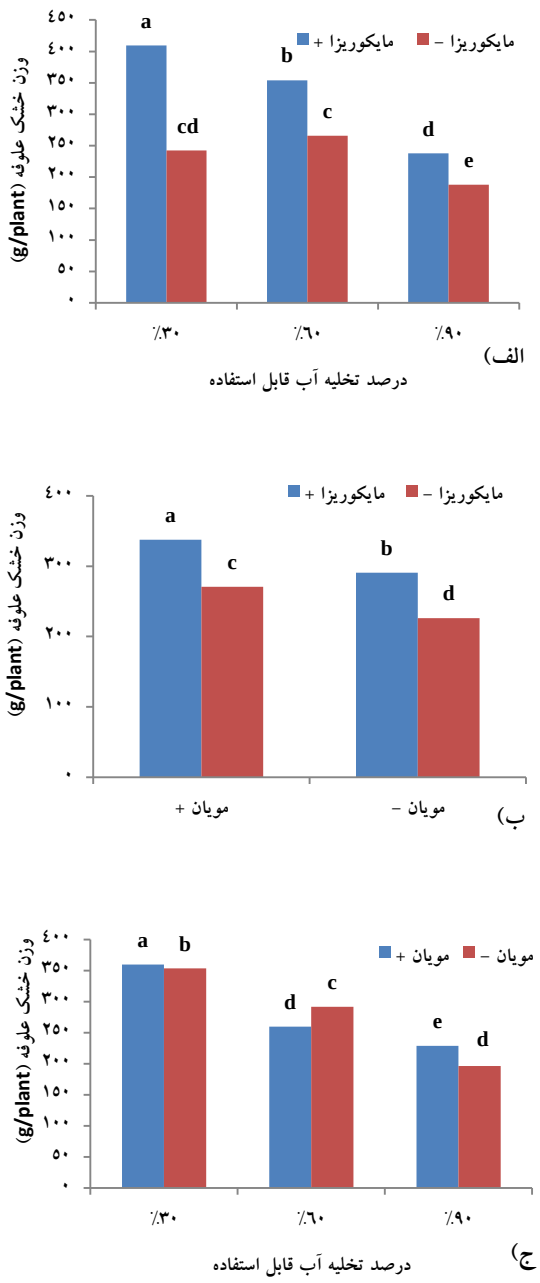
1. Neutral detergent fibers

۳. ٦. وزن خشک علوفه[1]

با کاهش میزان آب قابل‌استفاده در خاک وزن خشک علوفه (DMD) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری‌که در تیمار ۹۰ درصد تخلیه ٥٤ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت اما تلقیح با قارچ مایکوریزا آرباسکولار و کاربرد مویان باعث تعدیل کاهش وزن خشک شد به‌طوری‌که شاهد کاهش ۳۲ درصدی نسبت به شاهد بودیم (شکل ٦- الف و ب). در واقع در شرایط عدم تنش خشکی، گیاه طول دوره رشد بیش‌تری داشته و در این دوره با افزایش سطح برگ، تولید فتوسنتزی بیش‌تری داشته و در نتیجه وزن خشک علوفه (DMD) آن نسبت به شرایط تنش افزایش می‌یابد (Sinaki *et al.*, 2007). Bath *et al.* (2005) اظهار داشتند که تلقیح مایکوریزا با گیاه ماش، باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک علوفه در این گیاه می‌شود. کاربرد مویان نیز باعث افزایش وزن خشک علوفه در شرایط کم‌آبیاری شد (Jafarian, 2014). نتایج تجزیه داده‌ها همچنین نشان داد که تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد مویان DMD را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌طوری‌که بالاترین وزن خشک بوته (٤۹ درصد) نسبت به شاهد در تلقیح با قارچ مایکوریزا و کاربرد مویان مشاهده شد (شکل ٦- ج).

