تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۸
۱۱۶۵-۱۱۷۸
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1752.1402

مقاله پژوهشی

بررسی برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد دانه و اجزای آن در ارقام ذرت تحت شرایط تنش خشکی و کاربرد مایکوریزا

خاطره توکلی اوجانی[۱]، ورهرام رشیدی[۱*]، مهرداد یارنیا[۱]، علیرضا تاری نژاد[۲]، بهرام میرشکاری[۱]

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز
۲. گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۱۲

چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی مناطق خشک و نیمه‌خشک، کمبود آب است. استفاده از قارچ مایکوریزا که با همزیستی ریشه گیاهان زراعی تأثیر مثبتی در نظام‌های زراعی نشان داده، یکی از راهکارهای نوین کشاورزی پایدار در جهت کاهش خسارت ناشی از تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی است؛ بنابراین، این تحقیق با هدف بررسی واکنش ارقام ذرت به کم‌آبی در شرایط کاربرد و عدم کاربرد قارچ مایکوریزا (*Glomus mossea*) بر روی برخی صفات ذرت آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی طی دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز انجام شد. عامل اصلی شامل کم‌آبی بر اساس تبخیر از تشتک کلاس A در دو سطح ۷۰ میلی‌متر (به‌عنوان شاهد) و ۱۴۰ میلی‌متر (به‌عنوان تنش) و عامل فرعی شامل ۱۴ ترکیب فاکتوریل کاربرد و عدم کاربرد قارچ مایکوریزا (گونه گلوموس موسه) روی هفت رقم ذرت (۲۶۰، ۳۰۱، ۴۰۰، ۴۰۱۵، ۷۰۳، ۷۰۴ و ۷۰۵) بودند. صفات مورداندازه‌گیری مشتمل بر محتوی رطوبت نسبی برگ، میزان شاخص کلروفیل، شاخص سطح برگ، تعداد بلال در بوته، طول بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف دانه، وزن ۳۰۰ صد دانه و عملکرد دانه بود. نتایج حاصل از تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سال در تنش در رقم و همچنین تنش در رقم در مایکوریزا روی عملکرد دانه معنی‌دار بود. بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین عملکرد دانه مربوط به سینگل‌کراس ۳۰۱ و در شرایط بدون تنش با میانگین ۷۶۰ گرم بر مترمربع بود. درحالی‌که کمترین عملکرد دانه مربوط به سینگل‌کراس ۴۰۱۵ در شرایط کم‌آبی با میانگین ۳۹۲ گرم بر مترمربع بود. بیشترین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش کم‌آبی به ترتیب در سینگل‌کراس ۷۰۳ و ۳۰۱ و در شرایط کاربرد مایکوریزا به ترتیب با میانگین ۷۶۵ و ۷۲۰ گرم بر مترمربع بود. به عبارتی قارچ مایکوریزا در برخی از ارقام در شرایط تنش اثر مثبت روی عملکرد داشت. برآورد همبستگی بین صفات نشان داد که در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی، عملکرد دانه بیشترین همبستگی را با وزن ۳۰۰ صد دانه داشت.

واژه‌های کلیدی: **ضریب همبستگی، کم‌آبی، گلوموس موسه، محتوی نسبی رطوبت.**

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) از مهم‌ترین گیاهان زراعی بوده و بعد از گندم و برنج مقام سوم را در بین غلات دارد (Eskandarnejad et al., 2013). میزان آب موردنیاز ذرت بسته به شرایط محیطی و غذایی بین شش الی ۱۲ هزار مترمکعب در هکتار برآورد شده است (Ghorbanian et al., 2012).

خشکی شایع‌ترین تنش غیرزنده است که گیاهان زراعی با آن مواجه می‌شوند بنابراین استفاده بهتر و کارآمدتر از منابع گیاهی موجود و شناسایی گیاهان مقاوم به تنش کم‌آبی از مهم‌ترین راهکارهای کاهش مشکلات تولید کشاورزی در مناطق خشک هستند (Ribaut et al., 2012). برتری هیبریدهای ذرت ازنظر تولید بالقوه باید در شرایط محیطی

* نگارنده پاسخگو: ورهرام رشیدی. پست الکترونیک: rash270@yahoo.com

مناسب و منطبق با نیازهای رشدی هر هیبرید ارزیابی گردد. اگر گیاه ذرت در شرایط نامساعد محیطی کشت شود، هیبریدها عملکرد کمتری نسبت به ارقام سازگار معمولی خواهند داشت و اگر گرده‌افشانی با شرایط نامساعد محیطی (بادهای گرم و کمبود رطوبت) مقارن شود، یکنواختی هیبریدها یک نقطه‌ضعف خواهد بود (Moshaver et al., 2015).

برخی از محققین بر اهمیت تأمین آب کافی در مرحله رشد رویشی ذرت تأکید کرده‌اند، به اعتقاد آن‌ها نقش آب در مرحله رشد رویشی و قبل از گرده‌افشانی گرچه تأثیر کمتری بر عملکرد نهایی نسبت به کمبود آب در مرحله گلدهی و پر شدن دانه‌ها دارد ولی از این نظر که بر گسترش برگ و توسعه ساقه تأثیر گذاشته و میزان تجمع مواد در این اندام را به‌شدت تغییر می‌دهد دارای اهمیت خاصی است (Lobell et al., 2014). تنش رطوبتی در طول مراحل مختلف رشد ذرت، عملکرد آن را در درجات متفاوت کاهش می‌دهد که شدت کاهش عملکرد نه‌تنها به‌شدت تنش بلکه به مرحله رشدی گیاه وابسته است (Cheng et al., 2017).

قارچ‌های مایکوریزی می‌توانند اثرات نامطلوب تنش خشکی در گیاهان را تقلیل دهند (Miransari, 2010). قارچ مایکوریزا آرباسکولار با ریشه اکثر گیاهان رابطه هم‌زیستی داشته و گیاه را در جذب عناصر معدنی، خاک و مواد غذایی به‌ویژه عناصر کم‌تحرک کمک می‌کند. این قارچ علاوه بر افزایش جذب مواد غذایی ممکن است سبب تحرک مواد تنظیم‌کننده رشد، افزایش فتوسنتز، بهبود تنظیم فشار اسمزی در شرایط خشکی و افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی نیز شوند (Esmaeilpour et al., 2013). در همین راستا، گزارش شد که کاربرد قارچ مایکوریزا از جنس گلوموس سبب افزایش چشمگیر عملکرد گیاه می‌گردد (Sun et al., 2010). کومار و همکاران (Kumar et al., 2015) طی آزمایشی افزایش عملکرد در گیاه ذرت را به تأثیر مثبت مایکوریزا در افزایش سطح جذب ریشه‌ها از طریق نفوذ میسیلیوم قارچ در داخل خاک و بالطبع دسترسی گیاه زراعی به حجم بیشتری از خاک، انتقال آب و مواد غذایی به اندام‌های هوایی و بهبود رشد نمو گیاه نسبت دادند. قبادی و همکاران (Ghobadi et al., 2015) بیان کردند که با افزایش تنش آبی، تعداد دانه در هر بلال کاهش پیدا می‌کند به‌طوری‌که کمترین تعداد دانه در بلال (۴۰۳ دانه در بلال) به تیمار تنش شدید رطوبتی تعلق داشت. تنش آبی با اثر بر فرایند باز شدن روزنه‌ها، کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین، می‌تواند میزان تولید مواد پرورده را به میزان زیادی کاهش داده و به‌طور مستقیم موجب کاهش وزن دانه‌ها شود (Zlatev and Lidon, 2012) به گزارش ما و همکاران (Ma et al., 2014)، کمبود آب ۱۸ تا ۲۰ روز قبل از گرده‌افشانی موجب ۱۵ تا ۲۵ درصد کاهش عملکرد دانه ذرت شد. کمبود آب طی گرده‌افشانی و در طول دوره پر شدن دانه به ترتیب ۹۰ و ۲۵ تا ۴۰ درصد عملکرد دانه را تنزل داد. کمبود آب در زمان گرده‌افشانی درصد سقط‌جنین را افزایش می‌دهد و می‌تواند تشکیل بذر ذرت را کاملاً متوقف سازد. در بررسی همبستگی صفات و تجزیه علیت عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش نشان دادند که صفات تعداد بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف دانه و وزن صد دانه ارتباط معنی‌داری با عملکرد دانه دارد (Seyedzavar et al., 2015).

هدف از این پژوهش بررسی واکنش ارقام ذرت به کمبود آب ازنظر برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد دانه و اجزای آن تحت شرایط کاربرد قارچ مایکوریزا است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی دو سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز (واقع در اراضی کرکج در ۱۵ کیلومتری شرق تبریز که این محل با ۱۳۶۰ متر ارتفاع از سطح دریای آزاد در طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه شمالی) اجرا شد. نتایج آزمایش خاک محل اجرای آزمایش مزرعه در جدول ۱ آورده شده است.

