

## تأثیر همزیستی قارچ قارچ ریشه بر ویژگی‌های رویشی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چهار جنس گراس سردسیری در شرایط تنش خشکی

حامد اشراف<sup>۱</sup>، هدایت زکی‌زاده<sup>۲\*</sup>، سید محمدرضا احتشامی<sup>۲</sup> و محمدحسن بیگلویی<sup>۲</sup>  
۱ و ۲. دانشجوی سابق دکتری و استادیار، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۷/۲۷)

### چکیده

به منظور ارزیابی اثرگذاری‌های سه گونه قارچ قارچ ریشه یا میکوریزا (*Glomus fasciculatum clarum Glomus mosseae* و *Glomus*) و تنش خشکی (با سه سطح رطوبتی ۸۰، ۵۵ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) بر ویژگی‌های گراس‌های لولیوم چندساله (*Lolium perenne*)، پوآی چندساله (*Poa pratensis*)، فستوکای پابلند (*Festuca aurandiancea*) و اگروپیرون (*Agropyron elongatum*)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در گلخانه با استفاده از گلدان‌های استوانه‌ای انجام شد. نتایج نشان داد، بیشترین درصد پرگنه (کلنی)‌سازی ریشه را گراس لولیوم چندساله با گونه موسه‌آ و کمترین درصد را پوآی چندساله با گونه کلاروم داشتند. درصد پرگنه‌سازی هر سه گونه قارچ با ریشه لولیوم چندساله و فستوکای پابلند در نتیجه تنش خشکی، کاهش ولی درصد پرگنه‌سازی گونه‌های کلاروم و فسیکولاتوم با ریشه اگروپیرون و پوآی چندساله افزایش یافت. قارچ‌های فسیکولاتوم و موسه‌آ، سبزینه (کلروفیل) و کارتنوئید برگ گراس‌های همزیست با آن‌ها را در بالاترین سطح تنش، بیش از ۳۸ درصد افزایش دادند. گراس‌های همزیست با موسه‌آ بیشترین محتوای نسبی آب برگ و کمترین نشت یونی و مالون‌دی‌آلدهید را نسبت به گراس‌های همزیست با دیگر گونه‌های قارچ داشتند. در مجموع قارچ ریشه توانست تأثیر سوء تنش خشکی بر چمن را کاهش دهد ولی تمایل به همزیستی و تأثیر گونه‌های مختلف آن بر گراس‌های تحت تنش متفاوت بود.

واژه‌های کلیدی: اگروپیرون، پوآ، فستوکا، گلوموس، لولیوم چندساله.

## Effect of mycorrhiza fungi on morphological, physiological and biochemical characteristics of four cool Season grass genera under drought stress conditions

Hamed Ashraf<sup>1</sup>, Hedayat Zakizadeh<sup>2\*</sup>, Seyed Mohammad Reza Ehtesham<sup>2</sup> and Mohammad Hossein Biglouei<sup>2</sup>  
1, 2. Former Ph.D. Student and Assistant Professor, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran  
(Received: Mar. 12, 2016 - Accepted: Oct. 18, 2016)

### ABSTRACT

In order to evaluate three species of mycorrhizal fungi (*Glomus clarum*, *Glomus fasciculatum* and *Glomus mosseae*) and drought stress (80, 55 and 30 percent of field capacity) on characteristics of grass genera, *Lolium perenne*, *Poa pratensis*, *Festuca aurandiancea* and *Agropyron elongatum*, a factorial experiment based on randomized complete block design was carried out in the greenhouse using a cylindrical pots. According to the results, *Lolium* showed the highest root colonization with *G. mosseae* while *Poa* showed the lowest colonization with *G. clarum*. Drought stress reduced the root colonization of *Festuca* and *Lolium* in all mycorrhizal treatments, but increased the root colonization of *Agropyron* and *Poa* with *G. clarum* and *G. fasciculatum*. At highest level of stress, *G. fasciculatum* and *G. mosseae* increased the chlorophyll and carotenoid contents of grass genera, more than 38 percent. Grasses symbiotic with *G. mosseae* showed the highest relative water content and lowest electrolyte leakage and malondialdehyde content compared to grasses symbiotic with other species of mycorrhizae. In general, mycorrhizal fungi could reduce the adverse effects of drought stress on grass characteristics, but the tendency to symbiosis and that's influence on the grass genera under stress, were different.

**Keywords:** *Agropyron*, *Festuca*, *Glomus*, *Lolium*, *Poa*.

\* Corresponding author E-mail: Zakizadeh@guilan.ac.ir; Zakizadeh55@yahoo.com

### مقدمه

فضاهای سبز به لحاظ زیست‌محیطی به‌عنوان شریان‌های حیاتی شهرها هستند و با توجه به رشد روزافزون شهرنشینی ایجاد فضاهای سبز کلان ضروری است (Domiri et al., 2011). چمن‌ها مهم‌ترین گیاهان پوششی با توان پاخوری بالا هستند که در زمین‌های ورزشی و فضای سبز کاربرد گسترده‌ای دارند و به‌ندرت می‌توان جایگزینی برای آن‌ها در فضای سبز پیدا کرد (Kafi & Kaviani, 2002). از آنجایی‌که شرایط آب و هوایی بیشتر مناطق ایران خشک و نیمه‌خشک با میانگین بارندگی حدود ۲۵۰ میلی‌متر در سال است، رفع نیاز آبی چمن در ماه‌های گرم سال بسیار دشوار است (Tehranifar et al., 2010; Amiri & Eslamian, 2009). همچنین پیش‌بینی شده که کشور ایران در سال ۲۰۲۵ میلادی، جزء کشورهای روبه‌رو با بحران آب خواهد بود (Alcamo et al., 2000). در چمن پوآی چندساله، تنش خشکی سبب افزایش میزان نشت الکترولیت و مالون دی‌آلدئید شده است (Jinrong et al., 2008). تنش خشکی رشد شاخساره و میزان سبزینه (کلروفیل) برگ چمن پوآ را کاهش ولی نشت یونی را افزایش داده است (Tatari et al., 2013). بهره‌وری مصرف فیزیولوژیکی آب (نسبت نورساخت یا فتوسنتز به تعرق) در لولیوم چندساله ۱۵ درصد بیش از فستوکای پابلند است، در نتیجه فستوکای پابلند مصرف‌کننده و لولیوم چندساله ذخیره‌کننده آب در تنش خشکی است (Butler, 2008).

قارچ‌های قارچ‌ریشه (میکوریزا) بخش جدایی‌ناپذیر قسمت‌های کاربردی ریشه‌های گیاهان همزیست با آن‌ها هستند و با افزایش سطح جذب ریشه و تغییر سرعت حرکت آب در خارج و درون گیاهان میزبان، جذب آب توسط گیاه را بهبود بخشیده و تحمل آن‌ها به تنش خشکی را افزایش داده است (Auge, 2001). قارچ‌های وزیکولار آربوسکولار میکوریزا در سال‌های اخیر برای رویارویی با کم‌آبی و خشکی در بسیاری از گیاهان استفاده شده‌اند (Song, 2005). گونه‌های گراس در دوره‌های رشدی و کسب مواد غذایی به میزان زیادی از قارچ‌ریشه سود می‌برند

و چمن‌های فصل سرد از جمله گونه‌های بنت گرس با قارچ‌ریشه به‌ویژه هنگامی‌که میزان فسفر خاک پایین باشد، ارتباط زیادی برقرار کرده‌اند (Gemma et al., 2008). گونه‌های گلوموس موسه‌آ و گلوموس اینترارادیسز (*Glomus intraradices*) ارتباط خوبی با چمن لولیوم چندساله برقرار کرده و میزان سبزینه، وزن تر و خشک ریشه را افزایش داده‌اند (Kafi et al., 2013).

قارچ قارچ‌ریشه کارایی مصرف آب گراس آگروپیرون تحت تنش خشکی را افزایش داده است (Di & Allen, 1991). قارچ‌ریشه در چمن زیست‌توده بیشتری در سطح زمین ایجاد کرده و همچنین گونه گلوموس اینترارادیسز مقاومت به خشکی را در چمن آگروستیس افزایش داده است (Pelletier & Dionne, 2004). قابلیت گونه‌های مختلف قارچ قارچ‌ریشه برای همزیستی با چمن‌های آگروستیس و لولیوم چندساله متفاوت است (Golotte et al., 2004). قارچ میکوریزا شاخص‌های رشد ریشی و محتوای نسبی آب گیاه مرزه را در شرایط تنش خشکی در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده به‌طور معنی‌داری افزایش داد و در مجموع سبب افزایش مقاومت به تنش خشکی در گیاه مرزه شد (Esmaelpour et al., 2013). با کاهش میزان رطوبت خاک، ارتفاع بوته، شمار و سطح برگ، ماده تر و خشک و میزان سبزینه در گیاه ریحان کاهش یافته و گیاهان مایه‌کوبی شده با قارچ‌های قارچ‌ریشه در مقایسه با گیاهان مایه‌کوبی نشده رشد و عملکرد بیشتری هم در شرایط تنش خشکی و هم در شرایط بدون تنش داشتند. تأثیر گلوموس موسه‌آ در کاهش تأثیر خشکی بیشتر از قارچ گلوموس اینترارادیسز است (Aslani et al., 2011). در گیاه گندم محتوای سبزینه برگ با حضور قارچ قارچ‌ریشه نسبت به شاهد افزایش چشمگیری داشته و با افزایش سطح تنش خشکی از ۱۰۰ به ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، محتوای سبزینه کل کاهش معنی‌داری نشان داده ولی این کاهش در شرایط حضور قارچ قارچ‌ریشه نسبت به شاهد بسیار کمتر بوده است (Saedmoocheshi & Heidari, 2011). در نتایج پژوهش‌های موجود، اطلاعات در زمینه واکنش‌های ریخت‌شناختی (مورفولوژیکی) و

ظرفیت نگهداری رطوبتی خاک، روزانه آبیاری شدند و پس از سبز شدن بذرها خاک تا ۸۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری شد. گراس‌ها نخستین بار پس از رسیدن به ارتفاع ۷ سانتی‌متر سرزنی شدند و پس از آن سرزنی گراس‌ها به صورت هفتگی انجام شد. کوددهی یک ماه پس از تاریخ کاشت آغاز و پس از هر بار سرزنی با کود کامل (۲۰-۲۰-۲۰) انجام شد. پس از استقرار کامل گراس‌ها که حدود ۶۰ روز طول کشید، گراس‌ها بر پایه تیمارهای تعریف شده در شرایط تنش خشکی قرار گرفتند. زمان آبیاری با استفاده از کلش‌سنج (تانسیومتر) و بلوک گچی تعیین شد. ضریب‌های مدیریت آبیاری بر پایه منحنی رطوبتی خاک که پیش از آغاز آزمایش با به‌کارگیری کلش‌سنج و بلوک‌های گچی رسم شده بود مشخص شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این آزمایش که از نظر آبیاری و زراعی اهمیت دارند در جدول ۱ آمده است. در هر نوبت آبیاری خاک تا حد ظرفیت زراعی آبیاری شد. میزان آبی که در هر نوبت آبیاری به ظرف‌های کشت داده شد، بر پایه رابطه ۱ محاسبه شد (Alizadeh, 2004).

$$V_n = [(F_c - PWP)/100] \times P_b \times V_p \times F \quad (1)$$

$V_n$  میزان آب داده شده به هر ظرف کشت در هر نوبت آبیاری (میلی‌لیتر).  $F_c$  رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد).  $PWP$  نقطه پژمردگی دائم (درصد).  $P_b$  جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب).  $V_p$  حجم ظرف کشت (سانتی‌متر مکعب).  $F$  ضریب مدیریت آبیاری که در آبیاری مطلوب ۰/۲ (رطوبت موجود در خاک در زمان آبیاری ۸۰ درصد حد ظرفیت زراعی بود)، در تنش ملایم ۰/۴۵ (رطوبت موجود در خاک در زمان آبیاری ۵۵ درصد حد ظرفیت زراعی بود) و در تنش شدید ۰/۷ (رطوبت موجود در خاک در زمان آبیاری ۳۰ درصد حد ظرفیت زراعی بود) در نظر گرفته شد.

