تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد یازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۷
۲۲۷-۲۳۹
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2017.374.1073

# تأثیر کم‌آبی و میکوریزا بر عملکرد دانه، خصوصیات زایشی و فیزیولوژیکی ارقام ذرت

**میکاییل نوردخت، الناز فرج زاده معماری تبریزی***
گروه زراعت، واحد ملکان، دانشگاه آزاد اسلامی، ملکان، ایران

**تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۰۴**

**چکیده**

**کاربرد میکوریز و انتخاب رقم مناسب می‌تواند ازجمله مدیریت‌های ساده در برابر عوامل تنش‌زا مانند کم‌آبی باشد. این مطالعه باهدف بررسی تأثیر سطوح آبیاری (آبیاری پس از ۷۰، ۱۱۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک)، تیمار میکوریز (کاربرد و عدم کاربرد میکوریز) و رقم (۷۰۴ و ۶۴۰) بر رشد و عملکرد ذرت انجام شد. آزمایش در سه تکرار و به‌صورت اسپیلت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال ۱۳۹۴ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملکان اجرا شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، واکنش ارقام به کم‌آبی متفاوت بود. در تیمار آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در رقم ۷۰۴ بیشترین عملکرد دانه به دست آمد. در رقم ۷۰۴ هر دو تیمار آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب باعث کاهش ۱۹ و ۵۰/۶ درصدی عملکرد دانه در واحد سطح شد، ولی در رقم ۶۴۰ که در شرایط آبیاری کامل نیز از عملکرد کمتری نسبت به ۷۰۴ برخوردار بود، کم‌آبی تأثیری بر عملکرد دانه در واحد سطح نداشت. تیمار میکوریز نیز افزایش ۲۵/۲ درصدی را در عملکرد دانه ذرت باعث شد. کم‌آبی بر کلروفیل a تأثیری نداشت، ولی محتوای کلروفیل b را کاهش داد، درحالی‌که میکوریز باعث افزایش کلروفیل a شد. کم‌آبی و میکوریز بر محتوای کاتالاز و پراکسیداز نیز افزود. در کل به دلیل عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین ارقام در شرایط کم‌آبی شدید و بالا بودن عملکرد رقم ۷۰۴، کاشت رقم ۷۰۴ و اعمال تیمار میکوریز جهت کشت در منطقه پیشنهاد می‌شود.**

***واژه‌های کلیدی:*** **ذرت، رقم، عملکرد، کم‌آبی، میکوریز.**

## مقدمه

کم‌آبی یک عامل تنش‌زای چندبعدی است که بر گیاهان در سطوح مختلف در مکان و زمان تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین پاسخ فیزیولوژیکی به کم‌آبی بسیار پیچیده و غیرقابل‌پیش‌بینی است. درهرحال در ذرت اثر اصلی کم‌آبی تأخیر در ابریشم دهی است که باعث افزایش بازه گرده‌افشانی و ابریشم‌دهی است که از دلایل مهم کاهش عملکرد است. در حقیقت علائم کم‌آبی در ذرت تغییر رنگ برگ‌ها از سبز، به سبز خاکستری و پیچیده شدن برگ‌های پایین و به دنبال آن برگ‌های بالای کانوپی است. در همان زمان روزنه‌ها بسته می‌شود و فتوسنتز به‌شدت کاهش می‌یابد. وقتی کم‌آبی با دوره ۷ تا ۱۰ روز قبل از گل‌دهی منطبق می‌شود، رشد بلال بیشتر از رشد تاسل کاهش می‌یابد و تأخیری در ظهور ابریشم نسبت به گرده‌افشانی حاصل می‌شود. این شکاف بین گرده‌افشانی و ابریشم دهی، با عملکرد دانه رابطه بالایی دارد، به‌ویژه با تعداد دانه و تعداد بلال در بوته. در همان زمان پیری برگ در پایین بوته آغاز و فرآیند پیری به سمت بالا انتقال می‌یابد. کم‌آبی شدید در مرحله گلدهی باعث تشکیل بلال‌های با تعداد دانه کم می‌شود. در صورت ادامه کم‌آبی، پر شدن دانه‌ها نیز مختل می‌شود (Mazzu et al., 2016).

میکوریزها قارچ‌هایی هستند که ریشه بسیاری از گیاهان زراعی را کلونیزه می‌کنند. این رابطه همزیستی برای قارچ و گیاه مفید است. قارچ‌های همزیست جذب مواد غذایی گیاهان میزبان را افزایش می‌دهند و می‌توانند رشد، کیفیت و تحمل گیاه را به عوامل تنش‌زای محیطی افزایش دهند (Azmat and Hamid, 2015). قارچ‌های میکوریزی جذب مواد غذایی به‌ویژه فسفر را افزایش داده و از این طریق باعث افزایش رشد

* نگارنده پاسخگو: الناز فرجزاده معماری تبریزی. پست الکترونیک: farajzadeh_e@malekaniau.ac.ir

و عملکرد گیاهان می‌شوند (Yadav and Aggarwal., 2015; Elhag et al., 2015).