در این تحقیق واکنش هفت هیبرید ذرت (جدول ۲) نسبت به تنش کم‌آبی در مرحله شش برگی به بعد موردبررسی قرار گرفت. این آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سطوح آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی در دو سطح شاهد (۷۰ میلی‌متر تبخیر) و تنش (۱۴۰ میلی‌متر تبخیر) از تشتک کلاس A و ترکیب فاکتوریل هفت هیبرید سینگل‌کراس ذرت و کاربرد و عدم کاربرد مایکوریزا (گونه *Glomus mossea* 14) به‌عنوان فاکتورهای فرعی بودند. فاصله تکرارها از یکدیگر دو متر و فاصلهٔ کرت‌های اصلی ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. هر واحد آزمایشی (کرت) شامل سه ردیف کاشت با ابعاد ۴×۳ متر، فاصله ردیفی ۷۰ سانتیمتر

و فاصله بوته روی ردیف ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در هر دو سال متوالی در اواخر اردیبهشت‌ماه صورت گرفت. هم‌زمان با کاشت برای هر یک از ردیف‌ها ۸۰ گرم از قارچ مایکوریزا (*Glomus mossea*) در نظر گرفته شد که به ازای هر بذر ۱۰ گرم در قسمت پایین‌تر از بذر نزدیک به ناحیه ریشه‌ها ریخته شد. جمعیت قارچ مایکوریزا دارای حداقل ۸۰ پروپاگول (واحد زنده قارچی) به ازای هر گرم بود. گونه قارچ مایکوریزا از کلینیک گیاه‌پزشکی ارگانیک اسدآباد همدان تهیه شد و توسط آزمایشگاه خاکشناسی، تلقیح و کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا اطمینان حاصل گردید. به دلیل اینکه هدف از این آزمایش تأثیر قارچ مایکوریزا (*Glomus mossea*) بر روی ارقام موردمطالعه بوده است به همین جهت هیچ‌گونه کود شیمیایی ازجمله پتاس و فسفر استفاده نشده است و بنا به توصیه آزمایشگاه خاکشناسی فقط اوره در دو نوبت در زمان کاشت و ساقه‌دهی به‌عنوان استارتر در دو سال آزمایش مصرف شد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1. Physical and chemical properties of the soil

بافت خاک soil texture	رس Clay	سیلیت Silt	شن Sand	پتاسیم قابل‌جذب Available potassium	فسفر قابل‌جذب Absorbable phosphorus	نیتروژن کل N total	کربن آلی Organic carbon O.C	کربنات کلسیم Calcium carbonate	pH	EC	عمق Depth
لومی شنی	----------(%)----------			-------mg.kg^{-1}----		----------(%)----------				(ds/m)	m
Sandy loam	15	20	65	485	11.6	0.09	0.69	10.1	7.92	1.9	0.30

جدول ۲. هیبریدهای ذرت

Table 2. Corn hybrids

Hybrid Code	کد هیبرید	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
Hybrid	هیبرید	SC260	SC301	SC400	SC4015	SC703	SC704	SC705

آبیاری گیاه تا مرحله شش برگی بدون اعمال تنش کم‌آبی انجام گرفت و بعد از این مرحله، تیمار شاهد ۱۱ نوبت آبیاری و تیمار تنش کم‌آبی با ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A، با پنج نوبت آبیاری انجام گرفت. کلیه عملیات کاشت و داشت برای تمامی واحدهای آزمایشی در تکرارها به‌غیراز ترکیبات تیماری یکسان انجام گردید. در عملیات داشت قبل از اینکه بوته به شش برگی برسد تنک‌کاری انجام شد و در همه مراحل مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی صورت گرفت. نمونه‌برداری در کلیه کرت‌ها بوته‌های ذرت به‌صورت کف بر برداشت و تعداد شش بوته در حال رقابت و تیپیک به‌طور تصادفی جهت اندازه‌گیری صفات عملکرد دانه و اجزای عملکرد ازجمله تعداد بلال در بوته، طول بلال، وزن ۳۰۰ دانه، عملکرد دانه، تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف دانه و همچنین میزان شاخص کلروفیل، محتوی رطوبت نسبی برگ و شاخص سطح برگ انتخاب شدند. با توجه به دوره رشد ارقام موردمطالعه، رسیدگی و برداشت بین ارقام ۱۵-۱۰ روز متفاوت بوده است به همین جهت اندازه‌گیری صفات و زمان برداشت بر اساس دوره‌های رسیدگی هر یک از ارقام انجام گرفته است. روش سنجش آن‌ها به شرح زیر است:

میانگین تعداد وزن ۳۰۰ دانه توزین و عملکرد دانه بر اساس بوته در مترمربع اندازه‌گیری و نهایتاً به عملکرد در مترمربع تبدیل گردید. طول بلال با استفاده از خط‌کش اندازه-گیری شد. تعداد بلال در هر بوته، تعداد دانه در ردیف و ردیف‌های دانه در بلال‌ها و نمونه انتخاب شده برای هر واحد آزمایشی بعد از رسیدگی کامل برای هر یک از ارقام شمارش و میانگین آن‌ها ثبت شد (Adiloglu et al., 2012). محتوای رطوبت نسبی در طی دوره تنش با استفاده از برگ‌های فوقانی بوته انجام شد. برای این منظور بالاترین برگ جدا گردیده و به‌منظور عدم اتلاف رطوبت، نمونه‌های برگی از فویل‌های آلومینیومی و یخ استفاده شد و بلافاصله وزن شد (وزن‌تر). سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر با دمای حدوداً پنج درجه سلسیوس و نور اندک غوطه‌ور شده و پس از گرفتن

آب روی آن‌ها با کاغذ صافی، وزن گردیدند (وزن تورم کامل). سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار داده‌شده و وزن شدند (وزن خشک). محتوی رطوبت نسبی برگ از رابطه ۱ محاسبه گردید (Afsharmanesh et al., 2008).

RWC=(وزن‌تر-وزن‌خشک)/(وزن‌اشباع-وزن‌خشک)×۱۰۰ [۱]

میزان شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (مدل SPAD- 502) در اواسط دوره‌ی تنش‌دهی از برگ بالا در پنج موقعیت اندازه‌گیری و سپس میانگین آن‌ها یادداشت شد (O, neill et al., 2006). به‌منظور اندازه‌گیری شاخص سطح برگ موردمطالعه در انتهای فصل رشد، برگ‌های تمامی بوته‌های انتخابی به‌صورت کف بُر قطع و تمام برگ‌های آن از ساقه جدا و سپس طول و بزرگ‌ترین پهنای هر برگ به‌وسیله خط‌کش اندازه‌گیری و درنهایت با استفاده از رابطه‌های کامپارس (Moll and Kamparth, 1977) و آکوواح (Acquaah, 2002) سطح برگ هر بوته و از روی آن شاخص سطح برگ به‌صورت رابطه ۲ محاسبه گردید:

$$A=L\times W\times 0.75$$
$$LAI = nA/10000 \quad [۲]$$

در این رابطه‌ها n تعداد بوته، A سطح برگ بوته،L طول برگ و W بزرگ‌ترین پهنای برگ است.

قبل از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام شد. تجزیه واریانس به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل و آزمون F بر اساس امید ریاضی با استفاده از نرم‌افزارها SAS(9) انجام شد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