فیزیولوژیکی گراس‌های چمنی نسبت به تنش خشکی و تأثیر همزیستی قارچ‌ریشه بر کاهش تنش خشکی در گراس‌ها بسیار محدود است. لذا در این پژوهش، تأثیر سه گونه قارچ قارچ‌ریشه، در شرایط تنش خشکی بر ویژگی‌های گیاهی چهار جنس گراس چمنی سردسیری بررسی شد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل با سه عامل و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. عامل اول شامل چهار جنس گراس‌های چمنی لولیوم چندساله (Lolium perenne cv. Grassland Nui)، پوآی چندساله (Poa pratensis cv. Shadegan)، فستوکای پابلند (Festuca aurandiancea cv. Asterix) و اگروپیرون (Agropyron elongatum (Host)). عامل دوم شامل سه گونه قارچ Beauv. Glomus (G. clarum، G. fasciculatum، G. mosseae) و بدون تلقیح و عامل سوم شامل سه سطح تنش خشکی (۸۰ درصد، ۵۵ درصد و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. که در مجموع با ۴۸ تیمار در سه تکرار انجام گرفت. بستر کشت که حاکی با بافت شنی لومی بود در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۱/۵ ساعت اتوکلاو شد و آنگاه ۵۰ گرم مایه تلقیح قارچ قارچ‌ریشه (که حاوی ۲۵۰ تا ۳۵۰ زادمایه یا پروپاگول بود)، پیش از پر کردن کامل ظرف‌های کشت (از جنس پلی‌اتیلن با قطر دهانه ۱۶ و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر) در عمق فعالیت ریشه‌ها ریخته شد و در تیمار بدون تلقیح میزان یکسانی از مایه تلقیح اتوکلاو شده ریخته شد. پس از پر کردن کامل ظرف‌های کشت، بذرها گراس متناسب با سطح ظرف و گونه گراس توزین و به صورت دستی کاشته شدند. روی بذرها به ارتفاع حدود ۰/۵ سانتی‌متر با پیت پوشیده و تا سبز شدن بذرها، بر پایه

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این بررسی

Table 1. Some physical and chemical properties of the soil used in this study

| Bulk density (g/cm <sup>3</sup> ) | Texture    | Cla (%) | Silt (%) | Sand (%) | K (ava) (ppm) | P (ava) (ppm) | Total N (%) | Organic carbon (%) | pH  | Ec (ds/m) |
|-----------------------------------|------------|---------|----------|----------|---------------|---------------|-------------|--------------------|-----|-----------|
| 1.33                              | Sandy loam | 10      | 14       | 76       | 56            | 6.4           | 0.053       | 0.27               | 7.3 | 0.39      |

### نشت الکترولیت (EL)

برای اندازه‌گیری نشت الکترولیت ده عدد برگ از هر ظرف کشت نمونه‌برداری و با آب مقطر شسته و به طول ۵ میلی‌متر بریده شدند. ۰/۵ گرم از قطعه‌های برگ را به لوله آزمایش منتقل و ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. پس از ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی اولیه (EC<sub>1</sub>) با استفاده از دستگاه هدایت الکتریکی (EC سنج) (Milwaukee Mi 306) اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در دمای ۹۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه جوشانده و بعد تا دمای ۲۵ درجه خنک شدند، آنگاه هدایت الکتریکی ثانویه (EC<sub>2</sub>) اندازه‌گیری شد و نشت الکترولیت با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد (Blum & Ebercon, 1981; Valentovic *et al.*, 2006).

$$EL = (EC_1/EC_2) \times 100 \quad (3)$$

برای اندازه‌گیری میزان سبزینه، کارتنوئید و مالون‌دی‌آلدهید برگ گراس‌های مورد آزمایش، میزانی برگ تازه در یک هاون چینی با حضور نیتروژن مایع ساییده شد تا به صورت توده یکنواختی درآمد. سپس ۰/۲۵ گرم از این پودر در یک میکروتیوب ۲ میلی‌لیتری و ۰/۱ گرم از آن در یک ریزلوله ۲ میلی‌لیتری دیگر، توزین شد.

### غلظت مالون‌دی‌آلدهید (MDA)

برای سنجش غلظت مالون‌دی‌آلدهید، به ریزلوله‌های حاوی ۰/۲۵ گرم پودر برگ، ۱۵۰۰ میکرولیتر بافر استخراج اضافه و تکان داده (ورتکس) شد و آنگاه به مدت ۱۵ دقیقه با ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس، سانتریفوژ (Eppendorf centrifuge 5417 R) شدند. پس از پایان سانتریفوژ به ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره رویی، ۵۰۰ میکرولیتر تری‌کلرواستیک‌اسید ۲۰ درصد حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک‌اسید، اضافه شد. مخلوط به دست آمده به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سلسیوس در حمام آب گرم قرار گرفت و سپس لوله‌های آزمایش در یخ سرد و بی‌درنگ به مدت ده دقیقه با ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفوژ شد.

پس از اعمال تنش خشکی صفاتی مانند وزن تر و خشک شاخساره، شمار برگ، محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، میزان سبزینه، کارتنوئید برگ و درصد پرگنه (کلنی)‌سازی اندازه‌گیری شد.

### وزن تر و خشک شاخساره و شمار برگ زنده

شاخساره ده عدد گیاه (که به صورت تصادفی انتخاب شده بودند) از سطح بستر جدا و درون پلاستیک زیپ‌دار و روی یخ به آزمایشگاه منتقل شد. وزن تر آن‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری و میانگین بر پایه گرم گزارش شد. شمار برگ‌های سبز شاخساره‌ها، شمارش و میانگین گرفته شد. پس از آن شاخساره‌ها به پاکت‌های کاغذی منتقل و به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس، خشک شدند و سپس وزن خشک آن‌ها با همان ترازو، اندازه‌گیری و میانگین بر پایه گرم گزارش شد.

### محتوای نسبی آب (RWC) برگ

برای اندازه‌گیری این صفت، در آغاز ده عدد برگ توسعه‌یافته به صورت تصادفی از گیاهچه‌های هر گلدان نمونه‌برداری و درون فالدکون‌های درپوشدار روی یخ به سرعت به آزمایشگاه منتقل شد. ده عدد برگ به طول یکسان ۷ سانتی‌متر بریده و وزن تر آن‌ها (W<sub>f</sub>) تعیین شد. به منظور تعیین وزن برگ در حالت آماس یا تورژانس (W<sub>t</sub>)، ده عدد برگ دوباره به فالدکون‌ها منتقل و آب مقطر اضافه و به مدت ۴ ساعت در شدت نور کم و دمای ۱۰ درجه سلسیوس درون سردخانه قرار گرفتند. سپس، برگ‌های آماس یافته، پس از خشک کردن آب سطحی آن‌ها (با دستمال‌کاغذی به آرامی و سریع) توزین شدند. به دنبال آن، برگ‌ها در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک و وزن خشک آن‌ها (W<sub>d</sub>) نیز اندازه‌گیری شد و RWC (برحسب درصد) از رابطه ۲ به دست آمد (Barrs & Weatherley, 1962).

$$RWC = [(W_f - W_d) / (W_t - W_d)] \times 100 \quad (2)$$

اتوکلاو شدند. پس از اتوکلاو، ریشه‌ها سه مرتبه با آب معمولی شسته شده و به مدت سه دقیقه در داخل کلریدریک اسید ۱ درصد قرار گرفتند. پس از خارج کردن نمونه‌ها از اسید، در محلول تریپان بلو (به نسبت ۱:۱:۱ لاکتیک اسید، گلیسرول، آب مقطر و ۰/۰۵ درصد وزنی - حجمی تریپان بلو) به مدت ۴۸ ساعت و در دمای اتاق به منظور رنگ‌پذیری ساختمان‌های قارچی قارچ‌ریشه (آربوسکول، وزیکول و هیف) غوطه‌ور شدند (Philips & Hayman, 1970). سپس ریشه‌ها از محلول تریپان بلو خارج شده و شش قطعه ۴ سانتی‌متری از ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به صورت تصادفی انتخاب و روی دو عدد لام قرار گرفتند و پس از اضافه کردن گلیسرول ۵۰ درصد و قرار دادن لامل روی آن‌ها، در زیر میکروسکوپ مجهز به عدسی چشمی مدرج و با بزرگ‌نمایی ۲۰۰ برابر ارزیابی شدند. میزان کلنی‌سازی ریشه با برآورد طولی از ریشه، که به ساختمان‌های قارچی وزیکول و آرباسکول آلوده باشند به صورت درصد محاسبه شد (Mcgonigle *et al.*, 1990).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS و MSTAT-C و رسم نمودار با استفاده از Excel و مقایسه میانگین‌ها بر پایه آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

### صفات مورفولوژیک

وزن تر و خشک شاخساره و نسبت آن‌ها نتایج گویای آن بود که با افزایش تنش خشکی وزن تر و خشک شاخساره به طور معنی‌دار کاهش، ولی نسبت وزن خشک به تر افزایش می‌یابد که این مطلب نشان‌دهنده این نکته است که تنش خشکی رطوبت شاخساره را بیش از ماده خشک آن کاهش می‌دهد (جدول ۳). قارچ قارچ‌ریشه بر وزن تر و خشک شاخساره تأثیر معنی‌داری داشت. به طوری که حضور قارچ قارچ‌ریشه سبب افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک شاخساره شد و همچنین نسبت وزن خشک به وزن تر را افزایش داد گرچه معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیشترین وزن تر و خشک را پوآی چندساله و پس از

در نهایت جذب محلول رویی در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. جذب رنگیزه‌های غیراختصاصی در طول موج ۶۰۰ نانومتر تعیین و از میزان جذب در ۵۳۲ نانومتر کسر شد. برای محاسبه غلظت مالون‌دی‌آلدهید از ضریب خاموشی معادل  $155 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$  استفاده شد (Heath & Parker, 1968).