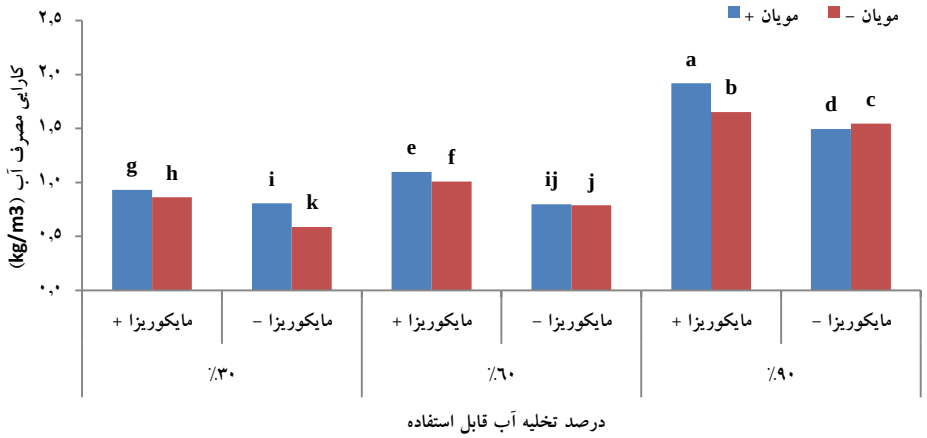
۳. ۷. کارایی مصرف آب[2]

تجزیه داده‌ها نشان داد که با افزایش درصد تخلیه آب قابل‌استفاده در خاک، کارایی مصرف آب (WUE) افزایش معنی‌داری یافت. به‌طوری‌که کارایی مصرف آب در تیمار ۹۰ درصد تخلیه آب قابل‌استفاده ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. در تمامی تیمارهای آبیاری، کاربرد مایکوریزا باعث افزایش حداقل ۱۰ درصد WUE نسبت به تیمارهای بدون مایکوریزا شد (شکل ۷). هم‌چنین کاربرد مویان نیز باعث افزایش حداقل این صفت به‌خصوص در زمان کاربرد همزمان با مایکوریزا نسبت به تیمارهای بدون مویان شد.



شکل ٦. اثر کم‌آبیاری، مایکوریزا و مویان بر وزن خشک علوفه

1. Dry mater weight
2. Water use efficiency

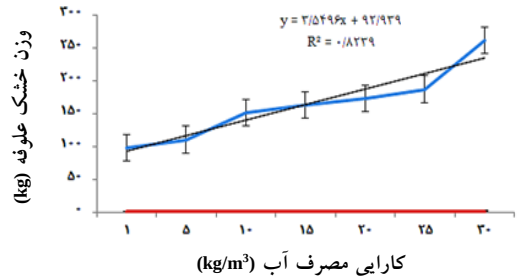


شکل ۷. اثر کم‌آبیاری، مایکوریزا و مویان بر کارایی مصرف آب

همزمان با افزایش محدودیت رطوبتی به‌طور معمول WUE افزایش پیدا می‌کند (Garica *et al.*, 2009). از سوی دیگر کاربرد مویان نیز باعث افزایش کارایی مصرف آب شد که این افزایش زمانی‌که همزمان قارچ مایکوریزا نیز به‌کار رفت، بیش‌تر از تیمارهای بدون مایکوریزا بود. به بیان دیگر نقش مثبت کاربرد مویان و مایکوریزا بر کارایی مصرف آب در این مطالعه دیده شد. کاربرد مویان با در اختیار قراردادن آب بیش‌تری در منطقه ریشه سبب کاهش معنی‌داری در مصرف آب و کاهش نیاز آبی گیاه می‌شود (Moore *et al.*, 2010). Nagarathna *et al.* (2007) در مطالعه اثر همزیستی مایکوریزایی بر رشد آفتابگردان تحت شرایط تنش رطوبتی نتیجه گرفتند که کارایی مصرف آب و بازده تجمعی مصرف آب در گیاهان مایکوریزایی آفتابگردان نسبت به گیاهان تلقیح‌نشده بیش‌تر بود (Miller, 2000). Guerin-Laguette *et al.* (2003) گزارش کرده‌اند که افزودن یک نوع مویان مصنوعی غیرفعال به خاک باعث می‌شود هیف‌ها به‌راحتی با ذرات خاک در تماس قرار بگیرند. در واقع به‌دلیل ویژگی‌های مویان‌ها جذب آب و بعضی از مواد مغذی مانند نمک‌های معدنی افزایش پیدا می‌کند.