بررسی نتایج مرکب داده‌ها نشان داد سال، رقم، مایکوریزا و اثر متقابل سال × رقم، سال × تنش × رقم بر محتوی رطوبت نسبی برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل سه‌جانبه سال ×تنش × رقم نیز نشان داد که بیشترین میانگین به ترتیب مربوط به رقم سینگل‌کراس ۷۰۵ در سطح بدون تنش (۷۰ میلی‌متر تبخیر) در سال‌های اول و دوم به ترتیب (با میانگین‌های ۸۶/۴ و ۸۶/۲ درصد) و نیز رقم سینگل‌کراس ۲۶۰ در سطح بدون تنش در سال اول (با میانگین ۸۵/۱) بوده و کمترین میانگین این صفت مربوط به سینگل‌کراس ۳۰۱ در شرایط تنش (۱۴۰ میلی‌متر تبخیر) در سال دوم با (میانگین ۵۵/۱ درصد) است (جدول ۹). افکاری و همکاران (Afkari et al., 2010) اظهار داشتند که کاهش میزان محتوی رطوبت نسبی در اثر تنش کم‌آبی مربوط به انسداد روزنه‌ها بوده و بسته شدن روزنه‌ها با تجمع هورمون آبسیزیک اسید در سلول‌های روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی ارتباط دارد مقایسه میانگین محتوای رطوبت نسبی بر اساس میانگین دو سال آزمایش برای کاربرد و عدم کاربرد مایکوریزا نشان داد که محتوی رطوبت نسبی در شرایط کاربرد مایکوریزا نسبت به عدم کاربرد آن بیشتر است (جدول ۱۰). دلیل افزایش محتوی رطوبت نسبی برگ در گیاه تحت تیمار قارچ مایکوریزا را می‌توان به نقش هیف‌های مایکوریزا در جذب و هدایت آب به ریشه گیاه نسبت داد. لذا گیاه تحت تیمار مایکوریزا با جذب آب می-توانند محتوی رطوبت نسبی بالاتری داشته باشند. افزایش جذب آب در گیاهان تحت تیمار مایکوریزا به هدایت الکترولیکی ریشه در شرایط همزیستی نیز مرتبط است (Manafi et al., 2010). با توجه به اینکه با ایجاد تنش برگ‌های گیاه ذرت لوله‌ای شدند بنابراین سطح برگ کاهش یافت و این ترتیب محتوی نسبی آب برگ در سطح بالاتری حفظ شد و به نظر می‌رسد عامل کاهش محتوی نسبی آب برگ تحت تأثیر کم‌آبیاری، عدم دسترسی گیاه به حجم آب کافی برای تنظیمات اسمزی در محدوده توسعه ریشه باشد که این نتایج با دستاوردهای منصوری‌فر و همکاران (Mansouri Far et al., 2010) تطابق داشت. سانچیز و همکاران (Sanchez-Rodrıguez et al., 2010) بیان داشتند که محتوای نسبی آب برگ ممکن است تعادل بین آب تأمین‌شده برای برگ و سرعت تعرق را بهتر از سایر اجزای روابط آبی منعکس کند، لذا آن را شاخص مناسبی برای نشان دادن وضعیت آبی برگ دانسته‌اند. بالا بودن میزان درصد محتوای رطوبت نسبی در جمعیت‌های متحمل به تنش می-تواند به دلیل وجود برخی عوامل کم کننده تلفات آب از طریق بستن روزنه‌ها و یا جذب بیشتر آب به‌وسیله گسترش ریشه باشد (Rashidi et al., 2012).

نتایج تجزیه مرکب شاخص کلروفیل نشان داد اثر رقم در سطح احتمال ۱ درصد و تنش کم‌آبی، مایکوریزا و اثر متقابل سال × رقم، سال× تنش × مایکوریزا در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین میزان شاخص کلروفیل برای اثر متقابل سه‌جانبه نشان داد که بیشترین شاخص میزان کلروفیل در سال اول در شرایط بدون تنش (۷۰ میلی‌متر تبخیر) و کاربرد مایکوریزا (با میانگین ۲۱/۶

اسپاد) است و کمترین میزان مربوط به سال دوم در شرایط تنش (آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر) و عدم کاربرد مایکوریزا (با میانگین ۱۴/۱ اسپاد) بود (جدول ۴). علت اینکه در سال اول بهتر عمل کرده است می‌توان به شرایط آب و هوایی که در قسمت فیزیولوژیکی برگ گیاه فعل‌وانفعالاتی صورت گرفته باشد دانست. گلوتامات که پیش ماده کلروفیل و پرولین است در اثر تنش کمبود آب به پرولین تبدیل و درنتیجه از محتوی کلروفیل کاسته می‌شود؛ بنابراین در شرایط تنش از میزان کلروفیل به دلیل فوق و نیز به علت تجزیه و تخریب کلروفیل کاسته می‌شود. راهداری و حسینی (Rahdari and Hoseini, 2012) اظهار داشتند کاهش در میزان کلروفیل تحت تأثیر خشکی به‌شدت تنش بستگی دارد و کاهش در میزان کلروفیل نتیجه کاهش تولید کلروفیل در گیاهان و تخریب کلروفیل‌های موجود است. مقایسه میانگین این صفت برای اثر متقابل دوجانبه سال × رقم نشان داد که بیشترین میانگین مربوط به سال اول در سینگل‌کراس ۷۰۳ (با میانگین ۲۵/۴ اسپاد) و کمترین میانگین در همان سال به سینگل‌کراس ۴۰۰ (با میانگین ۱۳/۳ اسپاد) تعلق داشت (جدول ۶).

نتایج شاخص سطح برگ نشان داد رقم و اثر متقابل سال × رقم و سال × تنش × رقم در سطح احتمال ۵ درصد بر روی این صفت معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین شاخص سطح برگ برای اثر متقابل سه‌جانبه نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ با میانگین ۰/۴۳۱ سانتی‌متر مربع در بوته به سینگل‌کراس ۴۰۰ در شرایط بدون تنش (آبیاری در ۷۰

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب برای ارقام ذرت در شرایط کاربرد و عدم کاربرد مایکوریزا بر روی صفات هیبریدهای ذرت تحت تنش خشکی

Table 3. Results of Combined Variants Analysis for maize cultivars under application and lack of application of mycorrhiza on corn hybrids under drought stress

			میانگین مربعات (MS)				
(S.O.V)	منابع تغییر	درجه آزادی (df)	وزن ۳۰۰ دانه Weight of 300 seeds	عملکرد دانه Grain yield	تعداد دانه در ردیف Number of seeds per row	تعداد ردیف دانه Number of row rows	طول بلال Ear length
Year (Y)	سال	1	1661**	100921**	628*	8.51*	19.3^{ns}
Y (Rep)	سال/تکرار	4	35.9	1967	36.8	0.959	5.67
Drought Stress (D)	تنش کم‌آبی	1	23041*	1584576^{ns}	5952^{ns}	5.65ns	162^{ns}
D×Y	تنش کم‌آبی×سال	1	522*	50937**	178*	0.159^{ns}	86.7**
Error	خطای اصلی	4	25.6	2282	36.6	4.61	3.85
Hybrid (V)	هیبرید	6	531*	39558**	238*	51.4*	33.7*
Mycoryza (M)	میکوریزا	1	1754^{ns}	109992^{ns}	382*	4.72^{ns}	97.0 ^{ns}
V×M	هیبرید×میکوریزا	6	56.2**	4668^{ns}	10.4^{ns}	1.20^{ns}	1.40^{ns}
V×D	هیبرید× تنش کم‌آبی	6	115^{ns}	9427^{ns}	96.2^{ns}	2.32^{ns}	3.61^{ns}
D×M	تنش کم‌آبی×میکوریزا	1	110^{ns}	3413	2.49^{ns}	0.047^{ns}	8.42
D×V×M	تنش کم‌آبی×هیبرید×میکوریزا	6	25.5*	2991*	8.16^{ns}	0.416^{ns}	3.18^{ns}
Y×V	سال×هیبرید	6	66.2**	2487^{ns}	73.8**	15.3**	5.20*
Y×M	سال×میکوریزا	1	65.2*	10916	5.97^{ns}	3.37*	1.18^{ns}
Y×V×M	سال×هیبرید×میکوریزا	6	6.58^{ns}	1919*	21.0^{ns}	1.07^{ns}	1.49^{ns}
Y×D×V	سال×تنش کم آبی×هیبرید	6	133**	9292**	60.5**	3.536**	4.74*
Y×D×M	سال×تنش‌کم‌آبی×میکوریزا	1	2.51^{ns}	69.2^{ns}	0.726^{ns}	0.276^{ns}	0.159^{ns}
Y×D×V×M	سال×تنش×هیبرید×میکوریزا	6	5.03^{ns}	727^{ns}	12.8^{ns}	0.858^{ns}	1.99^{ns}
Error	خطای فرعی	104	15.68	1922	15.8	0.679	2.37
CV (%)	ضریب تغییرات		*5.66*	*7.61*	*9.99*	*5.42*	*7.17*

جدول ۳. ادامه **Table 3. Continued**

(S.O.V)	منابع تغییر	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)			
			تعداد بلال در بوته Number of ear per plant	محتوی رطوبت نسبی RWC	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	شاخص سطح برگ Leaf area index
Year (Y)	سال	1	0.378*	325*	124^{ns}	0.035^{ns}
Y (Rep)	سال/تکرار	4	0.031	59.4	29.7	0.008
Drought Stress (D)	تنش کم‌آبی	1	0.769^{ns}	3549^{ns}	1907*	0.105^{ns}
D×Y	تنش کم‌آبی ×سال	1	0.040^{ns}	104^{ns}	2.16^{ns}	0.010^{ns}
Error	خطای اصلی	4	0.073	87.1	0.890	0.034
Hybrid (V)	هیبرید	6	3.028**	1055*	261**	0.053*
Mycoryza (M)	میکوریزا	1	0.381^{ns}	2791*	655*	0.005^{ns}
V×M	هیبرید×میکوریزا	6	0.066^{ns}	32.6^{ns}	13.1^{ns}	0.004^{ns}
V×D	هیبرید× تنش کم‌آبی	6	0.268*	268^{ns}	125	0.032^{ns}
D×M	تنش کم‌آبی×میکوریزا	1	0.011^{ns}	82.0^{ns}	11.9^{ns}	0.000^{ns}
D×V×M	تنش کم‌آبی×هیبرید×میکوریزا	6	0.106^{ns}	20.9^{ns}	8.62^{ns}	0.005^{ns}
Y×V	سال×هیبرید	6	0.212**	194**	20.7*	0.011*
Y×M	سال×میکوریزا	1	0.212*	22.1^{ns}	3.05^{ns}	0.003^{ns}
Y×V×M	سال×هیبرید×میکوریزا	6	0.053^{ns}	20.5^{ns}	8.62^{ns}	0.004^{ns}
Y×D×V	سال×تنش کم‌آبی×هیبرید	6	0.036	130**	14.4ns	0.014*
Y×D×M	سال×تنش‌کم‌آبی×میکوریزا	1	0.002^{ns}	24.3^{ns}	15.9*	0.001^{ns}
Y×D×V×M	سال×تنش×هیبرید×میکوریزا	6	0.048^{ns}	10.8^{ns}	7.28^{ns}	0.007^{ns}
Error	خطای فرعی	104	0.052	41.2	9.70	0.005
CV (%)	ضریب تغییرات		*15.1*	*9.24*	*17.2*	*26.9*