قارچ‌های میکوریزی مواد غذایی، عمدتاً فسفر و سایر ترکیبات کمپلکس را از طریق شبکه گسترده هیف‌ها در اختیار گیاهان قرار می‌دهند. برای اینکه این رابطه ایجاد شود، گیاه مناسب، یک خاستگاه اکولوژیکی مناسب و یک سویه مناسب قارچ بایستی وجود داشته باشد. این قارچ‌ها طیف تحمل به عوامل محیطی محدودی دارند و دارای سازگاری‌های خاصی به خاک محدوده رشدشان هستند. این سازگاری‌ها به‌طور واضح می‌تواند بر نتیجه رقابت بین قارچ‌های میکوریزی تأثیر گذارد. به‌عنوان‌مثال سازگاری به سطوح بالا یا پایین فسفر، سطح عناصر کم‌مصرف خاک، شوری، pH خاک، سطح سمی عناصر فلزی، دماهای بالا یا پایین. میکوریزها در بسیاری از فرم‌ها وجود دارند. مورفولوژی آن‌ها تحت تأثیر خصوصیات نوع گیاه و سویه قارچ قرار می‌گیرد (Karaarslan et al., 2015). قارچ‌های میکوریزی همچنین فعالیت ارگانیسم‌های مفید مانند ریزوبیوم، ازتوباکتر و میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفر نامحلول خاک را در ریزوسفر افزایش می‌دهند. قارچ‌های میکوریزی طبیعت فیزیولوژیکی سطح جذبی سیستم ریشه‌ای را افزایش داده و هورمون‌هایی مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکینین تولید می‌کنند (Sivagurunathan et al., 2014)؛ بنابراین، هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر سطوح مختلف کم‌آبی، رقم و کاربرد میکوریز بر خصوصیات زراعی و فیزیولوژیکی ذرت بود.

## مواد و روش‌ها

آزمایش در تابستان و پاییز سال ۱۳۹۵ در مزرعه ایستگاه تحقیقاتی دانشگاه آزاد ملکان اجرا گردید. این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول سطوح آبیاری (آبیاری پس از ۷۰، ۱۱۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) به‌عنوان فاکتور اصلی در کرت‌های اصلی قرار گرفت و فاکتور دوم، کاربرد کود زیستی (عدم کاربرد و کاربرد کود زیستی میکوریزا گلوموس موسائه) به‌صورت خاک مصرف و فاکتور سوم، رقم (۷۰۴ و ۶۴۰) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. آبیاری به روش فارو انجام شد. در تیمارهای آبیاری پس از ۷۰، ۱۱۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر تعداد دفعات آبیاری به ترتیب ۱۶، ۱۱ و ۸ بار و میزان آب مصرفی به ترتیب ۳۷۵۰، ۲۵۵۰ و ۱۷۰۰ برآورد گردید. جهت تجزیه خاک محل اجرای طرح قبل از انجام عملیات کاشت، یک نمونه خاک از ۶ نقطه‌ی مزرعه از اعماق ۳۰-۰ سانتی‌متر تهیه و به آزمایشگاه ارسال گردید. نتایج تجزیه، فیزیکی و شیمیایی خاک به شرح جدول ۱ است. مقدار کودهای نیتروژنه و فسفره به ترتیب ۳۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود.

**جدول ۱. نتیجه‌ی آزمون تجزیه خاک**

**Table 1. Results of soil analysis**

| بافت خاک Soil texture | رس Clay (%) | سیلت Silt (%) | شن Sand (%) | روی (میلی‌گرم در کیلوگرم) Zn (mg/kg) | پتاسیم قابل‌جذب K (ppm) | فسفر قابل‌جذب P (ppm) | ازت کل (%) T.N | کربن آلی (%) O.C | درصد مواد خنثی‌شونده TNV | درصد اشباع SP% | اسیدیته گل اشباع pH | هدایت الکتریکی Ec (dS/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سیلت لومی | 13 | 50 | 37 | 0.83 | 20.85 | 15.85 | 0.12 | 1.29 | 10.8 | 47 | 8.17 | 1.42 |

برداشت نهایی از مساحتی معادل یک مترمربع از بوته های موجود در ردیف دوم کاشت از هر کرت انجام گردید. سپس دانه‌ها از بلال جداشده و وزن دانه‌ها در بوته‌های یک مترمربع اندازه‌گیری شد. هم‌زمان با مرحله گل‌دهی، برگ آخر از بالا در یک بوته تحت رقابت انتخاب و پس از جدا نمودن از بوته مادری به آزمایش منتقل گردید. ابتدا به‌وسیله چسب مایع و الکل سفید، محلولی تهیه و توسط قلم مو لایه‌نازکی از محلول را به قسمت زیرین و

رویین برگ مالیده و بعد از خشک شدن با استفاده از چسب نواری، نمونه تهیه‌شـــده را بر روی لام منتقل کرده و در هر لام ۶ حوزه دید میکروسـکوپی توسـط عدسـی با بزرگنمایی ۴۰، تعداد روزنه مورد شـــمارش قرار داده و میانگین گرفته شـد (Abdallah et al., 2013). برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل برگ‌ها در پایان گل‌دهی، نمونه‌برداری از برگ‌های انتهایی بوته‌های تحت رقابت انجام گرفت و بعد از انتقال از مزرعه، در آزمایشـــگاه، ۰/۱ گرم بافت تازه گیاهی در هاون چینی با یک میلی‌لیتر نیتروژن مایع ســـاییده شـــد. پس از افزودن ۱۰ میلی‌لیتر اســتون ۸۰ درصـد به آن، به مدت ۱۰ دقیقه با ســرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه ســانتریفوژ شــده و جذب محلول بالایی در طول‌موج های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر به ترتیب برای اندازه‌گیری کلروفیل a، کلروفیل b و میزان کاروتنوئید تو سط ا سپکتروفتومتر تعین شد. سپس با اســـتفاده از روابط زیر، مقدار کلروفیل a، کلروفیلb و میزان کاروتنوئید نمونه به دست آمد (Robinson et al., 2014).