### غلظت رنگیزه‌ها

برای اندازه‌گیری غلظت سبزینه a، b و کاروتنوئید، به ریزلوله‌های حاوی ۰/۱ گرم پودر برگ، ۱/۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد اضافه شد و آنگاه به مدت ده دقیقه در محیط تاریک قرار گرفتند. سپس عصاره به دست آمده با سرعت ۱۰ هزار دور در دقیقه به مدت ده دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول رویی برداشته و با استفاده از استون ۸۰ درصد طوری رقیق شد که عدد خوانده شده به وسیله طیف‌سنج نوری (اسپکتروفتومتر) خیلی بالا نباشد و جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر (سبزینه a)، ۶۴۵ نانومتر (سبزینه b) و ۴۷۰ نانومتر (کاروتنوئیدها) توسط دستگاه طیف‌سنج نوری (Specord، مدل S-600) و با استفاده از استون ۸۰ درصد به عنوان شاهد (blank) خوانده شد. غلظت هر یک از رنگیزه‌ها در عصاره بر حسب میکروگرم در میلی‌لیتر با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه شد (Arnon, 1949; Lichtenthaler & Wellburn, 1983).

$$\text{Chl}_a (\mu\text{g/ml}) = (12.7 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})$$

$$\text{Chl}_b (\mu\text{g/ml}) = (22.9 \times A_{645}) - (4.68 \times A_{663})$$

$$\text{Carotenoids } (\mu\text{g/ml}) =$$

$$(1000 A_{470} - 2.27 \text{Chl}_a - 81.4 \text{Chl}_b) / 229$$

### درصد پرگنه‌سازی قارچ‌ریشه‌ای ریشه‌ها

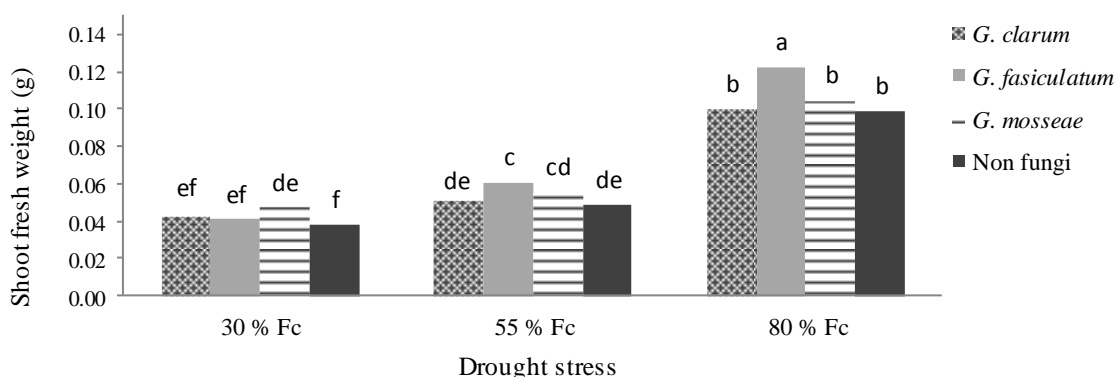
برای تعیین درصد پرگنه‌سازی، ریشه‌های نمونه‌برداری شده با آب به خوبی شسته و پس از آن در محلول ۵۰ درصد الکل اتیلیک نگهداری شدند. پس از خارج کردن ریشه‌ها از محلول، سه بار با آب معمولی شسته و پس از اضافه کردن هیدروکسید پتاسیم ۱۰ درصد، به مدت ۱۵ دقیقه برای لولیم چندساله و فستوکای پابلند و ۲۰ دقیقه برای اگروپیرون و پوآی چندساله در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس و فشار ۱/۲ اتمسفر،

گونه‌های قارچ قارچ‌ریشه‌ای فسبیکولاتوم و موسه‌آ وزن تر شاخساره را در گراس پوآی چندساله و لولیوم چندساله نسبت به عدم حضور قارچ به‌طور معنی‌دار افزایش داد. قارچ قارچ‌ریشه وزن خشک شاخساره را افزایش داد و این تأثیر تنها برای گراس اگروپیرون معنی‌دار نبود. از این نظر بین گونه‌های مختلف قارچ تفاوت معنی‌دار وجود داشت و بیشترین تأثیر مربوط به گونه فسبیکولاتوم و کمترین مربوط به گونه کلاروم بود که احتمال دارد به‌شدت پراکنه‌سازی (کلونیزاسیون) مربوط باشد (جدول ۲).

بنابر نتایج این تحقیق تنش خشکی سبب کاهش وزن تر و خشک شاخساره شد که با نتایج تحقیقات انجام‌شده توسط دیگر محققان همخوانی داشت (Amiri Nasab *et al.*, 2015; Tatari *et al.*, 2013). از تأثیر آشکار تنش خشکی کاهش وزن اندام‌های هوایی گیاهان است (Amiard *et al.*, 2003). در بیشتر چمن‌ها کاهش اندام‌های هوایی یک سازوکار برای سازگاری با تنش خشکی است (Estill *et al.*, 1991). تنش خشکی باعث گسترش ریشه به بخش‌های عمیق‌تر و مرطوب‌تر خاک شده و ضمن جلوگیری از توسعه برگ میزان مصرف انرژی در اندام‌های هوایی را کاهش داده و ماده پرورده (آسمیلات) بیشتری را به ریشه برای جذب آب و مواد کانی بیشتر می‌فرستد (Banwarie *et al.*, 1994).

آن فستوکای پابلند و کمترین وزن را اگروپیرون داشت، ولی با بررسی نسبت وزن خشک به وزن تر بیشترین نسبت را اگروپیرون و پس از آن فستوکای پابلند و پوآی چندساله و کمترین نسبت را لولیوم چندساله داشت که بیانگر این مطالب است که کمترین میزان رطوبت شاخساره را اگروپیرون و بیشترین آن را لولیوم چندساله داشت. وزن تر و خشک شاخساره با افزایش شدت تنش در گراس لولیوم چندساله کمترین ولی در گراس اگروپیرون بیشترین کاهش معنی‌دار را نسبت به دیگر گراس‌ها نشان داد، ولی با بررسی نسبت وزن خشک به وزن تر شاخساره جنس‌های مختلف گراس در بالاترین سطح تنش خشکی مشخص شد که گراس فستوکا پابلند و اگروپیرون بیشترین نسبت را داشتند. ولی در شرایط رطوبتی تنش متوسط و بدون تنش بیشترین میزان را گراس اگروپیرون و کمترین آن را گراس لولیوم چندساله داشت (جدول ۳).

با بررسی اثر متقابل مشخص شد که اثر متقابل جنس گراس چمنی و تنش خشکی بر وزن تر و خشک شاخساره معنی‌دار بوده و گونه قارچ قارچ‌ریشه تأثیر تنش خشکی بر کاهش وزن تر شاخساره را کاهش داد. این تأثیر بر وزن تر در سطح دوم تنش خشکی یعنی ۵۵ درصد ظرفیت زراعی بیشتر نمایان بود ولی تأثیرش بر وزن خشک تنها در شرایط رطوبتی بدون تنش خشکی معنی‌دار شد (شکل ۱).



شکل ۱. اثر متقابل گونه‌های قارچ‌ریشه و تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی) بر وزن تر شاخساره گراس. ستون‌های دارای حرف‌های مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار نداشتند.

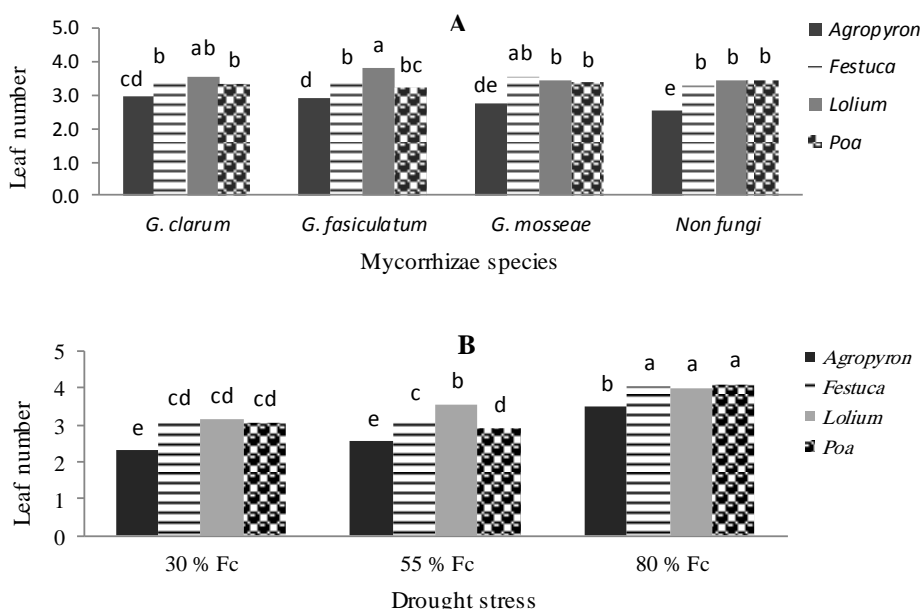
Figure 1. Interaction between mycorrhizal fungi species and drought stress (% FC) on shoot fresh weight of grasses. Bars with the same letters are not significantly different at 5 % probability level using Duncan test.

معنی‌دار کاهش یافت. کاربرد گونه‌های قارچ قارچ‌ریشه‌ای شمار برگ زنده را افزایش داد. بیشترین شمار برگ را گراس پوآی چندساله با میانگین ۴/۳۳ برگ و کمترین شمار مربوط به گراس اگروپیرون بود. اثر متقابل جنس چمن و قارچ قارچ‌ریشه‌ای سبب شد که گراس لولیوم چندساله بیشترین شمار برگ را داشته باشد. در بین گونه‌های مختلف قارچ قارچ‌ریشه‌ای، گراس‌های همزیست با گونه کلاوم با میانگین ۴/۰۲ برگ بیشترین شمار برگ را داشتند. با بررسی اثر متقابل بین جنس‌های مختلف گراس و گونه‌های مختلف قارچ مشخص شد که در گراس اگروپیرون، قارچ‌های کلاوم و فسیکولاتوم سبب افزایش معنی‌دار شمار برگ شدند. گراس لولیوم چندساله همزیست با قارچ فسیکولاتوم نسبت به دیگر گونه‌های قارچ برگ بیشتری تولید کرد. در فستوکای پابلند، قارچ قارچ‌ریشه‌ای سبب افزایش شمار برگ شد ولی بین گونه‌های مختلف قارچ تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. در گراس پوآی چندساله قارچ قارچ‌ریشه‌ای سبب افزایش شمار برگ نشد (شکل ۲).

کاهش در وزن تر اندام‌های گیاه تحت تنش آبی می‌تواند در نتیجه نداشتن دسترسی کافی به آب برای آماس یاخته‌ها باشد. کاهش سطح رویشی سبب می‌شود تا توانایی گیاه برای جذب نور و در نهایت تولید مواد نورساختی کاهش یابد که خود دلیلی بر کاهش وزن اندام‌ها است. قارچ قارچ‌ریشه وزن تر و خشک شاخساره را افزایش داد که با نتایج دیگر محققان بر چمن همخوانی داشت (Pelletier & Dionne, 2004). تنش خشکی ضمن کاهش شمار تارهای کشنده ریشه، به ریشه صدمه وارد کرده که نتیجه آن کاهش جذب عنصرهای غذایی است در این زمان ریشه (هیف)های قارچ جانشین شبکه آسپ‌دیده ریشه شده و به جذب عنصرهای غذایی و آب کمک می‌کند (Wu & Zou, 2009). همزیستی قارچ‌ریشه‌ای سبب گسترش بیشتر اندام هوایی و سطح برگ گیاه شد (Rejali et al., 2011).

#### شمار برگ زنده

با افزایش شدت تنش خشکی شمار برگ زنده به‌طور



شکل ۲. اثر متقابل جنس‌های گراس و گونه‌های قارچ‌ریشه‌ای بر شمار برگ (A) و اثر متقابل جنس‌های گراس و تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی) بر شمار برگ (B). ستون‌های دارای حرف‌های مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار نداشتند.

Figure 2. Interaction between the grass genera and mycorrhizal fungi species on leaf number (A), the interaction of grass species and drought stress (% FC) on leaf number (B). Bars with the same letters are not significantly different at 5 % probability level using Duncan test.

شیب یعنی ۱۷/۳ درصد و به کمترین میزان یعنی ۴۸/۳ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کاهش داد. ولی روند این کاهش در پوآی چندساله با بیشترین شیب یعنی ۲۷/۷ درصد بود و به بیشترین میزان یعنی ۵۵/۴ درصد نسبت به شرایط بدون تنش بود (شکل ۳).