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال آماری پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively

جدول ۴. مقایسه میانگین میزان شاخص کلروفیل برای اثر متقابل سه‌جانبه سال× تنش × مایکوریزا بر اساس تجزیه واریانس مرکب

Table 4. Mean comparison of chlorophil index for tripartite interactions of year × water stress × mycorrhiza based on combined analysis of variance

		سال×تنش×میکوریزا ×Drought Stres × Mycorrhiza							
		Year							
		$Y_1D_1M_0$	$Y_1D_1M_1$	$Y_1D_2M_0$	$Y_1D_2M_1$	$Y_2D_1M_0$	$Y_2D_1M_1$	$Y_2D_2M_0$	$Y_2D_2M_1$
SPAD	شاخص کلروفیل	19.8^{ab}	21.6^{a}	16.5^{c}	19.3^{b}	20.8^{ab}	21^{ab}	14.1^{d}	14.9^{cd}

Y_1: سال اول، Y_2: سال دوم؛ D_1 و D_2: آبیاری به ترتیب بعد از ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر؛ M_1: کاربرد میکوریزا، M_0: عدم کاربرد میکوریزا

Y_1: First year, Y_2: Second year; D_1 and D_2: Irrigation after 70 and 140 mm evaporation, respectively; M_1 and M_0: with or withouth mycorrhiza application, respectively.

میلی‌متر تبخیر) و در سال اول و کمترین شاخص سطح برگ ۰/۱۸۲ سانتی‌متر مربع در بوته به سینگل‌کراس ۲۶۰ در شرایط تنش (آبیاری در ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر) و در سال اول تعلق داشت (جدول ۹). در شرایط کمبود آب، کاهش محتوی رطوبت نسبی برگ، موجب افزایش میزان اسید آبسیزیک و به دنبال آن باعث توقف رشد برگ، کاهش تقسیم سلولی و تأمین نشدن آسمیلات موردنیاز برای رشد برگ و درنتیجه موجب کاهش فتوسنتز شده که می‌توان مهم‌ترین علل

احتمالی کاهش شاخص سطح برگ براثر تنش کم‌آبی ذکرشده‌اند (Moradi et al., 2008). تنش کم‌آبی در طول دوره رویشی منجر به کوچک شدن برگ‌ها و کاهش سطح برگ می‌گردد (Madadi and Fallah, 2017).

نتایج تجزیه مرکب نشان داد سال، رقم و اثر متقابل تنش × رقم، سال × رقم و سال × مایکوریزا در تعداد بلال در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین تعداد بلال در بوته در اثر متقابل تنش × رقم نشان داد که بیشترین تعداد بلال در بوته در سینگل‌کراس ۲۶۰ در شرایط بدون تنش (آبیاری ۷۰ میلی‌متر تبخیر) با (میانگین ۱/۹۷ عدد در بوته) و کمترین میزان در بین تیمارهایی که در کلاس f واقع‌شده‌اند مربوط به سینگل‌کراس ۷۰۳ در شرایط تنش (آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) با (میانگین ۱/۰۰ عدد در بوته) بود (جدول ۵). مقایسه میانگین این صفت برای اثر متقابل سال × رقم نشان داد که بیشترین تعداد بلال در بوته در سال دوم مربوط به سینگل‌کراس ۷۰۳ با میانگین ۱/۹۹ و کمترین تعداد بلال در سال اول مربوط به سینگل‌کراس ۳۰۱ و ۴۰۰ به ترتیب با میانگین‌های ۱/۰۰ و ۱/۰۵ عدد در بوته بوده و در سال دوم کمترین تعداد بلال در بوته در سینگل‌کراس ۴۰۰ با میانگین ۱/۰۲ عدد در بوته است (جدول ۶). همچنین بیشترین تعداد بلال در بوته در سال دوم در شرایط کاربرد مایکوریزا با (میانگین ۱/۶۴ عدد در بوته) و کمترین مربوط به سال اول و در شرایط عدم کاربرد مایکوریزا با (میانگین ۱/۴۵ عدد در بوته) است (جدول ۸). دلیل اصلی تفاوت بیشتر ازنظر تعداد بلال در بوته در تنش کم‌آبی به اثرات بازدارنده بر تولید یا گسترش مریستم‌های زاینده دانست که تنش کم‌آبی از طریق کاهش تقسیم سلولی سبب کاهش تولید این مریستم‌ها می‌شود و به دنبال آن موجب کاهش تعداد بلال در بوته می‌گردد از طرفی ممکن است به تفاوت‌های ژنتیکی بین ارقام ارتباط داشته باشد. در ذرت محل تشکیل اولین بلال نقش بسیار مهمی در تعیین تعداد بلال تولیدی در هر بوته دارد. (Sepasi, 2012).

جدول ۵. مقایسه میانگین صفت تعداد بلال در بوته ذرت برای اثرات متقابل دوجانبه تنش × رقم بر اساس تجزیه واریانس مرکب

Table 5. Mean comparison of ears per plant for interactions of Water stress × Hybrid based on combined analysis of variance

D×V	تنش×رقم	D_1V_1	D_2V_1	D_1V_2	D_2V_2	D_1V_3	D_2V_3	D_1V_4
Number of ear per plant	تعداد بلال در بوته	1.97^{a}	1.08^{f}	1.08^{f}	1.88^{ab}	1.77^{abcd}	1.60^{de}	1.63^{cde}
D×V	**تنش×رقم**	**D_2V_4**	**D_1V_5**	**D_2V_5**	**D_1V_6**	**D_2V_6**	**D_1V_7**	**D_2V_7**
Number of ear per plant	**تعداد بلال در بوته**	1.86^{ab}	1.86^{ab}	1^{f}	1.71^{bcde}	1.83^{abc}	1.52^{e}	1.05^{f}

D_1 و D_2: آبیاری به ترتیب بعد از ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر؛

D_1 and D_2: Irrigation after 70 and 140 mm evaporation, respectively

V: هیبریدها (hybrids): V_1: SC260, V_2: SC301, V_3: SC400, V_4: SC4015, V_5: SC703, V_6: SC704, V7: SC705

جدول ۶. مقایسه میانگین صفات ذرت برای اثرات متقابل دوجانبه سال × رقم بر اساس تجزیه واریانس مرکب

Table 6. Mean comparison of corn traits for interactions of Year× Hybrid based on combined analysis of variance

Y×V	سال×رقم	Y_1V_1	Y_1V_2	Y_1V_3	Y_1V_4	Y_1V_5	Y_1V_6	Y_1V_7
Number of ear per plant	تعداد بلال در بوته	1.97^{ab}	1^{d}	1.05^{d}	1.85^{ab}	1.63^{b}	1.41^{c}	1.30^{c}
Chlorophyll index	شاخص کلروفیل	17.1^{de}	19.5^{cd}	13.3^{g}	18.6^{cd}	25.4^{a}	22.7^{ab}	15.3^{efg}
Y×V	**سال×رقم**	**Y_2V_1**	**Y_2V_2**	**Y_2V_3**	**Y_2V_4**	**Y_2V_5**	**Y_2V_6**	**Y_2V_7**
Number of ear per plant	تعداد بلال در بوته	1.86^{ab}	1.19^{d}	1.02^{d}	1.74^{ab}	1.99^{a}	1.71^{b}	1.38^{c}
Chlorophyll index	شاخص کلروفیل	17^{de}	16.7^{def}	13.8^{fg}	16.7^{def}	21.4^{bc}	19.8^{cd}	15.2^{efg}

Y_1: سال اول، Y_2: سال دوم؛

Y_1: First year, Y_2: Second year

V: هیبریدها (hybrids): V_1: SC260, V_2: SC301, V_3: SC400, V_4: SC4015, V_5: SC703, V_6: SC704, V7: SC705