۳. ۸. تجزیه رگرسیونی

بعد از کمی‌سازی نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردید که واکنش عملکرد علوفه ذرت نسبت به کارایی مصرف آب از تابع خطی ساده تبعیت می‌کند. این تابع ۸۲ درصد از تغییرات کارایی مصرف آب را توجیه می‌کند (شکل ۸). براساس نمودار برازش‌داده‌شده، با افزایش کارایی مصرف آب افزایش میزان عملکرد علوفه شروع شد. سرعت افزایش با توجه به ضریب b، ۳/۵۴۹۶ می‌باشد.



شکل ۸. رگرسیون خطی بین کاهش وزن خشک علوفه و کارایی مصرف آب در ذرت

٤. نتیجه‌گیری

نتایج نهایی نشان داد که که تنش خشکی شدید باعث افزایش میزان پروتئین خام علوفه، درصد NDF، درصد

ADF و قندهای محلول کل و کاهش میزان ماده خشک قابل‌هضم DMD شد. هم‌چنین کاربرد قارچ مایکوریزا بر صفات پروتئین خام علوفه، درصد NDF، درصد ADF و WSC تأثیر گذاشت. به‌طورکلی، نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از مایکوریزا و مویان در شرایط تنش خشکی می‌تواند در بهبود صفات کمی و کیفی علوفه ذرت و افزایش کارایی مصرف آب تأثیر به‌سزایی داشته باشد. هم‌افزایی اثر مویان و مایکوریزا بر بیش‌تر صفات علوفه‌ای مبین آن است که احتمالاً کاربرد مویان با افزایش خاصیت آبدوستی مایکوریزا منجر به فراهمی آب بیش‌تر در منطقه توسعه ریشه شده و این امر علاوه بر افزایش کارایی مصرف آب منجر به بهبود صفات کمی و کیفی علوفه در شرایط تنش خشکی شده است.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

6. منابع

Bath, S.A., Thenua, O.V.S., Shivakumar, B.G., & Malik, J.K. (2005). Performance of summer green gram (*Vinga radiate* L.) Wilczek] as influenced by biofertilizer and phosphorus nutrition. *Haryana Journal of Agronomy*, *21*, 203-205.

Buxton, D. R. (1996). Quality-related charact eristics of forages as influenced by plant environment and agronomic factors. *Animal Feed Science and Technology*, *59*, 37-49.

Cassida, K. (2012). Managing alfalfa during drought. *managing_alfalfa_during_drought*. http://www.canr.msu.edu/news.

Cazzato, E., Laudadio, V., & Tufarelli, V. (2012). Effects of harvest period, nitrogen fertilization and mycorrhizal fungus inoculation on triticale (*Triticosecale Wittmack*) forage yield and quality. *Renewable Agriculture and Food Systems, 27*(4), 278-286. DOI: https://doi.org/10.1515/ijafr-2018-0005.

Chaichi, M.R., Nurre, P., Slaven, J., & Rostamza, M. (2015). Surfactant application on yield and irrigation water use efficiency in corn under limited irrigation. *Crop Science*. *J. 55*, 386-393.

Comaei, R., Sharifabadi, H., & Naserian, A. (2015). The Effect of Application of Biological, Chemical, and Organic Fertilizers on Some Qualitative Characteristics of Cultivars (*Vicia villosa* Roth) in greenhouse conditions. *Iranian Journal of Agricultural Research, 14*(4), 699-710.