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A663 - 0.86 \times A645)\ V/100W \quad [۱]$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A645 - 3.6 \times A663)\ V/100W \quad [۲]$$

$$\text{Carotenoides} = 100\ (A470) - 27.3\ (\text{mg chl.a}) - 104\ (\text{mg chl. b}) / 227 \quad [۳]$$

که در این رابطه‌ها، V= حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)؛ A= جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر؛ و W= وزن تر نمونه بر حسب گرم هستند. واحد رنگیزه‌ها میلی‌گرم در گرم وزن تر بافت برگی بود.

در تمامی آزمایش‌ها در بوته‌های منتخب در مرحله گلدهی کامل مقاومت روزنه‌ای در بالاترین برگ مرکب از هر بوته با استفاده از دستگاه پرومتر مدل AP4 و در ساعات اولیه صبح اندازه‌گیری و اعداد به‌دست‌آمده برحسب ثانیه بر سانتی-متر یادداشت شد. در آزمایش مزرعه‌ای محتوای پرولین اندازه گیری شد. نمونه‌های برگی از بوته‌های منتخب در مرحله گلدهی برداشت با استفاده از آسیاب برقی له گردید تا عصاره سبزرنگی حاصل شد. بخش شفاف و زلال عصاره جداشده در لوله‌آزمایش ریخته شد. این عمل بار دیگر عیناً اجرا گردید. عصاره به‌دست‌آمده از تمام تیمارها در ۳۵۰۰ دور به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شدند. قسمت بالای عصاره زلال سبزرنگ سانتریفیوژ شده جدا و در لوله‌های آزمایش درپوش‌دار در دمای ۴ درجه سلسیوس تا تعیین میزان پرولین آزاد نگهداری شد. یک میلی‌لیتر از عصاره استخراج‌شده را با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر دو بار تقطیر مخلوط کرده و به‌وسیله شیکر به هم زده شد. ۵ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین به نمونه‌ها اضافه شد. برای تهیه معرف نین هیدرین، ۰/۱۲۵ گرم نین هیدرین با ۲ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار و ۳ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال مخلوط گردید. به‌منظور حل شدن کامل نین هیدرین در اسید فسفریک و اسید استیک مخلوط حاصله به مدت ۱۶ ساعت توسط شیکر به‌وسیله مگنت به هم زده شد. پس از اضافه کردن معرف نین هیدرین به هر نمونه ۵ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال مجدداً اضافه گردید. مخلوط حاصله کاملاً به هم زده شده و به مدت ۴۵ دقیقه داخل حمام جوش با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از خنک شدن به هرکدام از نمونه‌ها بنزن اضافه گردید و به‌شدت کاملاً تکان داده شد و سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه به حالت سکون نگهداری شدند تا پرولین وارد فاز بنزن شود. فاز بالایی که محتوی بنزن و پرولین است جداشده و شدت جذب آن با اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۱۵ نانومتر قرائت شد. برای استخراج عصاره گیاهی از روش سالتیویت و کانگ (Saltiveit and Kang, 2002) با اندکی تغییرات استفاده شد. سنجش فعالیت آنزیم GPX با استفاده از روش آپادهایا و همکاران (Upadhyaya et al, 1985) انجام شد. سنجش فعالیت آنزیم CAT نیز با استفاده از روش آبی (Aebi, 1984) انجام شد.

برای اندازه‌گیری محتوای پرولین نمونه‌های برگی از بوته‌های منتخب در مرحله گلدهی برداشت و با استفاده از آسیاب برقی له گردید تا عصاره سبزرنگی حاصل شد. بخش شفاف و زلال عصاره جداشده در لوله‌آزمایش ریخته شد. این عمل بار دیگر عیناً اجرا گردید. عصاره به‌دست‌آمده از تمام تیمارها در ۳۵۰۰ دور به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شدند. قسمت بالای عصاره زلال سبزرنگ سانتریفیوژ شده جدا و در لوله‌های آزمایش درپوش-دار در دمای ۴ درجه سلسیوس تا تعیین میزان پرولین آزاد نگهداری شد. یک میلی‌لیتر از عصاره استخراج‌شده را با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر دو بار تقطیر مخلوط کرده و به‌وسیله شیکر به هم زده شد. ۵ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین به نمونه‌ها اضافه شد. برای تهیه معرف نین هیدرین، ۰/۱۲۵ گرم

نین هیدرین با ۲ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار و ۳ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال مخلوط گردید. به‌منظور حل شدن کامل نین هیدرین در اسید فسفریک و اسید استیک مخلوط حاصله به مدت ۱۶ ساعت توسط شیکر به‌وسیله مگنت به هم زده شد. پس از اضافه کردن معرف نین هیدرین به هر نمونه ۵ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال مجدداً اضافه گردید. مخلوط حاصله کاملاً به هم زده‌شده و به مدت ۴۵ دقیقه داخل حمام جوش با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از خنک شدن به هرکدام از نمونه‌ها بنزن اضافه گردید و به‌شدت کاملاً تکان داده شد و سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه به حالت سکون نگهداری شدند تا پرولین وارد فاز بنزن شود. فاز بالایی که محتوی بنزن و پرولین است جداشده و شدت جذب آن با اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۱۵ نانومتر قرائت شد (Han et al., 2013). صفات فیزیولوژیک در آزمایشگاه دانش یاخته اندازه‌گیری شد.