جدول ۷. مقایسه میانگین صفات ذرت برای اثرات متقابل سه‌جانبه تنش× رقم ×مایکوریزا بر اساس تجزیه واریانس مرکب

Table 7. Mean comparison of corn traits for tripartite interactions of water stress × Hybrid × Mycorrhiza based on combined analysis of variance

D×V×M	تنش×رقم×مایکوریزا	$d_1v_1m_0$	$d_1v_1m_1$	$d_1v_2m_0$	$d_1v_2m_1$	$d_1v_3m_0$	$d_1v_3m_1$	$d_1v_4m_0$
Weight of 300 seeds (g)	وزن۳۰۰دانه	81.2^{cd}	86.3^{bc}	86.2^{bc}	93.6^{a}	77.7^{ef}	82.6^{bcd}	72.2^{f}
Grain yield (g/m²)	عملکرد دانه	674^{bcd}	716^{ab}	715^{ab}	765^{a}	641^{cd}	685^{bc}	550^{e}
D×V×M	**تنش×رقم×مایکوریزا**	**$d_1v_4m_1$**	**$d_1v_5m_0$**	**$d_1v_5m_1$**	**$d_1v_6m_0$**	**$d_1v_6m_1$**	**$d_1v_7m_0$**	**$d_1v_7m_1$**
Weight of 300 seeds (g)	وزن ۳۰۰دانه	75.4^{ef}	79.9^{de}	86.7^{b}	83.5^{bcd}	84^{bcd}	75.1^{ef}	79.2^{de}
Grain yield (g/m²)	عملکرد دانه	625^{d}	663^{bcd}	720^{ab}	693^{bc}	686^{bc}	623^{d}	657^{cd}
D×V×M	**تنش×رقم×مایکوریزا**	**$d_2v_1m_0$**	**$d_2v_1m_1$**	**$d_2v_3m_0$**	**$d_2v_2m_1$**	**$d_2v_3m_0$**	**$d_2v_3m_1$**	**$d_2v_4m_0$**
Weight of 300 seeds (g)	وزن۳۰۰دانه	53.9^{kl}	64.9^{g}	58.0^{ijk}	75.4^{ef}	55.6^{jkl}	61.8^{ghi}	50.7^{lm}
Grain yield (g/m²)	عملکرد دانه	447^{hij}	539^{ef}	481^{gh}	625^{d}	462^{ghi}	479^{ghi}	421^{ij}
D×V×M	**تنش×رقم×مایکوریزا**	**$d_2v_4m_1$**	**$d_2v_5m_0$**	**$d_2v_5m_1$**	**$d_2v_6m_0$**	**$d_2v_6m_1$**	**$d_2v_7m_0$**	**$d_2v_7m_1$**
Weight of 300 seeds (g)	وزن۳۰۰دانه	57.5^{ijk}	48.31^{m}	53.2^{k}	58.1^{ijk}	63.4^{gh}	53.9^{kl}	59.1^{hij}
Grain yield (g/m²)	عملکرد دانه	477^{jhi}	401^{j}	441^{hij}	480^{gh}	509^{efj}	445^{hij}	488^{fjh}

D_1 و D_2: آبیاری به ترتیب بعد از ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر؛ M_1: کاربرد میکوریزا، M_0: عدم کاربرد میکوریزا

D_1 and D_2: Irrigation after 70 and 140 mm evaporation, respectively; M_1 and M_0: with or withouth mycorrhiza application, respectively.

V: هیبریدها (hybrids): V_1: SC260, V_2: SC301, V_3: SC400, V_4: SC4015, V_5: SC703, V_6: SC704, V7: SC705

جدول ۸. مقایسه میانگین صفات ذرت برای اثرات متقابل دوجانبه سال × مایکوریزا بر اساس تجزیه واریانس مرکب

Table 8. Mean comparison of corn traits for interactions of Year × Mycorrhiza based on combined analysis of variance

Y×M	سال×مایکوریزا	Y_1M_0	Y_1M_1	Y_2M_0	Y_2M_1
Weight of 300 seeds(g)	وزن ۳۰۰ دانه	69.1b	76.8a	64.1c	69.3b
Number of ear per plant	تعداد بلال در بوته	1.45b	1.47b	b 1.47	1.64a
Number of row rows	تعداد ردیف دانه در بلال	15.4a	15.8a	14.6b	a 15.2

Y_1: سال اول، Y_2: سال دوم؛ M_1: کاربرد میکوریزا، M_0: عدم کاربرد میکوریزا

Y_1: First year, Y_2: Second year; M_1 and M_0: with or withouth mycorrhiza application, respectively.

نتایج تجزیه مرکب تعداد دانه در ردیف نشان داد سال، رقم، مایکوریزا و اثر متقابل دوجانبه سال× تنش، سال × رقم و اثر متقابل سه‌جانبه سال × تنش × رقم معنی‌دار بود (جدول ۳).

مقایسه میانگین برای اثر متقابل سه‌جانبه سال × تنش × رقم نشان می‌دهد که بیشترین دانه در ردیف به سینگل‌کراس ۷۰۵ و ۷۰۳ در شرایط بدون تنش (۷۰ میلی‌متر تبخیر) در سال دوم آزمایش به ترتیب با میانگین ۵۴/۲ و ۵۱/۸ عدد دانه در ردیف بلال بوده و کمترین تعداد دانه در ردیف به سینگل-کراس ۴۰۱۵ در شرایط تنش کم‌آبی (۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) در سال دوم ۲۵/۲ عدد دانه در ردیف بلال است (جدول ۹). همچنین کاربرد مایکوریزا بر تعداد دانه در ردیف تأثیر مثبتی داشته طوری که در شرایط کاربرد مایکوریزا تعداد دانه با میانگین ۴۱/۳ و در صورت عدم کاربرد مایکوریزا ۳۸/۳ عدد دانه ردیف بلال بوده است (جدول ۱۰). اعمال تنش در مرحله رویشی با تأثیر بر مراحل اولیه تشکیل‌دهنده دانه در هر ردیف سبب کاهش دانه در ارقام مختلف می‌شود و بیشتر بودن تعداد دانه در ردیف بلال در یک رقم را می‌توان به تحمل به تنش کم‌آبی بیشتر این رقم ارتباط داد و کاهش تعداد دانه در ردیف بلال در مرحله دانه-بندی را به کاهش مواد فتوسنتزی به دلیل محدودیت منبع می‌توان نسبت داد به دلیل اینکه تا قبل از اعمال تنش کم‌آبی در مرحله دانه‌بندی گیاه در شرایط مساعد محیطی رشد کرده است لذا، تعداد دانه در ردیف بلال هم بیشتر تولید شده است؛ اما زمانی که در مرحله دانه‌بندی با تنش کم‌آبی مواجه می‌شود علاوه بر ریزش برگ‌ها که سبب کاهش فتوسنتز می‌شود گیاه برای حفظ بقای خود ممکن است مرحله زایشی را با سرعت ادامه دهد که این عوامل سبب کاهش تعداد دانه در ردیف بلال در

ارقام موردبررسی شده است (Ahmd et al., 2015). برخی از پژوهشگران گزارش کردند کاربرد مایکوریزا تعداد دانه در ردیف ذرت را افزایش می‌دهد که با این آزمایش مطابقت دارد (Ghorbanian et al., 2012). با توجه به این پژوهش می‌توان اظهار داشت استفاده از قارچ مایکوریزایی و همزیستی آن با گیاه ذرت سبب بهبود رشد و افزایش فتوسنتز و تولید اسمیلات می‌گردد. درنتیجه در مرحله پر شدن دانه شیره پرورده کافی به دانه‌ها انتقال‌یافته و به دنبال آن تعداد دانه در بلال افزایش می‌یابد.