Contreras-Gove, F. E. Muck, R. E., Armstrong K. L., & Albrecht, K. A. (2009). Fermentability of corn–lablab bean mixtures from different planting densities. *Animal Feed Science and Technology*, *149*(3), 298-306.

Daneshnia, F. Amini, A., & Chaichi, M. R. (2016). Berseem clover quality and basil essential oil yield in intercropping system under limited irrigation treatments with surfactant. *Agriculctural water management, 164* (2), 331-339. http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.036 .

Dodd, J. (2000). The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agro-natural ecosystems. *Outlook on Agriculture*, *29*(1), 63-70.

Esmaeilpour, B., Jalilvand, P., & Hadian, J. (2013). Effects of drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi on some morphophysiological traits and yield of savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Agroecology*, *5*(2), 169- 177. (in Persian)

Faria, A.B.C., Monteiro, P.H.R., Auer, C.G., & Angelo, A.C. (2017). Uso de ectomicorrizas na biorremediação florestal. Ciência Florestal, Santa Maria, 27(1), 21-29 https://doi.org/10.5902/1980509826444

Garica, Y., Garica, A., Guerra, L.C., & Hoogenboom, G. (2009). Water use and water use efficiency of sweet corn under different weather conditions and soil moisture reginmes. *Agricultural Water Management, 22*(4), 1369-1376. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.022

Ghoorchi, T., Ghorbani, G., Basiri. M., & Sadeghian, M. (1997). Determination of digestibility, degradability and chemical composition of three pasture species of Ardestan.. *In: Proceeding of 2nd National Conference on Desertification and Desertificati on Control Methods. Kerman, Iran*. 517-525. (In Persian)

Guerin-Laguette A., Vaario, L. M., Matsushita, N., Shindo, K., Suzuki و K., & Lapeyrie, F. (2003). Growth stimulation of a Shiro-like, mycorrhiza forming, mycelium of *Tricholoma matsutake* on solid substrates by non-ionic surfactants or vegetable oil. *Mycological Progress*, *2*, 37-44.

Hughes, M.P., Mlambo, V., Jennings, P.G.A., & Lallo, C.H.O. (2014). The accuracy of predicting in vitro ruminal organic matter digestibility from chemical components of tropical pastures varies with season and harvesting method. *Trop. Agric, 91*(2), 135-146. https://doi.org 0041-3216/2014/020131-16.

Jafarian, S. (2014). Study of the effect of low irrigation and hair on the qualitative and quantitative characteristics of alfalfa forage. Master's thesis of agricultural and natural resources campus, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj.

Khalafallah, A. A., & Abo-Ghalia, H. H. (2008). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. *Journal of Applied Sciences Research*, *4*(5), 559-569.

Laha, S., Tansel, B., & Ussawarujikulchai, A. (2009). Surfactant-soil interactions during surfactant-amended remediation of contaminated soils by hydrophobic organic compounds. *J. Environ. Manage*, *90*, 95-100.

Liu, Y., Wu, Q., Ge, G., Han, G., & Jia, Y. J. (2018). Influence of drought stress on afalfa yields and nutritional composition. *BMC Plant Biology, 18*(13). DOI 10.1186/s12870-017-1226-9.

Maghami, R., Zahedi, M., & Gheysari, M. (2014). Effects of nitrogen application and irrigation water on grain yield and water use efficiency of safflower in Isfahan. *Journal of Plant Production and Processing, 4*(11), 1-13. (In Persian)

Mehrvarz, S .Chaichi, M.R., Hashemi, M., & Parsinejad, M. (2013). Yield and growth response of Maize *(Zea Mays L. S. C.704*) to surfactant under limited irrigation.*Sci. J. Agron. Plant Breed, 1*(1), 41-51.

Millar, N.S., & Bennett, A.E. (2016). Stressed out symbiotes: hypotheses for the influence of abiotic stress on arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia, 182*(3), 625-641. DOI: 10.1007/s00442-016-3673-7.