قبل از تجزیه آماری، آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام و سپس تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های به‌دست‌آمده از اندازه گیری صفات موردنظر با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD و دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. برای ترسیم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

## نتایج و بحث

### *عملکرد و اجزای عملکرد دانه*

در این مطالعه کم‌آبی و کاربرد میکوریز اثر معنی‌داری بر تعداد گلچه ذرت داشت، ولی رقم تأثیری بر تعداد گلچه ذرت نداشت (جدول ۲).

در این بررسی بین تیمارهای آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ازنظر تعداد گلچه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، ولی تیمار آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کاهش معنی‌دار ۲۶/۷ درصدی را در این صفت باعث شد (جدول ۳). این در حالی است که کم‌آبی همچنین بر تعداد گلچه‌های نابارور افزود. بیشترین کاهش در تعداد گلچه نابارور مربوط به تیمار آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر بود. در این تیمار تعداد گلچه نابارور ۳۷/۶ درصد در مقایسه با شاهد بیشتر بود (جدول ۳). در بررسی‌های مشابهی بارناباس و همکاران (Barnabas et al., 2008) نیز اظهار داشتند که کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار تعداد گلچه‌های ذرت می‌شود که ناشی از کاهش رشد بلال‌ها و درنتیجه کاهش تعداد گلچه‌های تولیدی در اثر کاهش دسترسی به اسمیلات‌ها است. این محققین اظهار داشتند که کم‌آبی از تعداد گلچه‌های بارور ذرت می‌کاهد. برای تولید موفق دانه، گرده بایستی قوه نامیه خود را حفظ نموده و مادگی قابلیت پذیری دانه گرده‌اش را حفظ کرده باشد، لوله گرده به‌طور مطلوبی رشد کند و به تخمک برسد، باروری مضاعف به‌طور مطلوبی انجام پذیرد و نمو رویان و آندوسپرم به‌طور عادی انجام پذیرد. تعدادی از این فرآیندها به‌طور منفی تحت تأثیر کم‌آبی قرار می‌گیرد. در غلات قوه زیست دانه‌های گرده و جوانه‌زنی آن به کم‌آبی بسیار حساس هستند. کم‌آبی در طی گل‌دهی با این مکانیسم‌ها از تعداد گلچه بارور می‌کاهد (Sirousmehr et al., 2016). در این بررسی کاربرد میکوریز افزایش معنی‌داری را در تعداد گلچه‌های ذرت باعث شد. با کاربرد میکوریز تعداد گلچه ۵۱۴ عدد بود که در مقایسه با عدم کاربرد میکوریز به میزان ۱۹/۵ درصد بیشتر بود (جدول ۴). این در حالی است که تیمار میکوریز برخلاف کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار تعداد گلچه‌های نابارور شد. با کاربرد میکوریز تعداد گلچه‌های بارور به میزان ۱۳/۲ درصد کاهش یافت (جدول ۴). به نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش تعداد گلچه‌های بارور، ایجاد اختلاف در وقوع گرده‌افشانی و ابریشم دهی است. چراکه با کاهش دور آبیاری از آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر باعث افزایش ۸۷/۵ درصدی اختلاف بین گرده‌افشانی تا ابریشم‌دهی شد که اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای به شمار می‌آید (جدول ۳). کم‌آبی در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی باعث تأخیر در ابریشم‌دهی و رشد ابریشم‌ها می‌شود. کم‌آبی در این مرحله به ازای هرروز ۳ تا ۸ درصد عملکرد را کاهش می‌دهد. کم‌آبی ممکن است باعث تأخیر در ابریشم‌دهی حتی بعد از پایان گرده‌افشانی شود (Laur, 2012). کاهش تعداد گلچه‌های بارور درنهایت باعث کاهش تعداد دانه تولیدی خواهد شد.

**جدول ۲. تجزیه واریانس صفات موردبررسی در ذرت**

**Table 2. Analysis of variance for studied traits in maize**

| S.O.V منابع تغییر | درجه آزادی Df | تعداد گلچه Floret number | تعداد گلچه‌های نابارور Number of unfertilile florets | اختلاف گرده‌افشانی تا ابریشم دهی Gap between tasseling and silk emergence | تعداد دانه در بلال Number of grains per cob | وزن ۱۰۰ دانه 100- grain weight | عملکرد دانه در واحد سطح Grain yield | محتوای کلروفیل a Chlorophyll a content |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Replication تکرار | 2 | 1431.694 | 4 | 2.028 | 1478.25 | 1.861 | 93.361 | 0.212 |
| Drought کم‌آبی | 2 | 66145.194** | 26.083** | 27.444* | 68593.083** | 54.361* | 8229.861** | 2.4 |
| Main error خطای اصلی | 4 | 3271.194 | 0.833 | 1.653 | 3206.833 | 6.903 | 93.704 | 0.628 |
| Mycorrhizae میکوریز | 1 | 63924.694* | 17.361* | 4.694 | 65877.778* | 21.778** | 5353.361** | 2.007* |
| Drought*Mycorrhizae کم‌آبی*میکوریز | 2 | 6816.694 | 2.528 | 0.778 | 6813.528 | 1.361 | 143.028 | 0.885 |
| Cultivar رقم | 1 | 16770.25 | 4.694 | 0.25 | 16213.78 | 13.444* | 2320.028* | 0.303 |
| Drought*cultivar کم‌آبی*رقم | 2 | 25794.75 | 1.194 | 1.333 | 25813.86 | 2.528 | 2163.361* | 0.572 |
| Mycorrhizae*cultivar میکوریز*رقم | 1 | 1750.028 | 10.028 | 3.361 | 1469.444 | 0.444 | 84.028 | 0.147 |
| Drought*Mycorrhizae*cultivar کم‌آبی*میکوریز*رقم | 2 | 13213.36 | 0.528 | 0.778 | 13328.53 | 0.861 | 1011.861 | 0.235 |
| Sub error خطای فرعی | 18 | 8433.287 | 2.593 | 1.37 | 8445.787 | 2.407 | 428.157 | 0.401 |
| C.V (%) ضریب تغییرات (درصد) | | *19.44* | *17.73* | *26.84* | *19.84* | *6.63* | *18.93* | *16.03* |