نتایج تجزیه مرکب نشان داد سال، رقم و اثر متقابل سال × رقم، سال × مایکوریزا و سال × تنش × رقم در تعداد ردیف دانه در بلال معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین تعداد ردیف مربوط به سینگل‌کراس ۴۰۱۵ در شرایط بدون تنش (آبیاری ۷۰ میلی‌متر تبخیر) در سال دو با میانگین ۱۷/۶ ردیف دانه در بلال و کمترین مقدار آن به سینگل‌کراس ۷۰۵ در شرایط

جدول ۹. مقایسه میانگین صفات ذرت برای اثرات متقابل سه‌جانبه سال× تنش کم‌آبی× رقم بر اساس تجزیه واریانس مرکب

Table 9. Mean comparison of corn traits for tripartite interactions of Year × water stress × Hybrid based on combined analysis of variance

سال×تنش×رقم Y×D×V	وزن ۳۰۰ دانه Weight of 300 seeds (g)	عملکرددانه Grain yield (g/m^2)	تعداد دانه در ردیف Number of seeds per row	تعداد ردیف دانه Number of row rows	طول بلال Ear length (cm)	محتوی‌رطوبت نسبی RWC (%)	شاخص سطح برگ Leaf area index
$y_1d_1v_1$	91.5^{a}	699^{bcd}	49.6^{ab}	16.1^{bc}	23.2^{bc}	85^{s}	0.203^{gh}
$y_1d_1v_2$	84.2^{cde}	759^{a}	42.3^{e-h}	17.3^{ab}	21.2^{c-h}	59.9^{klm}	0.262^{d-h}
$y_1d_1v_3$	78.7	653^{e}	594^{e-i}	13.5^{f-i}	24.5^{ab}	82.5^{ab}	0.431^{a}
$y_1d_1v_4$	78.3^{g}	599^{fg}	45.9^{b-e}	17^{ab}	20.9^{d-h}	68.9^{ghi}	0.302^{b-h}
$y_1d_1v_5$	84.8^{cd}	703^{bcd}	48.9^{a-d}	16^{bcd}	24.5^{ab}	77.0^{cd}	0.404^{abc}
$y_1d_1v_6$	81.8^{def}	667^{de}	49.2^{abc}	16.3^{abc}	25.4^{a}	74.4^{def}	0.275^{d-h}
$y_1d_1v_7$	81.2^{efg}	674^{cde}	48.9^{a-d}	12.7^{hi}	24.8^{ab}	86.2^{a}	0.252^{d-h}
$y_1d_2v_1$	68.4^{i}	568^{Fg}	36.5^{ijk}	16.3^{abc}	19.9^{f-i}	66.5^{hi}	0.182^{h}
$y_1d_2v_2$	71.5^{hi}	592^{fg}	33.5^{klm}	16.7^{ab}	17.9^{i}	55.0^{m}	0.222^{e-h}
$y_1d_2v_3$	61.0^{J}	505^{hi}	34.3^{kl}	13.7^{e-h}	20.0^{f-i}	65.0^{ij}	0.215^{gh}
$y_1d_2v_4$	61.0^{j}	506^{hi}	35.9^{jk}	17.2^{ab}	21.0^{d-h}	60.9^{jkl}	0.212gh
$y_1d_2v_5$	52.8^{m}	438^{jkl}	34.6^{kl}	14.5^{ef}	20.0^{fgh}	68.2^{ghi}	0.297^{b-h}
$y_1d_2v_6$	69.4^{i}	559^{g}	38.5^{g-k}	16.1^{bc}	20.8^{d-h}	66.7^{hi}	0.232^{e-h}
$y_1d_2v_7$	57.1^{k}	471^{Ij}	44.1^{cdef}	12.1^{I}	21.0^{d-h}	75.9^{cde}	0.303^{b-h}
$y_2d_1v_1$	83.3^{cde}	691^{b-e}	42.3^{e-h}	15^{cde}	19.9^{f-i}	80.2^{bc}	0.210^{fgh}
$y_2d_1v_2$	88.3^{b}	720^{b}	40.5^{f-j}	17.3^{ab}	19.7^{ghi}	61.1^{jk}	0.342^{a-e}
$y_2d_1v_3$	79.6^{fg}	673^{cde}	42.8^{e-h}	13.3^{f-i}	20.8^{d-h}	73.6^{def}	0.428^{ab}
$y_2d_1v_4$	69.3^{I}	576^{fg}	43.7^{d-g}	17.6^{a}	22.0^{c-f}	74.5^{def}	0.272^{d-h}
$y_2d_1v_5$	81.8^{def}	679.6^{cde}	51.8^{a}	14.3^{efg}	22.3^{cd}	68.1^{ghi}	0.416^{ab}
$y_2d_1v_6$	85.7^{bc}	711^{bc}	38.4^{g-k}	14.6^{def}	22.7^{bcd}	59.1^{klm}	0.285^{c-h}
$y_2d_1v_7$	73.1^{h}	606^{f}	54.2^{a}	14^{e-h}	22.2^{cde}	86.4^{a}	0.256^{d-h}
$y_2d_2v_1$	50.4^{mn}	418^{lm}	27.4^{no}	13^{ghi}	19.3^{ghi}	70.1^{fgh}	0.231^{d-h}
$y_2d_2v_2$	61.9^{j}	514^{h}	33.6^{klm}	16^{bcd}	19.0^{hi}	56.1^{lm}	0.311^{a-g}
$y_2d_2v_3$	56.4^{k}	435^{jkl}	30.5^{lmn}	13^{ghi}	20.1^{e-h}	58.7^{klm}	0.345^{a-f}
$y_2d_2v_4$	47.2^{n}	392^{m}	25.2^{o}	17.3^{ab}	21.2^{c-g}	68.5^{ghi}	0.352^{a-d}
$y_2d_2v_5$	48.6^{n}	403^{lm}	28.2^{mno}	14^{e-h}	22.0^{c-f}	57.1^{klm}	0.214^{gh}
$y_2d_2v_6$	52.1^{m}	430^{klm}	33.4^{klm}	14^{e-h}	22.0^{c-f}	72.0^{efg}	0.265^{d-h}
$y_2d_2v_7$	55.9^{kl}	461^{jk}	37.5^{h-k}	16^{bcd}	22.3^{cd}	67.3^{ghi}	0.253^{d-h}

Y_1: سال اول، Y_2: سال دوم؛ D_1 و D_2: آبیاری به ترتیب بعد از ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر.

Y_1: First year, Y_2: Second year; D_1 and D_2: Irrigation after 70 and 140 mm evaporation, respectively.

V: هیبریدها (hybrids): V_1: SC260, V_2: SC301, V_3: SC400, V_4: SC4015, V_5: SC703, V_6: SC704, V7: SC705

جدول ۱۰. مقایسه میانگین صفات ذرت برای مایکوریزا بر اساس تجزیه واریانس مرکب

Table 10. Comparison of corn characteristics for mycorrhiza based on combined variants analysis

Mycoryza	مایکوریزا	کاربرد مایکوریزا The use of mycorrhizal (M_1)	عدم کاربرد مایکوریزا No use of mycorrhiza (M_0)
Relativehumi dity content	محتوی رطوبت نسبی (٪)	73.5[a]	65.4[a]
Number of seeds per row	تعداد دانه در ردیف	41.3[a]	38.3[a]

تنش کم‌آبی (آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر) سال اول ۱۲/۱ ردیف دانه در بلال بوده است (جدول ۹). همچنین بیشترین تعداد ردیف دانه در سال اول ۱۵/۸ عدد در شرایط کاربرد مایکوریزا و کمترین آن در سال دوم در شرایط عدم کاربرد مایکوریزا ۱۴/۶ ردیف دانه در بلال به دست آمد (جدول ۸)؛ بنابراین به نظر می‌رسد این صفت علیرغم اینکه تحت کنترل عوامل ژنتیکی است، از عوامل محیطی نیز مانند تنش کم‌آبی و با کاربرد مایکوریزا تحت تأثیر قرار می‌گیرد. اردلان و همکاران (Ardalan et al., 2011) گزارش نمودند تنش رطوبتی (۴۰ درصد تخلیه رطوبتی نسبت به شاهد) موجب کاهش ۴۷/۲ درصد تعداد ردیف دانه در بلال نسبت به شاهد شد.

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد رقم، اثر متقابل سال × تنش، سال × رقم و اثر سه‌جانبه سال × تنش × رقم در طول بلال معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین طول بلال نشان داد که بیشترین طول بلال مربوط سینگل‌کراس ۷۰۴ با (میانگین ۲۵/۴ سانتی‌متر) در شرایط بدون تنش (۷۰ میلی‌متر تبخیر) سال اول و کمترین طول بلال به سینگل-کراس ۳۰۱ با (میانگین ۱۷/۹ سانتی‌متر) در شرایط تنش خشکی (۱۴۰ میلی‌متر تبخیر) سال اول تعلق داشت (جدول ۹). سید زوار و همکاران (Seyedzavar et al., 2015) اظهار کردند که تنش آبی باعث کاهش معنی‌داری طول بلال شده و با تأثیر بر فتوسنتز برگ موجب کاهش تولید مواد پرورده، رشد سلولی و طول بلال می‌گردد. مسجدی و همکاران (Masjedi et al., 2008) عامل اصلی کاهش طول بلال در تیمار کم‌آبی را عدم وقوع حداکثر پتانسیل رشدی بلال‌ها درنتیجه تأخیر در مرحله رشد بلال و کاهش مواد پرورده جهت فراهم نمودن رشد بلال دانسته‌اند.