#### نشت یونی (EL)

تنش خشکی نشت یونی برگ را به‌طور معنی‌داری افزایش داد و بین جنس‌های مختلف گراس از این نظر اختلاف معنی‌داری وجود داشت (شکل ۶). قارچ قارچ‌ریشه نشت یونی برگ را کاهش داد و بین گونه‌های آن، گونهٔ موسه‌آ سبب بیشترین کاهش معنی‌دار شد (شکل ۵). در بالاترین سطح تنش، گراس‌ها با میانگین ۳۴/۵ درصد نسبت به تنش متوسط و شرایط بدون تنش، بیشترین میزان نشت یونی را داشتند. بین جنس‌های مختلف گراس چمنی کمترین نشت یونی را به ترتیب گراس لولیوم چندساله و فستوکا و بیشترین میزان نشت یونی را پوآی چندساله داشت. با بررسی اثر متقابل جنس گراس و تنش خشکی مشخص شد که در شرایط بدون تنش بیشترین نشت یونی را اگروپیرون و در شرایط تنش شدید بیشترین نشت یونی را گراس پوآی چندساله با ۴۳/۷ درصد داشت (شکل ۶).

تنش خشکی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش نشت یونی شد که با نتایج تحقیقات دیگر محققان در گراس (Amiri Nasab *et al.*, 2015; Molaahmad Naloussi *et al.*, 2014) همخوانی داشت. محتوای نسبی آب برگ یکی از شاخص‌های شناسایی رقم‌های مقاوم یا حساس به تنش خشکی است. محتوای نسبی آب بالاتر به معنای توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتر آب در شرایط تنش است. گونه‌های مقاوم در رویارویی با خشکی محتوای آب یاخته‌های خود را در حد بالاتری حفظ می‌کنند (Kafi *et al.*, 2009). ضخیم بودن پوست (کوتیکول) یکی از عامل‌های مهم حفظ محتوای نسبی آب برگ است و رقم‌هایی که برگ‌های آن‌ها ضخامت پوستی بیشتری داشته باشند، در شرایط خشکی میزان آب بیشتری را در برگ‌های خود حفظ کرده و در برابر خشکی مقاوم‌تر هستند (Arve *et al.*, 2011).

بنابر نتایج این تحقیق تنش خشکی سبب کاهش شمار برگ زنده در گراس شد. پیری فرایندی فیزیولوژیکی است که نتیجهٔ آن مرگ و در نهایت ریزش برگ است. پیری برگ یکی از پاسخ‌های گیاه در برابر تنش خشکی است، که سودمندی‌های مانند انتقال مادهٔ پرورده و عنصرهای غذایی به برگ‌های جوان‌تر و ریشه‌ها را دارد و در نهایت با ریزش برگ‌های پیر، میزان تعرق گیاه کاهش می‌یابد. فرایند پیری برگ تحت کنترل هورمون‌های گیاهی است به‌طوری‌که افزایش میزان هورمون آبسزیک اسید، پیری برگ را افزایش ولی افزایش میزان سیتوکینین پیری را کاهش می‌دهد (Munné-Bosch & Alegre, 2004). در این تحقیق، کاهش سطح رویشی سبب شد تا توانایی گیاه برای جذب نور و در نهایت تولید مواد نورساختی کاهش یابد. قارچ قارچ‌ریشه‌ای شمار برگ زنده را افزایش داد که با نتایج بررسی‌های دیگر محققان در ریحان همخوانی داشت (Aslani *et al.*, 2011). قارچ‌ریشه با افزایش میزان سایتوکینین و همچنین فسفر گیاه، پیری برگ‌ها را به تأخیر انداخته و اثر سوء تنش خشکی بر پیری برگ را کاهش داده است (Goicoechea *et al.*, 1995).

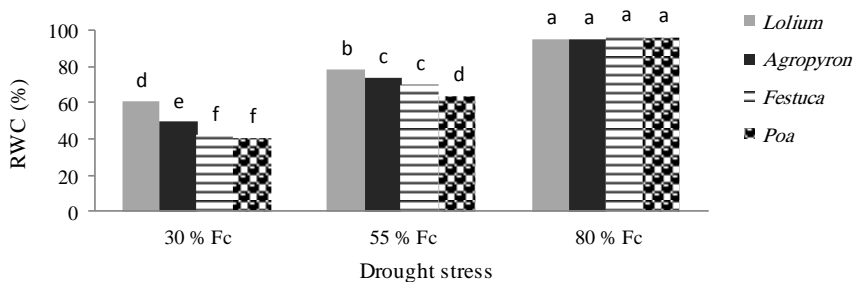
#### صفات فیزیولوژیکی

##### محتوای نسبی آب (RWC) برگ

بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ در گراس لولیوم چندساله (با میانگین ۷۸/۲۸ درصد) و کمترین میزان آن در گراس پوآی چندساله (با میانگین ۶۷/۰۵ درصد) مشاهده شد و پس از لولیوم چندساله به ترتیب اگروپیرون و فستوکای پابلند قرار داشتند (شکل ۳). قارچ قارچ‌ریشه بر محتوای نسبی آب برگ در سطح ۵ درصد تأثیر معنی‌دار داشت. از این نظر بین گونه‌های مختلف آن نیز تفاوت معنی‌دار وجود داشت. به‌طوری‌که گونهٔ موسه‌آ سبب بیشترین افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ گراس‌های مورد آزمایش شد (شکل ۴).

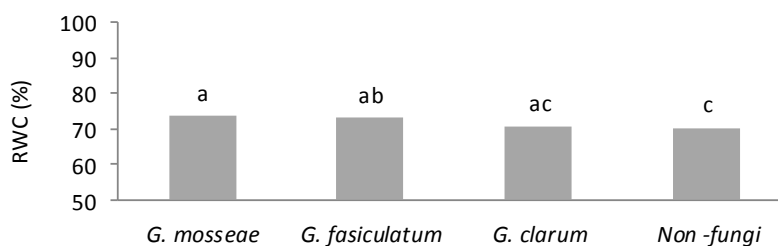
تنش خشکی میزان محتوای نسبی آب برگ گراس را از ۹۵/۹ درصد در رطوبت ۸۰ درصد ظرفیت زراعی تا ۴۸/۳ درصد در بیشترین سطح تنش یعنی رطوبت ۳۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش داد. تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ گراس لولیوم چندساله را با کمترین





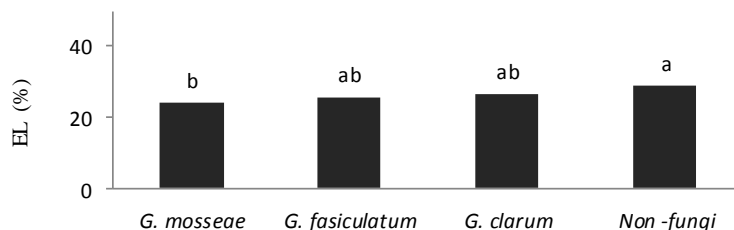
شکل ۳. اثر متقابل جنس‌های گراس و تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی) بر محتوای نسبی آب برگ گراس. ستون‌های دارای حرف‌های مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار نداشتند.

Figure 3. Interaction between the grass genera and drought stress (% FC) on relative water content (RWC) of grass leaves. Bars with the same letters are not significantly different at 5 % probability level using Duncan test.



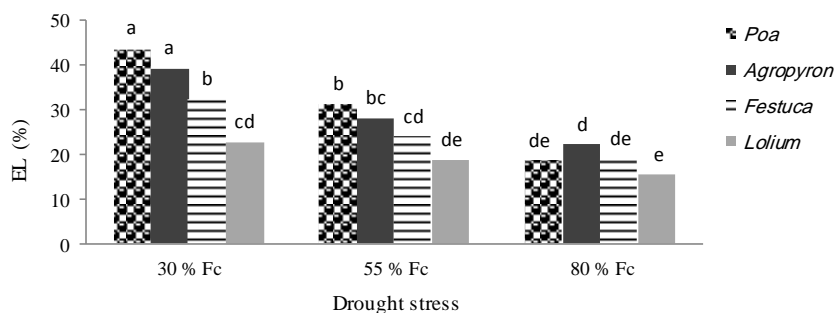
شکل ۴. تأثیر گونه‌های قارچ‌های قارچ‌ریشه‌ای بر محتوای نسبی آب برگ گراس. ستون‌های دارای حرف‌های مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار نداشتند.

Figure 4. The effect of mycorrhizal fungi species on relative water content (RWC) of grass leaf. Bars with the same letters are not significantly different at 5 % probability level using Duncan test.



شکل ۵. تأثیر گونه‌های قارچ‌های قارچ‌ریشه‌ای بر نشت یونی. ستون‌های دارای حرف‌های مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار نداشتند.

Figure 5. The effect of mycorrhizal fungi species on electrolyte leakage (EL). Bars with the same letters are not significantly different at 5 % probability level using Duncan test.



شکل ۶. اثر متقابل جنس‌های گراس و تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی) بر نشت یونی. ستون‌های دارای حرف‌های مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار نداشتند.

Figure 6. Interaction between the grass genera and drought stress (% FC) on electrolyte leakage (EL). Bars with the same letters are not significantly different at 5 % probability level using Duncan test.

بین گونه‌های قارچ تنها موسه‌آ محتوای نسبی آب را افزایش داد ولی همه گونه‌های مورد آزمایش نشت یونی را کاهش دادند که موسه‌آ از بقیه مؤثرتر بود و این نتیجه با نتایج دیگر محققان بر مرزه و ریحان (Aslani *et al.*, 2011; Esmaeelpour *et al.*, 2013) همخوانی داشت. با توجه به یکسان نبودن گرایش به همزیستی گونه‌های مختلف گراس با قارچ قارچ‌ریشه‌ای (Golotte *et al.*, 2009) می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر همزیستی بین گونه‌های قارچ و گراس بر اجتناب از خشکی، بستگی به نوع و شدت آن دارد.

#### میزان سبزینه و کارتنوئید برگ

پاسخ جنس‌های مختلف گراس به تنش خشکی به لحاظ محتوای سبزینه و کارتنوئید برگ متفاوت بود. در گراس لولیوم چندساله با افزایش تنش خشکی میزان سبزینه *a* و *b* کاهش یافت ولی این کاهش برای سبزینه *b* معنی‌دار نبود. میزان کارتنوئید گراس لولیوم چندساله به‌رغم افزایش در تنش متوسط در تنش شدید کاهش یافت. در دیگر جنس‌های گراس چمنی با افزایش تنش میزان سبزینه *a*، *b* و کارتنوئید کاهش نیافت. گراس لولیوم چندساله در شرایط بدون تنش نسبت به دیگر گراس‌ها سبزینه *a* و *b* کمتر ولی کارتنوئید بیشتری داشت درحالی‌که در گراس پوآی چندساله برعکس لولیوم چندساله در شرایط بدون تنش نسبت به دیگر گراس‌ها سبزینه بیشتر ولی کارتنوئید کمتری داشت. در بین جنس‌های گراس در بالاترین سطح تنش گراس لولیوم چندساله کمترین میزان کارتنوئید را داشت (جدول ۳).