**Table 2: Continued** **جدول ۲. ادامه**

| S.O.V منابع تغییر | محتوای کلروفیل b Chlorophyll b content | مقاومت روزنه‌ای Stomatal resistance | تعداد روزنه در سطح تحتانی برگ Number of stomata in lower surface | تعداد روزنه در سطح‌رویی برگ Number of stomata in upper surface | مقدار کاتالاز Catalase content | پراکسیداز Peroxidase content | پرولین Prolin content |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Replication تکرار | 1.734 | 0.028 | 35.361 | 3.444 | 9.194 | 7.694 | 0.394 |
| Drought کم‌آبی | 15.170* | 11.028* | 298.778 | 144.444** | 152.861** | 330.361** | 2.787 |
| Main error خطای اصلی | 1.007 | 1.361 | 54.403 | 6.528 | 4.319 | 16.444 | 0.51 |
| Mycorrhizae میکوریز | 0.234 | 2.778 | 28.444 | 72.250** | 160.444** | 400.000* | 0.704 |
| Drought*Mycorrhizae کم‌آبی*میکوریز | 0.289 | 1.194 | 32.704 | 19.000* | 5.361 | 0.083 | 0.22 |
| Cultivar رقم | 1.247 | 1 | 5.444 | 0.028 | 0.704 | 121 | 0.704 |
| Drought*cultivar کم‌آبی*رقم | 3.217** | 0.083 | 3.444 | 5.444 | 37.194* | 108.583 | 0.344 |
| Mycorrhizae*cultivar میکوریز*رقم | 0.047 | 1 | 196.000** | 3.361 | 16 | 49 | 0.028 |
| Drought*Mycorrhizae*cultivar کم‌آبی*میکوریز*رقم | 1.742 | 5.250** | 16.333 | 10.704 | 7.583 | 15.083 | 1.047* |
| Sub error خطای فرعی | 0.517 | 0.843 | 16.019 | 4.278 | 7.537 | 51.639 | 0.18 |
| C.V (%) ضریب تغییرات (درصد) | *12.58* | *16.36* | *9.75* | *8.17* | *12.51* | *20.21* | *10.53* |

** و * به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد

* and ** indicate significant difference at 1 and 5%, respectively.

**جدول ۳. مقایسه میانگین‌های صفات تحت تأثیر کم‌آبی**

**Table 3. Mean comparisions of traits under water deficit**

| سطوح آبیاری (میلی‌متر تبخیر از تشتک) **Irrigation regimes** (mm evaporation from the pan) | تعداد گلچه **Number of florets** | تعداد گلچه‌های نابارور **Number of unfertile florets** | اختلاف بین گرده‌افشانی تا ابریشم دهی (روز) **Gap between tasseling and silk emergence** |
|---|---|---|---|
| **70** | 530.0 a | 7.750 c | 3.250 b |
| **110** | 498.5 a | 8.833 b | 3.750 b |
| **150** | 388.6 b | 10.67 a | 6.083 a |

**جدول ۳. ادامه**

**Table 3. Continued**

| سطوح آبیاری (میلی‌متر تبخیر از تشتک) **Irrigation regimes** (mm evaporation from the pan) | تعداد دانه در بلال **Number of grains per cob** | وزن ۱۰۰ دانه (گرم) **100- grain weight** (gr) | مقدار کاتالاز (واحد در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) **Catalase content** (AU/min/mg protein) | پراکسیداز (واحد در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) **Peroxidase content** (AU/min/mg protein) |
|---|---|---|---|---|
| **70** | 522.1 a | 25.08 a | 17.83 b | 29.50 b |
| **110** | 489.5 b | 24.08 a | 24.25 a | 38.42 a |
| **150** | 377.9 c | 21.00 b | 23.75 a | 38.75 a |

حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلافات معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است

Non-identical alphabets represent significant differences at a probability level of 5%

**جدول ۴. مقایسه میانگین‌های صفات تحت تأثیر میکوریز**

**Table 4. Mean comparisions of traits as influenced by mycorrhizae**

| تیمار میکوریز **VAM** | تعداد گلچه **Number of florets** | تعداد گلچه‌های نابارور **Number of unfertile florets** | تعداد دانه در بلال **Number of grains per cob** | وزن ۱۰۰ دانه (گرم) **100- grain weight** (gr) | محتوای کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم وزن تر) **Chlorophyll a content** (mg/gr wet weight) | مقدار کاتالاز (واحد در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) **Catalase content** (AU/min/mg protein) | پراکسیداز (واحد در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) **Peroxidase content** (AU/min/mg protein) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **عدم کاربرد Control** | 430.2b | 9.8a | 420.4b | 22.7b | 3.7b | 20b | 32b |
| **کاربرد Application** | 514.5a | 8.5b | 506.0a | 24.0a | 4.2a | 24a | 39a |

حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلافات معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است

Non-identical alphabets represent significant differences at a probability level of 5%

با توجه به نتایج این مطالعه، در تیمار آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در مقایسه با آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ترتیب به میزان ۶/۳ و ۲۷/۷ درصد تعداد دانه در بلال ذرت را کاهش داد (جدول ۳). کاهش تعداد دانه در بلال ذرت در بررسی سایر محققان نیز گزارش شده است. خوشوقتی و همکاران (Khoshvaghti et al., 2014) تأثیر سطوح مختلف آبیاری را بر تعداد دانه در بلال ذرت را بررسی کردند و کاهش ۲۰ درصدی تعداد دانه در بلال ذرت را با اعمال تیمار کم‌آبی گزارش نمودند. مقایسه میانگین‌های تعداد دانه در بلال ذرت تحت تأثیر تیمار میکوریز حاکی از تأثیر مثبت کاربرد این کود بود. کاربرد میکوریز ۸۶ عدد بر تعداد دانه در هر بلال ذرت افزود و باعث تولید بلال‌هایی با ۵۰۶ عدد دانه گردید. در صورت کاربرد میکوریز ۲۰/۴ درصد بر تعداد دانه در بلال ذرت افزوده شد (جدول ۵). در یک بررسی فرنیا و خدابنده لو (Farnia and Khodabandehloo, 2015) نیز نشان دادند که کاربرد میکوریز افزایش معنی‌داری را در تعداد دانه تولیدی ذرت باعث می‌شود. در این بررسی کم‌آبی کاهش معنی‌داری را در وزن صد دانه ذرت باعث شد، ولی این کاهش تنها ناشی از

کم‌آبی شدید حاصل گردید (جدول ۳). وزن دانه‌ها در گیاهان حاصل دو مؤلفه سرعت پر شدن دانه و طول دوره پر شدن دانه است. کم‌آبی بر روی هردوی این فرآیندها که وزن دانه‌ها را مشخص می‌کند، تأثیر منفی می‌گذارد. کم‌آبی سرعت پر شدن دانه را با افزایش ویسکوزیته شیره آوند آبکش و کاهش میزان فتوسنتز، کاهش می‌دهد. همچنین کم‌آبی طول دوره پر شدن دانه را کاهش می‌دهد (Lisanti et al., 2013). لذا کم‌آبی با تأثیر منفی بر این فرآیندها از وزن دانه‌ها در گیاه می‌کاهد. خوشوقتی و همکاران (Khoshvaghti et al., 2014) نیز در بررسی که انجام دادند، کاهش ۲۷ درصدی وزن صد دانه ذرت را با اعمال کم‌آبی مشاهده نمودند. اسلم و همکاران (Aslam et al., 2013) گزارش نمودند که در شرایط کم‌آبی شدید جذب عناصر غذایی کاهش می‌یابد، لذا کاربرد این کودها می‌تواند بخشی از کاهش جذب مواد غذایی توسط گیاه در اثر کم‌آبی را جبران و از تأثیر کم‌آبی بر وزن دانه‌ها بکاهد. در این مطالعه وزن صد دانه ذرت با کاربرد میکوریز افزایش یافت. در صورت کاربرد میکوریز وزن صد دانه ذرت ۲۴ گرم بود که در مقایسه با شاهد با وزن صد دانه ۲۲/۷ گرم به میزان ۵/۷ درصد بیشتر بود (جدول ۵). فرنیا و خدابنده‌لو (Farnia and Khodabandelo, 2012) نیز نتایج مشابهی را به دست آوردند. با توجه به نتایج فوق، بی شک عملکرد دانه نیز تحت تأثیر تیمارهای موردبررسی قرار خواهد گرفت. با بررسی مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه ذرت تحت تأثیر سطوح آبیاری و رقم مشاهده گردید که بیشترین عملکرد دانه ذرت در واحد سطح در تیمار آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و رقم ۷۰۴ و کمترین آن در تیمار آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و رقم ۷۰۴ به دست آمد. در رقم ۷۰۴ با کاهش دور آبیاری از آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به آبیاری پس از ۱۱۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر عملکرد دانه ذرت به ترتیب ۱۹ و ۵۰/۶ درصد کاهش یافت. در کل مشاهده شد که به‌غیراز شرایط آبیاری کامل که عملکرد دانه در رقم ۶۴۰ در مقایسه با ۷۰۴ به میزان ۲۸/۹ درصد کمتر بود، در شرایط کم‌آبی بین ارقام ازنظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۶).