نتایج تجزیه مرکب نشان داد اثر تنش کم‌آبی، سال، رقم و اثر متقابل سال × تنش × رقم، سال × مایکوریزا و تنش × رقم × مایکوریزا بر وزن ۳۰۰ دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین وزن ۳۰۰ دانه برای اثر متقابل سال × تنش × رقم نشان می‌دهد بیشترین وزن دانه در سینگل‌کراس ۲۶۰ تحت شرایط بدون تنش (۷۰ میلی‌متر تبخیر) در سال اول با میانگین ۹۱/۵ گرم در بوته و کمترین وزن دانه در سینگل‌کراس‌های ۴۰۱۵ و ۷۰۳ به ترتیب با (میانگین‌های ۴۷/۲ و ۴۸/۶ گرم در بوته) در شرایط تنش کم‌آبی (آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) در سال دوم بود (جدول ۹). همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل مایکوریزا × تنش × رقم نشان داد بیشترین مقدار وزن دانه در سینگل‌کراس ۳۰۱ در شرایط بدون تنش کم‌آبی (۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) و کاربرد مایکوریزا (میانگین ۹۳/۶ گرم در بوته) مشاهده شد. کمترین وزن دانه مربوط به سینگل‌کراس ۷۰۳ در شرایط تنش کم‌آبی (۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) و عدم کاربرد مایکوریزا با (میانگین ۴۸/۳ گرم در بوته) است (جدول ۷).

تأثیر مایکوریزا در دو سال متوالی نشان داد بیشترین وزن دانه در سال اول با (میانگین ۷۶/۸ گرم در بوته) و کمترین وزن دانه در سال دوم در شرایط عدم کاربرد مایکوریزا با (میانگین ۶۴/۱ گرم در بوته) می‌باشد (جدول ۸). خشکی با تحت تأثیر قرار دادن درجه باز شدن روزنه‌ها، کاهش فعالیت آنزیم چرخه کالوین، می‌تواند میزان تولید مواد پرورده را به میزان زیادی کاهش داده و از این راه به‌طور مستقیم موجب کاهش وزن هر دانه شود (Yan et al., 2016). کاهش معنی-دار وزن هزار دانه در تیمار تنش کم‌آبی در مرحله پر شدن دانه را می‌توان به پدید آمدن دانه‌های چروکیده با وزن کمتر که در سایر پژوهش‌ها گزارش‌شده نسبت داد. تأثیر کمبود آب در این مرحله موجب کاهش فتوسنتز جاری گیاه، کاهش میزان مواد پرورده و درنتیجه چروکیدگی دانه‌های ذرت خواهد شد (Ribaut et al., 2012).

اظهارات یاندر و همکاران (Yodner et al., 2015) مبنی بر اینکه کمبود آب در دوره پر شدن دانه موجب کاهش وزن دانه می‌شود، مؤید نتایج این تحقیق است. استفاده از قارچ مایکوریزایی از اسمیلات‌های گیاه میزبان، همزیستی آن با گیاه ذرت سبب بهبود رشد و افزایش فتوسنتز و تولید

اسمیلات شد درنتیجه در مرحله پر شدن دانه شیره پرورده کافی به دانه‌ها انتقال‌یافته و دانه‌های درشت با وزن قابل‌قبول تولید گردید. نتایج تجزیه مرکب نشان داد سال، رقم و اثر متقابل سال × تنش و اثر متقابل سه‌جانبه تنش × رقم × مایکوریزا، سال × رقم × مایکوریزا و سال × تنش × رقم در عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین عملکرد دانه نشان می‌دهد بیشترین عملکرد مربوط به سینگل‌کراس ۳۰۱ در سال اول و در شرایط بدون تنش (۷۰ میلی‌متر تبخیر) با (میانگین ۷۵۹ گرم در مترمربع) است درحالی‌که کمترین عملکرد دانه مربوط به سینگل‌کراس ۴۰۱۵، در شرایط تنش کم‌آبی (با ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر) و سال دوم با (میانگین ۳۹۲ گرم در مترمربع) است (جدول ۹). با توجه به نتایج بیشترین میزان عملکرد دانه در سال اول بود. به همین جهت می‌توان چنین اظهار داشت که علت آن شرایط آب و هوایی ازجمله میزان بارندگی متفاوت در دو سال متوالی بوده است. همچنین بیشترین عملکرد دانه به (مقدار ۷۶۵ و ۷۲۰ گرم بر مترمربع) به ترتیب در هر دو شرایط بدون تنش کم‌آبی در سینگل‌کراس ۳۰۱ و ۷۰۳ و در شرایط کاربرد مایکوریزا می‌باشد و کمترین وزن دانه در شرایط کم‌آبی (۱۴۰ میلی متر تبخیر از تشتک) و در سینگل‌کراس‌های ۷۰۳ با (میانگین ۴۰۱ گرم بر مترمربع) و بدون کاربرد مایکوریزا بوده است (جدول ۷)؛ بنابراین مایکوریزا در برخی از ارقام در شرایط تنش اثر مثبت روی عملکرد داشته است نه در همه ارقام؛ به‌عبارت‌دیگر واکنش ارقام به کاربرد مایکوریزا در شرایط تنش کم‌آبی مشابه نبوده است. همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه ذرت، از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی موجب افزایش فتوسنتز شده و این امر سبب تولید فرآورده بیشتر و ازجمله عملکرد دانه گردیده است.

همبستگی فنوتیپی

همبستگی فنوتیپی برای صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون انجام گرفت. همان‌طور که در دیده می‌شود تحت شرایط بدون تنش وزن ۳۰۰ دانه با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار را نشان داد (جدول ۱۱).

تحت شرایط تنش صفات تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف دانه با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار را نشان داد (جدول ۱۲) که حاکی از آن است که هر چه تعداد دانه در ردیف بیشتر شده عملکرد بیشتری حاصل شده است. همچنین محتوی رطوبت نسبی برگ با طول بلال و تعداد دانه در ردیف و عملکرد دانه با وزن ۳۰۰ دانه همبستگی مثبت و

جدول ۱۱. همبستگی فنوتیپی مرکب بین صفات ذرت در شرایط نرمال (۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک)

Table 11. Cortical phenotypic correlation between corn characteristics in normal conditions (70 mm evaporation from bowl

	Traits صفات	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	وزن ۳۰۰ دانه Weight of 300 seeds	1	0.884**	-0.119	0.199	0.079	-0.265*	-0.176	-0.104	0.007
2	عملکرد دانه Grain yield		1	-0.101	0.091	0.043	-0.276*	-0.130	-0.089	-0.018
3	تعداد دانه در ردیف Number of seeds per row			1	-0.123	0.240*	0.264*	0.358**	0.113	-0.057
4	تعداد ردیف دانه Number of row rows				1	-0.166	-0.016	-0283**	-0.071	-0.154
5	طول بلال Ear length					1	0.090	0.331**	-0.066	0.140
6	تعداد بلال در بوته Number of ear per plant						1	0.146	0.054	-0.235*
7	محتوی رطوبت نسبی Relative humidity content							1	-0.074	-0.132
8	شاخص کلروفیل Chlorophyll index								1	0.046
9	شاخص سطح برگ Leaf area index									1

معنی‌داری در هر دو شرایط تنش و بدون تنش مشاهده شد. بیرگی و همکاران (Beiragi et al., 2011) همبستگی مثبت بین عملکرد دانه با تعداد دانه در ردیف گزارش کردند طبق نتایج در شرایط نرمال و تنش شدید عملکرد دانه با صفات تعداد دانه در ردیف و در شرایط تنش ملایم با صفات طول بلال و در شرایط تنش خیلی شدید با صفات وزن هزار دانه و تعداد دانه در ردیف دارای بیشترین همبستگی مثبت و معنی-دار بودند.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این تحقیق نشان داد که وقوع تنش کم‌آبی در مزرعه ذرت از مرحله شش برگی به بعد روی عملکرد دانه اثر منفی و معنی‌دار داشت. واکنش ارقام در شرایط تنش و عدم تنش متفاوت بود و با توجه به وجود اختلاف معنی‌دار ازلحاظ عملکرد دانه بین دو سطح کاربرد و عدم کاربرد مایکوریزا، در شرایط محدودیت منابع آب، می‌توان با مدیریت دقیق آبیاری و کاربرد مایکوریزا در برخی ارقام، خسارت کم‌آبی روی عملکرد دانه ذرت را به میزان قابل‌توجهی کاهش داد.

جدول ۱۲. همبستگی فنوتیپی مرکب بین صفات ذرت در شرایط تنش خشکی (۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک)

Table 12. Phenotypic Correlation between Corn Characteristics in Drought Conditions (140 mm Evaporation from Bow

	Traits صفات	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	وزن ۳۰۰ دانه Weight of 300 seeds	1	0.955**	0473**	0.295**	-0.090	-0.104	0.039	-0.104	-0.258*
2	عملکرد دانه Grain yield		1	0.456**	0.293**	-0.098	-0.048	-0.018	-0.063	-0.289**
3	تعداد دانه در ردیف Number of seeds per row			1	-0.075	0.193	-0.253*	0.371**	-0.208	-0.059
4	تعداد ردیف دانه Number of row rows				1	-0.070	0.171	-0.113	-0.200	-0.043
5	طول بلال Ear length					1	0.123	0.408**	-0.100	0.095
6	تعداد بلال در بوته Number of ear per plant						1	0.106	0.336**	-0.193
7	محتوی رطوبت نسبی Relative humidity content							1	-0.281**	0.214
8	شاخص کلروفیل Chlorophyll index								1	-0.105
9	شاخص سطح برگ Leaf area index									1

**، *و ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح ۱ درصد، در سطح ۵ درصد و غیر معنی‌دار هستند

**, * and ns are significant at 1%, 5% and non-significant, respectively

منابع

Acquaah, G., 2002. Principles of Crop Production (Theory, Technical and Technology). Prentiee-Hall of India. New Delhi. 460p.