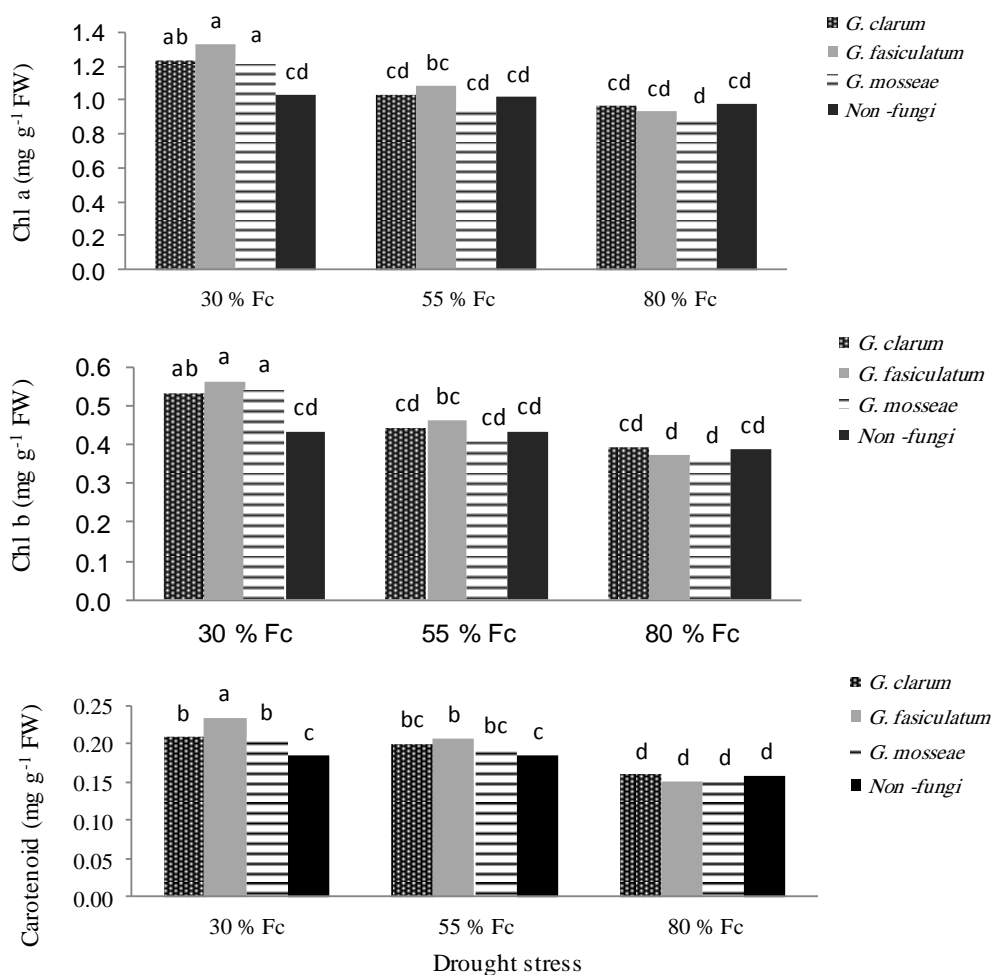
تأثیر گونه‌های مختلف قارچ قارچ‌ریشه‌ای بر میزان سبزینه و کارتنوئید برگ گونه‌های مختلف گراس متفاوت بود. در گراس پوآی چندساله قارچ قارچ‌ریشه‌ای نتوانست میزان سبزینه و کارتنوئید برگ را افزایش دهد. در جنس‌های لولیوم چندساله و اگروپیرون قارچ میزان سبزینه را افزایش داد ولی معنی‌دار نبود و همچنین میزان کارتنوئید برگ این دو گراس را افزایش داد ولی تنها تأثیر گونه فسیکولاتوم بر اگروپیرون معنی‌دار بود. بیشترین تأثیر قارچ قارچ‌ریشه‌ای بر میزان سبزینه و کارتنوئید برگ در

محتوای نسبی آب بالاتر در برگ‌ها ممکن است از طریق قابلیت تنظیم اسمزی و یا توانایی ریشه در جذب آب به دست آید (Schonfeld *et al.*, 1998). به نظر می‌رسد که محتوای نسبی آب شاخص مناسب‌تری برای گزینش در جهت مقاومت به خشکی در مقایسه با پتانسیل آب برگ باشد. با افزایش تنش خشکی در گندم محتوای نسبی آب کاهش پیدا می‌کند و به‌طورمعمول ولی نه همیشه رقم‌های مقاوم به خشکی محتوای نسبی آب بالاتری در شرایط تنش خشکی دارند (Schonfeld *et al.*, 1998). رقم‌های مختلف گندم در نتیجه اعمال تنش رطوبتی در شرایط گلخانه و مزرعه تفاوت معنی‌داری در زمینه محتوای نسبی آب داشتند، ولی رقم‌های مقاوم به خشکی برتری قابل توجهی را در این زمینه از خود نشان ندادند (Khazaei & Kafi, 2003). میزان نشت یونی با افزایش سطح تنش افزایش یافت و همبستگی منفی با محتوای نسبی آب داشت، این موضوع نشان داد، کاهش محتوای نسبی آب سبب آسیب‌پذیری غشاء و آزادسازی الکترولیت‌های بیشتر شد (Molaahmad & Naloussi *et al.*, 2014). میزان محتوای نسبی آب چمن لولیوم چندساله در شرایط تنش خشکی بالاتر و نشت یونی آن کمتر از دیگر گونه‌های مورد تحقیق بود. سازوکار مقاومت به خشکی در گراس شامل گریز و تحمل است. اجتناب عبارت از توانایی گراس در به تأخیر انداختن بی‌آب شدن با کاهش تعرق یا افزایش جذب. فستوکای پابلند شبکه ریشه‌ای عمیق داشته که به‌وسیله آن از خشکی اجتناب می‌کند، ولی هنگامی که آب خاک کاهش یابد با توجه به اینکه میزان تبخیر و تعرق آن حدود ۲۰ درصد بیش از دیگر گراس‌های فصل سرد است در معرض خشکی طولانی قرار گرفته و قابل ترمیم نیست. گراس لولیوم چندساله زیرا که ریشه کم‌عمق دارد توانایی جذب آب بالایی ندارد ولی میزان تبخیر و تعرق آن به دلیل تراکم و رشد افقی برگ و همچنین ضخامت موم روی پوست آن پایین است (Huang & Fry, 2000; Huang & Fry, 2004). لذا در شرایطی که عمق خاک محدود باشد لولیوم چندساله به دلیل داشتن میزان تبخیر و تعرق پایین توانایی خوبی برای اجتناب از خشکی دارد.

میزان سبزینه برگ را کاهش می‌دهد (Tatari *et al.*, 2013). درحالی‌که در نتایج تحقیقات دیگر چنین کاهشی در سبزینه در شرایط تنش مشاهده نشده است. تنش آبی کوتاه‌مدت تأثیری روی سبزینه برگ نداشته ولی نسبت سبزینه a/b را افزایش داد (Ahmadi & Baker, 2000). افزایش نسبت سبزینه a/b دلیل تیره شدن برگ‌ها است (Estill *et al.*, 1991). در گندم محتوای سبزینه در واکنش به تنش خشکی افزایش یافت (Salehi *et al.*, 2003). تنش خشکی در گیاهان علوفه‌ای با کاهش آماس یاخته‌ای و به‌احتمال باعث افزایش شمار یاخته و در نتیجه افزایش میزان سبزینه در واحد وزن تر برگ شده است.

گراس فستوکای پابلند دیده شد که در این زمینه گونه فسیکولاتوم مؤثرتر بود (جدول ۲). با بررسی اثر متقابل قارچ قارچ‌ریشه‌ای و سطوح مختلف تنش خشکی مشخص شد که قارچ میزان سبزینه a، b و کارتنوئید برگ گراس را در شرایط تنش خشکی افزایش داده و این افزایش در شرایط تنش شدید معنی‌دار بود و در این زمینه بیشترین تأثیر را گونه فسیکولاتوم و موسه‌آ داشتند (شکل ۷).

تنش خشکی سبب کاهش میزان سبزینه a، b، کل و کارتنوئید برگ لولیوم چندساله بر پایه وزن تر شد درحالی‌که میزان این رنگیزه‌ها در برگ دیگر جنس‌های گراس چمنی مورد آزمایش کاهش پیدا نکرد. شواهدی در دست است مبنی بر آنکه تنش آبی



شکل ۷. اثر متقابل گونه‌های قارچ‌های قارچ‌ریشه‌ای و تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی) بر میزان سبزینه a، سبزینه b و کارتنوئید برگ گراس. ستون‌های دارای حرف‌های مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار نداشتند.  
Figure 7. Interaction between mycorrhizal fungi species and drought stress (% FC) on chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid of grass leaf. Bars with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan test.

بود (شکل ۹). قارچ قارچ‌ریشه‌ای سبب کاهش میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ گراس‌های مورد آزمایش به‌ویژه در شرایط تنش شدید خشکی شد. بین گونه‌های مختلف قارچ، گونهٔ موسه‌آ سبب شد که میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ در بالاترین سطح تنش خشکی بیش از ۳۸ درصد و در تنش متوسط بیش از ۲۳ درصد نسبت به شرایط بدون قارچ کاهش یابد و از این نظر نسبت به دیگر گونه‌های قارچ مؤثرتر بود (شکل ۸).

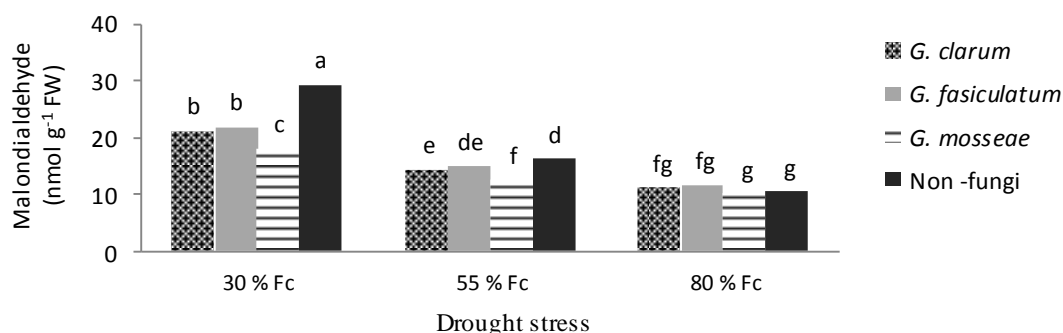
پراکسیداسیون چربی‌ها و تولید محصولی مانند مالون‌دی‌آلدهید نتیجهٔ حملهٔ رادیکال‌های فعال اکسیژن به اسیدهای چرب غیراشباع بوده که شاخصی زیستی برای سنجش میزان تأثیر تنش اکسایشی (اکسیداتیو) در گیاهان است (Sharma *et al.*, 2012). میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ چمن پوآی چندساله با افزایش سطح تنش خشکی افزایش یافته و در بالاترین سطح تنش میزان آن ۴/۲۳ برابر شرایط بدون تنش بوده است (Tatari *et al.*, 2013). در یک‌گونهٔ لوبیای مقاوم به خشکی (*Phaseolus acutifolius*) در مقایسه با گونهٔ حساس به خشکی (*Phaseolus vulgaris*) فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده بالاتر و میزان پراکسیداسیون چربی پایین‌تر بوده است (Turkan *et al.*, 2005). میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ گیاهان زوفا (*Hyssopus officinalis*) با افزایش تنش آبی در همهٔ تیمارهای بدون قارچ‌ریشه نسبت به زوفای همزیست با قارچ‌ریشه افزایش بیشتری نشان داده است. به‌طوری‌که در سطح تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ گیاهان زوفای همزیست با قارچ‌های گلوموس فسیکولاتوم، گلوموس موسه‌آ و بدون قارچ به ترتیب ۱/۱۴، ۱۰۶/۳ و ۱۲۶/۹ نانومول بر گرم وزن تازهٔ برگ بوده است (Soleymani & Pirzad, 2015). میزان مالون‌دی‌آلدهید موجود در برگ ذرت‌های همزیست با قارچ‌ریشه در شرایط تنش خشکی ۱۷/۵ درصد کمتر از ذرت‌های غیر همزیست بوده است (Zhu *et al.*, 2001). نتایج بیانگر این مطلب است که در گیاهان همزیست با قارچ‌ریشه تجمع رادیکال‌های فعال اکسیژن کمتر است.

کاروتنوئیدها دومین گروه مهم رنگیزه‌های گیاهی هستند که افزون بر نقشی که در جذب نور دارند با توجه به نقش پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی) آن‌ها در شرایط تنش، توانایی خنثی کردن تأثیر زیانبار گونه‌های واکنشگر اکسیژن برای محافظت از سبزینه را دارند (Sircelj *et al.*, 1999). بنابر نتایج این تحقیق تغییر میزان کاروتنوئید برگ چمن‌های مورد آزمایش بستگی به جنس گراس داشت.