**جدول ۵. مقایسه میانگین‌های صفات در ارقام ذرت**

**Table 5. Mean comparisions of traits in maize cultivars**

| رقم cultivar | وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100- grain weight (gr) |
|---|---|
| **704** | 24[a] |
| **640** | 22.7[b] |

**جدول ۶. مقایسه میانگین‌های صفات تحت تأثیر کم‌آبی در ارقام ذرت**

**Table 6. Mean comparisions of traits under water deficit in maize cultivars**

| سطوح آبیاری Irrigation regimes (mm evaporation from the pan) | رقم cultivar | عملکرد دانه در واحد سطح (گرم در بوته) Grain yield (gr/plant) | محتوای کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تر) Chlorophyll b content (mg/g wet weight) | مقدار کاتالاز (واحد در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) Catalase content (AU/min/mg protein) |
|---|---|---|---|---|
| **70** | 704 | 152.8 [a] | 6.100 [b] | 17.67 [c] |
| **70** | 640 | 108.0 [bc] | 7.467 [a] | 18.00 [c] |
| **110** | 704 | 123.3 [b] | 6.167 [b] | 26.17 [a] |
| **110** | 640 | 111.7 [b] | 5.467 [bc] | 22.33 [b] |
| **150** | 704 | 75.83 [d] | 4.317 [d] | 22.17 [b] |
| **150** | 640 | 84.17 [cd] | 4.767 [cd] | 25.33 [ab] |

حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلافات معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است

Non-identical alphabets represent significant differences at a probability level of 5%

کم‌آبی از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده رشد و عملکرد گیاهان است. محققان اظهار داشته‌اند که کم‌آبی، کاهش ظرفیت فتوسنتزی، سطح برگ و کاهش کارایی انتقال اسمیلات‌ها به دانه‌ها منجر به کاهش عملکرد دانه گیاهان می‌شود (Cattivelli et al., 2008). سانی و همکاران (Sani et al., 2008) در بررسی که انجام دادند، مشاهده نمودند که کم‌آبی با کاستن از تعداد دانه تولیدی و وزن هزار دانه ذرت منجر به کاهش ۳۴ درصدی عملکرد دانه ذرت شد. در این بررسی همچنین کاربرد میکوریز افزایش معنی‌داری را در عملکرد دانه ذرت باعث شد. با کاربرد میکوریز به میزان ۲۵/۲

درصد بر عملکرد دانه ذرت افزوده شد (جدول ۵). در بررسی‌های مشابهی فرهمند و ظهوری (Fahramand and Zohoori. 2013) و فرنیا و خدابنده لو (Farnia and Khodabandelo, 2012) نیز افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت را با کاربرد کود میکوریزه به دست آوردند.

### محتوای کلروفیل

در این بررسی کم‌آبی و رقم اثر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل a نداشت، ولی کود میکوریز بر محتوای کلروفیل a به میزان ۱۳/۵ درصد افزود (جدول ۵). رابینسون و همکاران (Robinson et al., 2014) نیز افزایش معنی‌داری را در میزان کلروفیل a در گیاه کنجد با کاربرد کود زیستی میکوریزی مشاهده نمودند. در این بررسی برخلاف محتوای کلروفیل a، محتوای کلروفیل b تحت تأثیر کاربرد میکوریز قرار نگرفت، ولی سطوح آبیاری و رقم اثر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل b داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های محتوای کلروفیل b تحت تأثیر سطوح آبیاری و رقم نشان داد که بیشترین محتوای کلروفیل b در تیمار آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و رقم ۶۴۰ به دست آمد. در این سطح آبیاری در رقم ۶۴۰ در مقایسه با رقم ۷۰۴ محتوای کلروفیل b بیشتری به دست آمد، اما در شرایط کم‌آبی اختلافی ازنظر محتوای کلروفیل b مشاهده نشد (جدول ۶). رابینسون و همکاران (Robinson et al., 2014) نیز افزایش معنی‌داری را در میزان کلروفیل b در گیاه کنجد با کاربرد کود زیستی میکوریزی مشاهده نمودند. علی‌رغم اینکه در شرایط آبیاری محتوای کلروفیل b بیشتری در رقم ۶۴۰ در مقایسه با ۷۰۴ وجود داشت، ولی رقم ۶۴۰ حساسیت بیشتری را به کم‌آبی در مقایسه با رقم ۷۰۴ ازنظر محتوای کلروفیل b نشان داد. در رقم ۶۴۰ هر دو سطح کم‌آبی آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کاهش معنی‌دار ۲۷ و ۳۶/۴ درصدی را در محتوای کلروفیل b باعث شد، اما در رقم ۷۰۴ تنها کم‌آبی آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کاهش معنی‌دار ۲۹/۵ درصدی را در محتوای کلروفیل b باعث شد.

### خصوصیات روزنه‌ای

در این مطالعه برهم‌کنش سطوح آبیاری، کود میکوریز در رقم در صفت مقاومت روزنه‌ای اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های مقاومت روزنه تحت تأثیر سطوح آبیاری، تیمار کود میکوریز در زمان کاربرد کود نشان داد که بیشترین مقاومت روزنه‌ای در برگ‌های ذرت مربوط به تیمار آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، عدم کاربرد میکوریز و رقم ۶۴۰ و آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، کاربرد میکوریز و رقم ۷۰۴ بود. کمترین مقاومت روزنه‌ای برگ‌های ذرت نیز مربوط به تیمار آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، عدم کاربرد کود و هر دو رقم ۷۰۴ و ۶۴۰ بود. در بین ترکیب‌های تیماری رقم و تیمار میکوریز، در شرایط عدم کاربرد میکوریز و رقم ۷۰۴ و در شرایط کاربرد میکوریز و رقم ۶۴۰، کم‌آبی تأثیر معنی داری را بر مقاومت روزنه‌ای برگ‌های ذرت نداشت، اما در تیمارهای عدم کاربرد میکوریز و ۶۴۰ و کاربرد میکوریز و ۷۰۴ تیمار آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر باعث افزایش ۸۲/۵ و ۶۵/۲ درصدی مقاومت روزنه‌ای برگ‌های ذرت شد (جدول ۷).