Adiloglu, A., Andre, S., 2012. The Effect of boron (B) application on the growth and nutrient contents of maize in zinc (Zn) deficient soils. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 2, 1-4.

Afkari, A., Ghasemof, N., Yarnia, M., 2010. Effect of drought stress and potassium on some of the physiological and morphological traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. 11th Iranian Crop Science Congrees. Tehran. Iran. pp, 154-156. [In Persian].

Afsharmanesh, B., Afsharmanesh, G., Vakili Shahrbabaki, M., 2008. The effect of water deficit stress and manure on quantitative and qualitative yield and some characteristics of physiological (*Plantago Ovata* Forssk.). New Finding in Agriculture. 2(4), 327-337. [In Persian with English summary].

Ahmd, Z., Waraich, E.A., Ahmad, T., Ahmad, R., Awan, M.I., 2015. Yield responses – of maize as influenced by supplemental foliar applied phosphorus under drought stress. International Journal of Food and Allied Sciences. 1, 45-55.

Alavi Fazel, M., Lack, Sh., Sheykhi Nasab, M., 2013. The effect of irrigation-off at some growth stages on remobilization of dry matter and yield of corn hybrids. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 5(20), 2372-2378.

Ardalan, V., Aghayari, F., Paknezhad, F., Sadeghi-Shojaee, M., Esmaeilzade-Khorsani, S.H., Fatemi, Z., 2011. Effects of water deficit stress and different irrigation methods on yield and yield components in two hybrids of Corn (*Zea mays* L.). Journal of Agronomy and Plant Breeding. 8(3), 175-189. [In Persian with English summary].

Beiragi, M.A., Khavari Khrasani, S., Shojaei, S.H., Dadresan, M., Mostafavi, Kh., Golbashy, M., 2011. A study on effects of planting dates on growth and yield of 18 corn hybrids (*Zea mays* L.). American Journal of Experimental Agriculture. 1(3), 110-120.

Cheng, L.I., Sun, B.C., Tang, H.J., Wang, T.Y., Yu, L.I., Zhang, D.F., Xie, X.Q., Shi, Y.S., Song, Y.C., Yang, X.H., Li, J.S., 2017. Simple nonlinear model for the relationship between maize yield and cumulative water amount. Journal of Integrative Agriculture. 30(16), 858-66.

Eskandarnejad, S., Khavari Khorasani, S., Bakhtiari, S., Heidaria, A., 2013. Effect of row spacing and plant density on yield and yield components of sweet corn (*Zea mays* L.) varieties. Advanced Crop Science. 3(1), 81-88.

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. 2(5), 169- 177. [In Persian with English summary].

Ghorbanian, D., Harutyunyan, S., Mazaheri, D., Rasoli, V. Mohebi, A., 2012. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and different levels of phosphorus on the growth of corn in water stress conditions. African Journal of Agricultural Research. 7(16), 2575-2580.

Ghobadi, R., Shirkhani, A., Jalilian, A., 2015. Effects of water stress and nitrogen fertilizer on yield, its components, water and nitrogen use efficiency of corn (*Zea mays* L.) cv. SC. 704. Applied Field Crops Research (Pajouhesh & Sazandegi). 28, 79-87. [In Persian with English summary].

Kumar, M., Kaur, A., Pachouri, C.U., Singh, J., 2015. Growth promoting characteristics of rhizobacteria and AM Fungi for biomass amelioration of *Zea mays*. Archives of Biological Sciences. 67, 877-887.

Lobell, D.B., Roberts, M.J., Schlenker, W., Braun, N., Little, B.B., Rejesus, R.M., Hammer, G.L., 2014. Greater sensitivity to drought accompanies maize yield increase in the US Midwest. Science. 344, 516-519.

Ma, B.L., Subedi, K.D., Stewart, D.W., Dwyer, L.M., 2014. Dry matter accumulation and silage moisture changes after silking in leafy and dualpurpose corn hybrids Agronomy. Journal of Plant Science. 74(18), 5057-5069.

Madadi, A., Fallah, A., 2017. Effect of jasmic acid and humic acid on drought stress adjustment at forage harvesting stage Journal of Water and Soil. 31(5), 1397-1407. [In Persian with English summary].

Manafi, H., Aliasgharzad, N., Neyshabouri, M.R., Rejali, F., 2010. Tolerance to water – deficit stress in tomato inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. Journal of Water and Soil Science. 22(2), 97-117. [In Persian with English summary].

Mansouri Far, C., Modarres sanavy, S.A.M., Saberali, S.F., 2010. Maize yield response to deficit irrigation during low-sensitive growth stages and nitrogen rate under semi-arid climatic conditions. Agricultural Water Management. 97(1), 12–22.

Masjedi, A., Shokohfar, A., Alavi Fazel, M., 2009. A Survey of Most Suitable Irrigation Scheduling and Effect of Drought Stress on Yield for Summer Corn (SC.704) with Class A Evaporation Pan in Ahvaz. Journal of Water and Soil Science. 12(46), 543-550. [In Persian with English summary].

Mesrzadeh Azar, A., Afkari, A., 2014. The role of arbuscular mycorrhizal fungi on growth parameters of maize. Proceedings of the Second National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources. Tehran, Iran. [In Persian].

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

Moll, R.H., Kampart, E.J., 1977. Effect of population density up on agronomic traits associated with genetic increases in yield of maize. Agronomy Journal. 69, 81-84.

Moshaver, E., Emam, Y., Madani, H., Nourmohamadi, G., Heidari-Sharifabad, H., 2015. Comparison of qualitative and quantitative performance of forage crops maize, sorghum and amaranth as affected by planting density and date. Trends in Life Sciences. 4, 97-105.

Moradi, A., Ahmadi, A., Hossein Zadeh, A., 2008. Agro-physiological responses of mung bean (cv. Partov) to severe and moderate drought stress applied at vegetative and reproductiveg stages. Journal of Water and Soil Science. 12(45), 659-671. [In Persian with English summary].

O'Neill, P., Shanahan, J.F., Schepers, J.S., 2006. Use of chlorophyll fluorescence differentiates corn hybrid response to variable water conditions. Crop Science. 46, 681 -687.

Rahdari, P., Hoseini, S.M., 2012. Drought Stress: A Review. International Journal of Agronomy and Plant Production. 3(10), 443-446.

Rashidi, Sh., Shirani Rad, A.M., Ayene Band, A., Javidfar, F., Lak, S.H., 2012. Study of relationship between droughts stresses tolerances with some physiological parameters in canola genotypes (*Brasica napus* L.). Annals of Biological Research.3, 564-569.

Ribaut, J.M., Betran, J., Monneveux, P., Setter, T., 2012. Drought tolerance in maize. In: Bennetzen, J.L., Hake, S.C. (eds.), Handbook of Maize: It's Biology. Springer, New York, pp. 311–34.

Sepasi, S., Klarstaqy, K., Abraham, H., 2012. Effects of different levels drought stress and plant density on yield and yield components of SC 704. Journal of Crop Ecophysiology. 3, 279-288. [In Persian with English summary].

Sanchez-Rodrıguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., Romero, L., Ruiz, J.M., 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. Plant Science. 178, 30–40.

Seyedzavar, J., Norouzi, M., Aharizad, S., Bandehhagh, A., 2015. Relationship between yield and yield components of maize hybrids under different irrigation. Journal of Crop Ecophysiology. 9(1), 83-108. [In Persian with English summary].

Sun, C.A., Johnson, J., Cai, D.G., Sherameti, I., Oelmuller, R., Lou, B.G., 2010. Piriformospora indica confers drought tolerance in Chinese cabbage leaves by stimulating antioxidant enzymes, the expression of drought-related genes and the plastid-localized CAS protein. Journal of Plant Physiology. 167(12), 1009-1017.

Yan, W., Zhong, Y., Shangguan, Z., 2016. Evaluation of physiological traits of summer maize under drought stress. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science. 66, 133-140.

Yodner, A., Beyer, R., Jones, C., 2015. The effects of drought-affected grain and carbohydrase inclusion in starter diets on broiler chick performance. Journal of Applied Poultry Research. 24, 177-185.

Zlatev, Z., Lidon, F.C., 2012. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. Emirates Journal of Food and Agriculture. 24, 57-72.