Miller, M. H. (2000). Arbuscular mycorrhizae and the phosphorus nutrition of maize: Areview of Guelph studies. *Canadian Journal of Plant Scenceis, 80*, 47-52.

Mirhadi, M. G. (2002). Maize. Agricultural Research, Education and Extension Organization Press. *Tehran, Iran*.

Mirlohi, A., N. Bozorgvar & M. Bassiri. (2000). Effect of nitrogen rate on growth, forage yield and silage quality of three sorghum hybrids. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 4(2), 105-116. (In Persian)

Moore, D., Kostka, S.J., Boerth, T.J., franklin, M.A., Ritsema, C.J., Dekker, L.W., Oostindie, K., Stoof, C.R., & Wesseling, J.G. (2010). The effect of soil surfactants on soil hydrological behavior, the plant growth environment, irrigation efficiency and water conservation. Journal of Hydrology and Hydromechanics, *58*: 142-148. Doi:10.2478/v10098-010-0013-1.

Nagarathna, T. K., Prasad, T. G., Bagyaraj, D. J., & Shadakshar, Y. G. (2007). Effect of arbuscular mycorrhiza and phosphorus levels on growth and water use efficiency in sunflower at different soil moisture status. Journal of Agricultural Technology, *3*, 221-229.

Ocampo, A. M. (2004). Integrated nutrient manegment in corn. *DAAIT NC Network*, 504.

Olesen, J.E., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J., & Micale, F. (2011). Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. European Journal of Agronomy, *34*(2), 96-112. https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.11.003

Pulter, R. E., Duff, A. A., & Bauer, B. (2009). Quantifying surfactant interaction effects on soil moisture and turf quality. Project Report. TU08034. Horticulture Australia Limited, 29.

Santiago, F.E.M., Nóbrega, J.C.A., Santiago, F.L.A., Edvan, R.L., Nóbrega, R.S.A., & Moreira, F.M.S. (2017). Lime and phosphate application as mycorrhizae stimulation to enhance growth and yield of Marandu grass. *Semina: Ciências Agrárias, 38*(4), 2323-2336.

Shao, H.B., Chu, L.Y., Shao, M.A., Abdul Jaleel, C., & Hong-Mei, M., (2008). Higher plantantioxidants and redox signaling under environmental stresses. Comptes Rendus Biologies, *331*, 433-441. https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.03.011.

Shoresh, M., Harman, G. E. & Mastouri, F. (2010). Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annu Reval further Phytopathol, 48*, 21-43.

Sinaki, J.M., Heravan, E.M., Rad, A.H.S., Noormohammadi, G. h., & Ghasem, Z.G.H. (2007). The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.) American-Eurasian. *Journal of Agriculture and Environment Science, 2*, 417-422.

Smith, S.E., & Read, D. (2008). The symbionts forming Arbuscular mycorrhizas. In: S.E. Smith and D. Read (eds.), Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, New York. 13-41.

Watson, C.A., Bengtsson, H., Ebbesvik, M., Loes, A-K., Myrbeck, A., Salomon, E., *et al*. (2002). A review of farm- scale nutrient budgest for organic farm as a tool for management of soil fertility. *Soil Use and Management*, 18, 264-73.

Weichenthal, B. A., Baltensperger, D. D., & Voge, K. P. (2004). Feed values for annual forages in Western Nebraska. http://digitalcommons. Unl. Edu/animalscinbcr/21.

Yazdani, M., Bahmanyar, M. A., Pirdashti, H., & Esmaili, M. A. (2009). Effect of phosphate solubilization microorganisms (PSM) and plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *Proceedings of World Academy of Sciences, Engineering and Technology*, 2070-3740.

Zlatev, Z., & Lidon, F.C. (2012). An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emir. J. Food Agriculture, 24*(1), 57-72.http://ejfa.info.