از کاهش کاروتنوئید برگ لولیوم چندساله و کاهش نیافتن آن در پوآی چندساله در شرایط تنش خشکی می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که پوآی چندساله و دیگر گونه‌هایی که کاروتنوئید و همچنین سبزینهٔ برگ آن‌ها تحت تنش خشکی کاهش نیافته، توانسته‌اند با این سازوکار تأثیر زیانبار تنش خشکی را کاهش داده و در برابر آن مقاومت نشان دهند. لذا بسته به جنس گراس، شدت و مدت تنش خشکی و عامل‌های دیگر ممکن است غلظت رنگیزه‌های گروه کاروتنوئیدها افزایش یا کاهش یافته و یا بدون تغییر باقی بماند. به‌طور مثال غلظت کاروتنوئید نه‌گیاه چمنی و سه نوع غله در رویارویی با تنش خشکی کاهش نیافت (Price & Hendry, 1991). از سوی دیگر قارچ‌های قارچ‌ریشه‌ای با افزایش جذب عنصرهای ضروری در زیست‌ساخت (بیوسنتز) سبزینه‌ها (شامل منیزیم) می‌توانند موجب افزایش ساخت این رنگیزه‌ها شوند (Rahmatzadeh *et al.*, 2013). البته افزایش میزان کاروتنوئید برگ در گیاهان همزیست با قارچ‌ریشه‌ها تحت تنش خشکی، عامل مهمی برای کاهش تخریب سبزینه است.

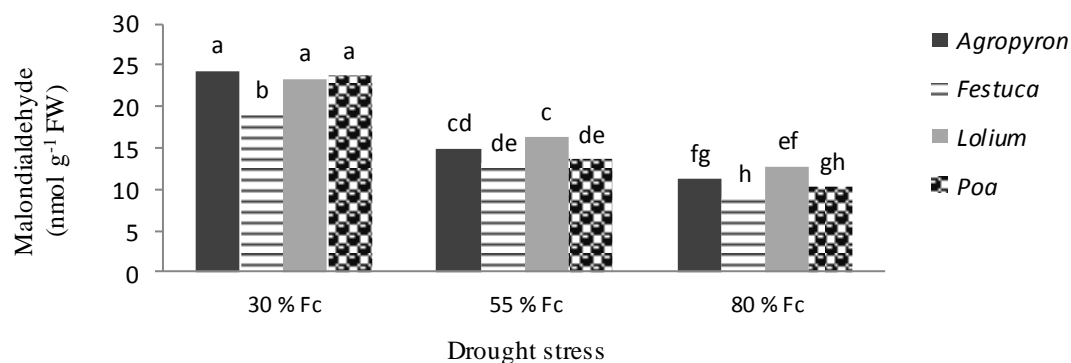
#### غلظت مالون‌دی‌آلدهید (MDA)

میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ گراس‌های مورد آزمایش در شرایط تنش خشکی افزایش معنی‌دار نشان داد. به‌طوری‌که در بالاترین سطح تنش (۳۰ درصد ظرفیت زراعی) میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ گراس‌های مورد آزمایش ۱/۵ برابر شرایط تنش ملایم (۵۵ درصد ظرفیت زراعی) و ۲/۱ برابر شرایط بدون تنش بود. میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ گراس فستوکای پابلند در همهٔ سطوح تنش پایین‌تر از دیگر جنس‌های گراس



شکل ۸. اثر متقابل گونه‌های قارچ‌های قارچ‌ریشه‌ای و تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی) بر میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ گراس. ستون‌های دارای حرف‌های مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار نداشتند.

Figure 8. Interaction between mycorrhizal fungi species and drought stress (% FC) on Malondialdehyde content of grass leaf. Bars with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan test.



شکل ۹. اثر متقابل جنس‌های گراس و تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی) بر میزان مالون‌دی‌آلدهید برگ گراس. ستون‌های دارای حرف‌های مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار نداشتند.

Figure 9. Interaction between grass genera and drought stress (% FC) on Malondialdehyde content of grass leaf. Bars with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan test.

جدول ۲. اثر متقابل جنس‌های گراس و گونه‌های قارچ‌ریشه‌ای بر میزان سبزینه a، سبزینه b، کاروتنوئید، وزن تر و خشک شاخساره و نسبت وزن خشک به وزن تر شاخساره

Table 2. Interaction between the grass genera and mycorrhizal fungi species on chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoid, shoot dry and fresh weight and ratio of dry to fresh weight

| Turfgrass genera | Mycorrhizae            | Chl a (mg g <sup>-1</sup> FW) | Chl b (mg g <sup>-1</sup> FW) | Carotenoid (mg g <sup>-1</sup> FW) | Shoot fresh weight (g) | Shoot dry weight (g) | Dry to fresh weight ratio (%) |
|------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|
| <i>Agropyron</i> | <i>G. clarum</i>       | 1.165 ab                      | 0.467 abcd                    | 0.191 bc                           | 0.038 ij               | 0.013 ef             | 36.68 abc                     |
|                  | <i>G. fasciculatum</i> | 1.230 a                       | 0.502 ab                      | 0.199 ab                           | 0.044 hi               | 0.014 def            | 36.08 abc                     |
|                  | <i>G. mosseae</i>      | 1.176 ab                      | 0.471 abc                     | 0.191 bc                           | 0.036 ij               | 0.013 ef             | 39.81 a                       |
|                  | Non-fungi              | 1.090 ab                      | 0.442 abcd                    | 0.172 cd                           | 0.032 j                | 0.011 f              | 37.17 abc                     |
| <i>Festuca</i>   | <i>G. clarum</i>       | 1.132 ab                      | 0.466 abcd                    | 0.201 ab                           | 0.073 de               | 0.025 bc             | 37.72 abc                     |
|                  | <i>G. fasciculatum</i> | 1.254 a                       | 0.518 a                       | 0.218 a                            | 0.077 cd               | 0.027 b              | 39.07 ab                      |
|                  | <i>G. mosseae</i>      | 1.016 bc                      | 0.417 abcd                    | 0.188 bc                           | 0.077 cd               | 0.024 bc             | 34.74 cd                      |
|                  | Non-fungi              | 0.876 cd                      | 0.357 e                       | 0.162 d                            | 0.070 def              | 0.022 c              | 36.12 abc                     |
| <i>Lolium</i>    | <i>G. clarum</i>       | 0.838 cd                      | 0.390 cde                     | 0.181 bcd                          | 0.060 fg               | 0.018 d              | 31.36 de                      |
|                  | <i>G. fasciculatum</i> | 0.879 cd                      | 0.403 bcde                    | 0.191 bc                           | 0.071 def              | 0.018 d              | 26.99 f                       |
|                  | <i>G. mosseae</i>      | 0.770 d                       | 0.356 e                       | 0.181 bcd                          | 0.063 efg              | 0.016 de             | 28.68 ef                      |
|                  | Non-fungi              | 0.823 cd                      | 0.370 de                      | 0.177 bcd                          | 0.054 gh               | 0.015 def            | 29.90 ef                      |
| <i>Poa</i>       | <i>G. clarum</i>       | 1.192 ab                      | 0.501 ab                      | 0.184 bcd                          | 0.085 bc               | 0.026 b              | 35.50 bc                      |
|                  | <i>G. fasciculatum</i> | 1.097 ab                      | 0.440 abcd                    | 0.181 bcd                          | 0.106 a                | 0.035 a              | 36.41 abc                     |
|                  | <i>G. mosseae</i>      | 1.180 ab                      | 0.505 a                       | 0.177 bcd                          | 0.095 b                | 0.032 a              | 36.53 abc                     |
|                  | Non-fungi              | 1.25 a                        | 0.51 a                        | 0.192 bc                           | 0.091 b                | 0.028 b              | 35.11 bcd                     |

Means in each column, values followed by same letters are not significantly different according to the Duncan test at P = 0.05.

جدول ۳. اثر متقابل جنس‌های گراس و تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی) بر میزان سبزینه a، سبزینه b، کارتنوئید، وزن تر و خشک شاخساره و نسبت وزن خشک به وزن تر شاخساره

Table 3. Interaction between the grass genera and drought stress (% FC) on chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoid, shoot fresh and dry weight and ratio of dry to fresh weight

| Turfgrass genus  | Drought stress | Chl a (mg g <sup>-1</sup> FW) | Chl b (mg g <sup>-1</sup> FW) | Carotenoid (mg g <sup>-1</sup> FW) | Shoot fresh weight (g) | Shoot dry weight (g) | Dry to fresh weight ratio (%) |
|------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|
| <i>Agropyron</i> | 30 % FC        | 1.350 b                       | 0.549 b                       | 0.223 a                            | 0.022 f                | 0.010 h              | 45.80 a                       |
|                  | 55 % FC        | 1.196 bcd                     | 0.499 bc                      | 0.192 cd                           | 0.027 f                | 0.011 h              | 39.77 b                       |
|                  | 80 % FC        | 0.949 efg                     | 0.363 d                       | 0.149 g                            | 0.064 d                | 0.017 fg             | 26.74 e                       |
| <i>Festuca</i>   | 30 % FC        | 1.205 bc                      | 0.498 bc                      | 0.221 a                            | 0.044 e                | 0.021 de             | 47.48 a                       |
|                  | 55 % FC        | 1.044 cde                     | 0.442 cd                      | 0.201 bc                           | 0.063 d                | 0.024 cd             | 38.24 bc                      |
|                  | 80 % FC        | 0.960 ef                      | 0.379 d                       | 0.155 fg                           | 0.117 b                | 0.029 b              | 25.02 ef                      |
| <i>Lolium</i>    | 30 % FC        | 0.786 g                       | 0.374 d                       | 0.172 ef                           | 0.041 e                | 0.015 g              | 35.21 c                       |
|                  | 55 % FC        | 0.832 fg                      | 0.383 d                       | 0.210 abc                          | 0.058 d                | 0.017 fg             | 30.47 d                       |
|                  | 80 % FC        | 0.865 fg                      | 0.382 d                       | 0.166 efg                          | 0.086 c                | 0.019 ef             | 22.02 f                       |
| <i>Poa</i>       | 30 % FC        | 1.506 a                       | 0.650 a                       | 0.219 ab                           | 0.057 d                | 0.026 bc             | 45.61 a                       |
|                  | 55 % FC        | 1.038 de                      | 0.425 cd                      | 0.180 de                           | 0.067 d                | 0.026 bc             | 37.76 bc                      |
|                  | 80 % FC        | 0.996 ef                      | 0.390 d                       | 0.152 g                            | 0.158 a                | 0.038 a              | 24.28 ef                      |

Means in each column, values followed by same letters are not significantly different according to the Duncan test at P = 0.05.

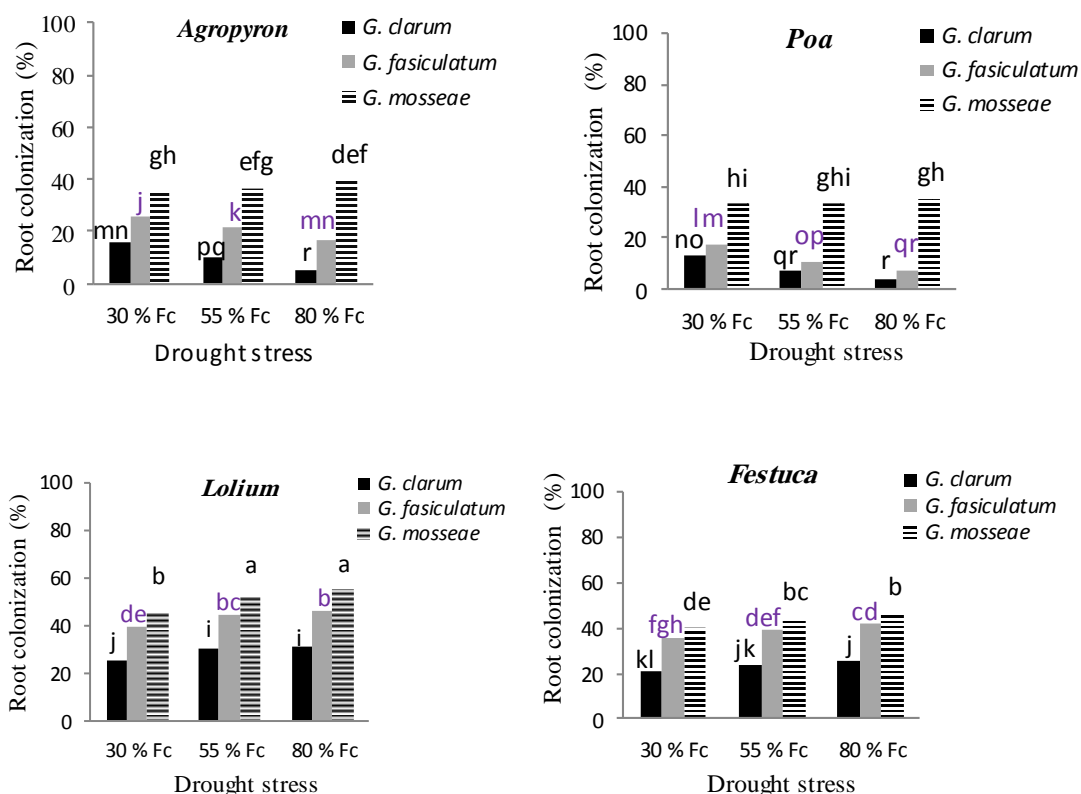
### درصد پرگنه‌سازی ریشه

نتایج بررسی‌ها نشان داد، جنس‌های گراس و تنش خشکی بر درصد پرگنه‌سازی ریشه به‌وسیله قارچ قارچ‌ریشه‌ای اثر متقابل دارند. درصد پرگنه‌سازی گونه‌های مختلف قارچ با ریشه گراس لولیوم چندساله و تغییرات آن تحت تنش خشکی همسان گراس فستوکای پابلند بود. درحالی‌که گراس آگروپیرون وضعیتی همسان گراس پوآی چندساله داشت. درصد پرگنه‌سازی ریشه گراس‌های لولیوم چندساله و فستوکای پابلند همزیست با گونه‌های مختلف قارچ در همه سطوح تنش خشکی بیش از گراس آگروپیرون و پوآی چندساله بود (شکل ۱۰). گونه موسه‌آ نسبت به دیگر گونه‌های قارچ در همه سطوح تنش خشکی، بیشترین درصد پرگنه‌سازی ریشه را با گراس‌های مورد آزمایش نشان داد و در بین جنس‌های گراس این‌گونه با ۵۵/۲۷ درصد، بیشترین پرگنه‌سازی را با ریشه گراس لولیوم چندساله در شرایط بدون تنش خشکی داشت (شکل ۱۰). گونه کلاروم در همه سطوح تنش و نسبت به دیگر گونه‌های قارچ کمترین درصد پرگنه‌سازی ریشه را با گراس‌های مورد آزمایش نشان داد و از این نظر با ۴/۱۳ درصد، کمترین میزان پرگنه‌سازی را با ریشه گراس پوآی چندساله در شرایط بدون تنش خشکی نشان داد. تنش خشکی در درصد پرگنه‌سازی هر سه گونه قارچ با ریشه گراس‌های لولیوم چندساله و فستوکای پابلند را کاهش داد ولی این کاهش در سطح رطوبتی ۵۵

درصد ظرفیت زراعی نسبت به سطح رطوبتی ۸۰ درصد ظرفیت زراعی معنی‌دار نبود (شکل ۱۰). تنش خشکی درصد پرگنه‌سازی ریشه گراس‌های آگروپیرون و پوآی چندساله با قارچ‌های کلاروم و فسیکولانوم را افزایش داد به‌طوری‌که درصد پرگنه‌سازی کلاروم با ریشه گراس پوآی چندساله را با ۲۲۰/۳۴ درصد افزایش، از ۴/۱۳ درصد به ۱۳/۲۳ درصد رساند. درصد پرگنه‌سازی موسه‌آ با ریشه گراس‌های مورد آزمایش در شرایط تنش خشکی کاهش نشان داد. به‌طوری‌که در بالاترین سطح تنش، درصد پرگنه‌سازی این‌گونه با ریشه گراس لولیوم چندساله از ۵۵/۲۷ درصد به ۴۵/۸۷ درصد کاهش یافت (شکل ۱۰). قابلیت گونه‌های قارچ قارچ‌ریشه‌ای برای همزیستی با گراس‌های آگروستیس و لولیوم چندساله متفاوت بوده است (Golotte et al., 2004). نتایج این آزمایش نیز نشان داد، گرایش به همزیستی و قابلیت گونه‌های قارچ برای همزیستی با گراس‌های مورد آزمایش بسیار متفاوت است. با توجه به ظرفیت بودن ریشه گراس‌های لولیوم چندساله و فستوکای پابلند نسبت به آگروپیرون و پوآی چندساله احتمال دارد پرگنه‌سازی بیشتر ریشه آن‌ها به همین ساختار ریشه ربط داشته باشد. توانایی گونه‌های مختلف قارچ به‌ویژه تحت تنش‌های محیطی در آلوده‌سازی گیاه میزبان متفاوت است (Jacobsen, 1992). برخی از گونه‌های قارچ قارچ‌ریشه می‌توانند به‌سرعت با تنش خشکی سازگار شده و گیاه میزبان را از برتری‌های خود

پتانسیل رطوبتی ۰/۵- تا ۲/۲- مگا پاسکال از جوانه‌زنی اسپور گونه‌های موسه‌آ و اینترادیسز جلوگیری کرده است (Douds & Schenck, 1991). در شرایط تنش خشکی دسترسی به فسفر برای گیاه مشکل‌تر است لذا گرایش گیاه برای همزیستی با قارچ‌ریشه در چنین شرایطی بیشتر است (Auge, 2001). به احتمال علت افزایش درصد پرگنه‌سازی ریشه آگروپیرون و پوآی چندساله همزیست با گونه‌های کلاروم و فسیکولاتوم تحت تنش خشکی ناشی از نیازمندی بیشتر گیاه به قارچ برای تأمین فسفر مورد نیاز خود باشد و اما کاهش درصد پرگنه‌سازی گراس‌هایی که همزیستی خوبی با قارچ‌ریشه داشتند می‌تواند به جهت کاهش میزان کربوهیدرات در دسترس و همچنین کاهش میزان تولید و جوانه‌زنی اسپور قارچ باشد.

بهره‌مند سازند (Wu *et al.*, 2013). تأثیر تنش خشکی بر درصد پرگنه‌سازی ریشه گیاهان توسط قارچ‌ریشه، به دوره و شدت تنش، شرایط کاشت (مزرعه‌ای یا گلدانی) گونه گیاه و گونه قارچ بستگی دارد (Auge, 2001). میزان تولید اسپور و همچنین غنای گونه‌ای قارچ قارچ‌ریشه‌ای در اقلیم‌های خشک کمتر از دیگر اقلیم‌ها است و تولید اسپور با افزایش خشکی، کاهش بیشتری یافته است (Auge, 2001). با کاهش رطوبت خاک کمیت و کیفیت ترشحات ریشه‌ای تغییر می‌کند که بر تندش اسپور مؤثر است و کاهش رطوبت خاک همچنین به‌طور مستقیم بر تندش اسپور مؤثر است (Smith & Read, 2008). تأثیر رطوبت خاک بر جوانه زدن اسپور در گونه‌ها و جنس‌های مختلف قارچ قارچ‌ریشه متفاوت است (Giovannetti, 2000).



شکل ۱۰. اثر متقابل جنس‌های گراس، گونه‌های قارچ‌ریشه‌ای و تنش خشکی (درصد ظرفیت زراعی) بر درصد

کلون‌سازی ریشه. ستون‌های دارای حرف‌های مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار نداشتند.

Figure 10. Interaction between the grass genera, mycorrhizal fungi species (Scientific name) and drought stress (% FC) on root colonization percent. Bars with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan test.

## نتیجه‌گیری کلی

هر چهار جنس گراس با گونه‌های قارچ همزیست شدند. بالاترین درصد پرگنه‌سازی ریشه را گراس لولیوم چندساله با گونهٔ موسه‌آ و کمترین درصد پرگنه‌سازی را گراس پوآی چندساله با گونهٔ کلاروم داشتند. گراس‌هایی که در شرایط بدون تنش خشکی گرایش به همزیستی بالا با گونه‌های قارچ داشتند با افزایش شدت تنش، درصد پرگنه‌سازی ریشهٔ آن‌ها کاهش یافت ولی گراس‌هایی که در شرایط بدون تنش، گرایش به همزیستی آن‌ها با گونه‌های قارچ پایین بود، با افزایش شدت تنش درصد پرگنه‌سازی در ریشهٔ آن‌ها افزایش یافت. تنش خشکی سبب کاهش وزن تر و خشک شاخساره، شمار برگ زنده، محتوای نسبی آب برگ و افزایش میزان نشت یونی، مالون‌دی‌آلدئید و کارتنوئید برگ گراس‌های مورد بررسی شد. تنش خشکی میزان سبزینه را تنها در برگ گراس لولیوم چندساله کاهش داد. بین جنس‌های گراس، لولیوم چندساله در بالاترین سطح تنش بیشترین محتوای نسبی آب برگ را داشت، لذا می‌توان نتیجه گرفت که به دلیل داشتن میزان تبخیر و تعرق پایین‌تر از دیگر جنس‌ها و در شرایطی که عمق ریشه محدود باشد، توانایی خوبی برای گریز از خشکی دارد. کمترین میزان مالون‌دی‌آلدئید در بالاترین سطح تنش در برگ گراس فستوکای پابلند

مشاهده شد که نشان‌دهندهٔ مقاومت بالای یاخته‌ای این‌گونهٔ گراس در برابر تنش خشکی است. قارچ قارچ‌ریشه وزن تر و خشک شاخساره، شمار برگ زنده، محتوای نسبی آب برگ، میزان سبزینه و کارتنوئید برگ را افزایش ولی میزان نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید برگ گراس‌های تحت تنش خشکی را کاهش داد. قارچ‌های فسیکولاتوم و موسه‌آ، سبزینه و کارتنوئید برگ گراس‌های همزیست با آن‌ها را در بالاترین سطح تنش، بیش از ۳۸ درصد افزایش دادند. بین گونه‌های قارچ، گونهٔ موسه‌آ سبب بیشترین افزایش محتوای نسبی آب برگ و کاهش میزان نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید برگ گراس‌های تحت تنش خشکی شد. در مجموع قارچ قارچ‌ریشه با افزایش جذب آب، شمار برگ زنده و همچنین افزایش میزان سبزینه و کارتنوئید برگ توانست تأثیر سوء تنش خشکی بر ویژگی‌های گیاهی گراس‌های مورد بررسی مانند نشت یونی و پراکسیداسیون چربی را کاهش دهد. با توجه به اینکه گرایش به همزیستی و تأثیر گونه‌های این قارچ بر جنس‌های مختلف گراس چمنی در شرایط تنش خشکی متفاوت بود، لذا استفاده از مایهٔ تلقیح حاوی هر دو گونهٔ فسیکولاتوم و موسه‌آ به‌منظور افزایش کارایی قارچ در همزیست شدن با گراس‌ها، برای کاهش هرچه بیشتر تأثیر سوء تنش خشکی، پیشنهاد می‌شود.

## REFERENCES

- Ahmedi, A. & Baker, A. D. (2000). Stomatal and nonstomatal limitations of photosynthesis under water stress conditions in wheat plant. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 31(4), 813-825. (in Farsi)
- Alcamo, J., Herichs, T. & Rosch, T. (2000). World water in 2025: Global modeling and scenario analysis for the world commission on water for the century. *Center for Environmental Systems Research. Report A0002*. University of Kassel, Germany.
- Alizadeh, A. (2004). *Soil and plant water relations*. Imam Reza University Press. Mashhad. (in Farsi)
- Aslani, Z., Hassani, A., Rasooli Sadaghiyani M., Sefidkon, F. & Barin, M. (2011). Effect of two fungi species of arbuscular mycorrhizal (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*) on growth, chlorophyll contents and P concentration in Basil (*Ocimum basilicum*L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(3), 471-486. (in Farsi)
- Amiard, V., Bertrand, A. M., Billard, J. P., Huault, C., Keller, F. & Prudhomme, M. P. (2003). Fructans, but not the sucrosyl-galactosides, Raffinose and Ioliose, are affected by drought stress in perennial ryegrass. *Journal Plant Physiology*, 132, 2218-2229.
- Amiri, M. J. & Eslamian, S. S. (2010). Investigation of climate change in Iran. *Journal of Environmental Science and Technology*, 3, 208-216.
- Amiri Nasab, K., Zakizadeh, H., Ghasemnezhad, M. & Biglouei, H. (2015). The effect of drought preconditioning on increasing drought stress tolerance in two turfgrass creeping bentgrass (*Agrostis Stoloniifera* cv. Palustris) and tall fescue (*Festuca Arundinacea* cv. Greystone). *Journal of Crops Improvement*, 16(3), 599-611. (in Farsi)



8. Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1-15.
9. Arve, L. E., Torre, S., Olsen, J. E. & Tanino, K. K. (2011). Stomatal responses to drought stress and air humidity. In: Shanker A. (Ed.), *Abiotic stress in plants - Mechanisms and adaptations*. InTech Publication. pp. 267-280.
10. Auge, R. M. (2001). Water relation, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11, 3-42.
11. Banwarie, L., Kaushik, S. K. & Gautam, R. C. (1994) Effect of soil moisture regime, kaolin spray and phosphorus fertilizer on nodulation, P uptake and water use of lentil (*Lense culinaris*). *Indian Journal of Agronomy*, 39, 241-245.
12. Barrs, H. D. & Weatherley, P. E. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15, 413-428.
13. Blum, A. & Ebercon, A. (1981). Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Science*, 21, 43-47.
14. Butler, T. R. (2008). *Physiological effects of drought on perennial ryegrass (Lolium perenne L.) and tall fescue (Festuca arundinacea Schreb.)*. Lincoln University. MSc. Dissertation.
15. Di, J. J. & Allen, E. B. (1991). Physiological responses of six wheatgrass cultivars to mycorrhizae. *Journal of Range Management*, 44, 336-341.
16. Domiri Ganji, H., Babaei, S., Mataji, A. & Rashidi, F. (2011) Evaluation of the trend of changes in green Space of district 2 of Tehran by using aerial photographs and satellite data. *Natural Resources, Science and Technology*, 5(2), 13-24. (in Farsi)
17. Douds, D. D. & Schenck, N. C. (1991). Germination and hyphal growth of vama fungi during and after storage in soil at five matric potentials. *Soil Biology and Biochemistry*, 23(2), 177-183.
18. Esmaeelpour, B., Jalily, P. & Hadian J. (2013). Effect of drought stress and mycorrhizal fungi on some morpho-physiological traits and performance of Summer Savory (*Satureja hortensis L.*). *Journal of Agroecology*, 5(2), 169-177. (in Farsi)
19. Estill, K., Delany, R. H., Smith, W. K. & Ditterline, R. L. (1991). Water relations and productivity of alfalfa leaf chlorophyll variants. *Crop Science*, 31, 1229-1233.
20. Gazanchian, A., Hajheidari, M., Khosh Kholgh Sima, N. A. & Salkadeh, G. H. (2007). Proteom response of *Elymus elongatum* to sever water stress and recovery. *Journal of Experimental Botany*, 58, 291-300.
21. Gemma, J. N., Koske, R. E., Roberts, E. M., Jackson, N. & De Antonis, K. M. (1997). Mycorrhizal fungi improve drought resistance in creeping bentgrass. *Journal of Turfgrass Science*, 73, 15-29.
22. Giovannetti, M. (2000). Spore Germination and Pre-Symbiotic Mycelial Growth. In Y. Kapulnik & D.D. Douds (Eds.), *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function* (pp. 47-68). Dordrecht: Springer Netherlands.
23. Goicoechea, N., Dolezal, K., Antolin, M. C., Strnad, M. & SanchezDiaz, M. (1995). Influence of mycorrhizae and rhizobium on cytokinin content in drought-stressed alfalfa. *Journal of Experimental Botany*, 46, 1543-1549.
24. Gollotte, A., van Tuinen, D. & Atkinson, D. (2004). Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Colonising Roots of the Grass Species *Agrostis capillaris* and *Lolium perenne* in a Field Experiment. *Mycorrhiza*, 14(2), 111-117.
25. Heath, R. L. & Parker, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stiochiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125, 189-198.
26. Huang, B. & Fry, J. D. (2004). *Applied turfgrass science and physiology*. 1th Ed. John Wiley, New York. 320 p.
27. Huang, B. & Fry, J. D. (2000). Turfgrass Evapotranspiration. *Journal of Crop Production: Agricultural Management in Global Context*, 2(2), 317-333.
28. Jacobsen, I., Abbott, L. K. & Robson, A. (1992). External hyphae of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trofolium subterraneum L.* I. Spread of hyphae and phosphorus inflow into roots. *New Phytologist*, 120, 371-380.
29. Jinrong L., Xiaorong X., Jianxiong D., Jixiong S. & Xiaomin B. (2008). Effects of simultaneous drought and heat stress on Kentucky bluegrass. *Scientia Horticulturae*, 115, 190-195.
30. Kafi, M., Daneshvar Hakimi Meybodi, N., Nikbakht, A., Rejali, F. & Deneshkhah, M. (2013). Effect of humic acid and mycorrhiza fungi on some characteristics of "Speedy green" perennial ryegrass (*Lolium perenne L.*). *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 4(13), 49-59. (in Farsi)
31. Kafi, M., Borzouei, A., Salehi M., Kamandi, A., Masoumi, A. & Nabati, J. (2009). *Environmental stress physiology in plants*. Jihad-e-Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad. 502p. (in Farsi)
32. Kafi, M. & Kaviani, S. H. (2002). *Establishment management and turf maintenance*. Cultural & Artistic Institution Shaghayegh Rusta, Pp: 230. (in Farsi)

33. Khazaei, H. & Kafi, M. (2003). The role of relative water content (RWC) and stomatal resistance to drought resistance in wheat and their relationship with grain yield under greenhouse and field. *Journal of Agricultural Sciences and Technology*, 16(2), 125-115. (in Farsi)
34. Khorshidi, M., Bicharanlou, B. & Bagheri, M. (2014). Elevated the tolerance of maize plants to temperature changes through symbiosis with three Species of Mycorrhiza. *Sustainable Agriculture and Production science*, 23(4.1), 187-200. (in Farsi)
35. Lichtenthaler, H. K. & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, 591-592.
36. Molaahmad Nalouisi, A., Hatamzadeh, A., Ghasemnezhad, M. & Biglouei, H. (2014). Effects of exogenous sodium nitroprusside on drought resistance of creeping bentgrass and tall fescue. *Journal of Horticultural Science and Technology*. 16(3), 427-438. (in Farsi)
37. McGonigle, T. P., Miller, M. H., Evans, D. G., Fairchild, G. L. & Swan, J. A. (1990). A new method which gives an objective-measure of colonization of roots by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 115(3), 495-501.
38. Munné-Bosch, S. & Alegre, L. (2004). Die and let live: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. *Functional Plant Biology*, 31, 203-216.
39. Pelletier, S. & Dionne, J. (2004). Inoculation rate of arbuscular-mycorrhizal fungi *Glomus intraradices* and *Glomus etunicatum* affects establishment of landscape turf with no irrigation or fertilizer inputs. *Crop Science*, 44(1), 335-338.
40. Philips, J. M. & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55, 158-161.
41. Price, A. H. & Hendry, G. A. F. (1991). Iron-catalyzed oxygen radical formation and its possible contribution to drought in nine native grasses and three cereals. *Plant, Cell and Environment*, 14, 477-484.
42. Rahmatzadeh, S., Khara, J. & Kazemitabar, S. K. (2013). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth improvement and biochemical factors of regenerated *Catharanthus roseus* L. plants under tryptophan treatment during acclimatization process. *Iranian Journal of Plant Biology*, 5(16), 27-40. (in Farsi)
43. Rejali, F., Mardoukhi, B. & Malakouti, M. (2011). The effect of mycorrhizal symbiosis on WUE, proline accumulation and nutrient uptake of wheat in saline conditions. *Water Research in Agriculture*, 24 (2), 111-122. (in Farsi)
44. Saedmoocheshi, A. & Heidari, B. (2011). Alleviation of drought damages on chlorophyll content and biological yield in wheat cultivars by means of mycorrhizal symbiosis. *The fifth national conference on new ideas in agriculture*. Islamic Azad University, Isfahan (Khorasgan) Branch. (in Farsi)
45. Salehi, M., Koochaki, A. & Nassiri Mahalati, M. (2003). Leaf nitrogen and spad reading as indicator for drought stress in wheat. *Journal of Iranian Field Crop Research*, 1(2), 199-204. (in Farsi)
46. Schonfeld, M. A., Johnson, R. C., Carver, B. F. & Mornhinweg, D. W. (1988) Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Sciences*, 28, 526-531.
47. Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S. & Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, 26.
48. Sircelj, H., Batic, F. & Stampar, F. (1999). Effects of drought stress on pigment, ascorbic acid and free amino acids content in leaves of two apple tree cultivars. *Phyton (Austria)*, 39, 97-100.
49. Smith, S. E. & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, London.
50. Soleymani, F. & Pirzad, A. (2015). The effect of mycorrhizal fungi on malondialdehyde concentration and some metabolic processes in hyssop (*Hyssopus officinalis*) under water deficit stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 7, 15-26. (in Farsi)
51. Song, H. (2005). Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its Mechanisms. *Electronic Journal of Biology*, 1(3), 44-48.
52. Tatari, M., Fotouhi Ghazvini, R., Etemadi, N., Ahadi, A. M. & Mousavi, A. (2013). A study of morphological, physiological and biochemical responses of *Poa pratensis* L. (Kentucky bluegrass) cv. 'Barimpala' to drought stress conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 44(3), 329-340. (in Farsi)
53. Tehranifar, A., Selahvarzi, Y., Gazanchian, A. & Arooei, H. (2009). Drought resistance mechanisms of native and commercial turfgrasses under drought stress: II. Shoot responses. *Journal of Horticulture Science*, 23(1), 1-9. (in Farsi)
54. Turkan, I., Bor, M., Ozdemir, F. & Koca, H. (2005). Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought - tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Science*, 168:223-231.

55. Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L. & Gasparikova, O. (2006). Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant Soil Environment*, 52(4), 186-191.
56. Wu, Q. S., Srivastava, A. K. & Zou, Y. N. (2013). AMF-induced tolerance to drought stress in citrus: A review. *Scientia Horticulturae*, 164, 77-87.
57. Wu, Q. S. & Zou, Y. N. (2009). Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought-stressed citrus. *Soil Environmental and Atmospheric Sciences*, 55(10), 436-442.
58. Zhu, X., Song, F. & Liu, S. (2001). Arbuscular mycorrhiza impacts on drought stress of maize plants by lipid peroxidation, proline content and activity of antioxidant system. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9(2), 583-587.