فیزیولوژیست‌ها بر این باورند که کم‌آبی با مکانیسم‌های مختلف ازجمله تولید اسید آبسیزیک در ریشه‌ها و تأثیر آن بر روزنه‌ها باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌شوند (Harb et al., 2010). بسته شدن روزنه‌ها تحت تأثیر کم‌آبی یک مکانیسم دفاعی در جهت کاهش میزان از دست روی آب توسط گیاه است (Gomes et al., 2004). آگه و همکاران (Augé et al., 2014) با بررسی مقالات مختلف در زمینه تأثیر کودهای میکوریزی بر مقاومت روزنه‌ای اظهار داشتند که پاسخ روزنه‌ها به کاربرد کودهای میکوریزی متفاوت است، ولی در اغلب موارد کاربرد قارچ‌های میکوریزی باعث کاهش مقاومت روزنه‌ای برگ‌ها می‌شود که به گفته این محققان عمدتاً ناشی از تأثیر این قارچ‌ها در افزایش میزان جذب آب است.

در این مطالعه برهم‌کنش رقم در تیمار میکوریز در صفت تعداد روزنه در سطح تحتانی برگ معنی‌دار بود، ولی کم‌آبی تأثیر معنی‌داری بر تعداد روزنه در سطح تحتانی برگ نداشت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های تعداد روزنه در سطح تحتانی برگ‌های ذرت تحت تأثیر رقم در تیمار میکوریز نشان داد که بیشترین تعداد روزنه در سطح تحتانی برگ با کاربرد کود میکوریز و رقم ۶۴۰ به دست آمد. در این رقم کاربرد کود میکوریز باعث افزایش ۱۵/۷ درصدی تعداد روزنه در سطح تحتانی برگ‌های ذرت باعث شد، اما در رقم ۷۰۴ کاربرد کود میکوریز تأثیری بر تعداد روزنه در سطح تحتانی برگ‌های ذرت نداشت (جدول ۸).

**جدول ۷. مقایسه میانگین‌های صفات تحت تأثیر کم‌آبی و میکوریز در ارقام ذرت**

**Table 7. Mean comparisions of traits under water deficit and mycorrhizae effects in maize cultivars**

| سطوح آبیاری<br>**Irrigation regimes**<br>(mm evaporation from the pan) | تیمار میکوریز<br>**VAM** | رقم<br>**Cultivar** | مقاومت روزنه‌ای<br>**Stomatal resistance**<br>(s/cm) | پرولین (میکروگرم در گرم وزن تر)<br>**Prolin content**<br>(µg/ g fresh weight) |
|---|---|---|---|---|
| **70** | **عدم کاربرد**<br>**Control** | **704** | 4.333 $^{c}$ | 3.467 $^{cd}$ |
| **70** | **عدم کاربرد**<br>**Control** | **640** | 4.000 $^{c}$ | 3.167 $^{d}$ |
| **70** | **کاربرد**<br>**Application** | **704** | 4.667 $^{bc}$ | 3.467 $^{cd}$ |
| **70** | **کاربرد**<br>**Application** | **640** | 5.667 $^{bc}$ | 3.867 $^{b-d}$ |
| **110** | **عدم کاربرد**<br>**Control** | **704** | 5.667 $^{bc}$ | 3.967 $^{b-d}$ |
| **110** | **عدم کاربرد**<br>**Control** | **640** | 5.667 $^{bc}$ | 4.200 $^{a-c}$ |
| **110** | **کاربرد**<br>**Application** | **704** | 5.333 $^{bc}$ | 4.867 $^{a}$ |
| **110** | **کاربرد**<br>**Application** | **640** | 5.667 $^{bc}$ | 3.633 $^{cd}$ |
| **150** | **عدم کاربرد**<br>**Control** | **704** | 5.000 $^{bc}$ | 4.567 $^{ab}$ |
| **150** | **عدم کاربرد**<br>**Control** | **640** | 7.333 $^{a}$ | 4.467 $^{ab}$ |
| **150** | **کاربرد**<br>**Application** | **704** | 7.667 $^{a}$ | 4.167 $^{a-c}$ |
| **150** | **کاربرد**<br>**Application** | **640** | 6.333 $^{ab}$ | 4.500 $^{ab}$ |

حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلافات معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است

Non-identical alphabets represent significant differences at a probability level of 5%

**جدول ۸. مقایسه میانگین‌های صفات تحت تأثیر میکوریز در ارقام ذرت**

**Table 8. Mean comparisions of traits affected by mycorrhizae in maize cultivars**

| **Mycorrhiza treatment** | تیمار میکوریز | رقم<br>**Cultivar** | تعداد روزنه در سطح تحتانی برگ<br>**Number of stomata in lower leaf** |
|---|---|---|---|
| **Control** | **عدم کاربرد** | 704 | 42.11 $^{ab}$ |
| **Control** | **عدم کاربرد** | 640 | 38.22 $^{b}$ |
| **Application** | **کاربرد** | 704 | 39.22 $^{b}$ |
| **Application** | **کاربرد** | 640 | 44.6 $^{a}$ |

حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلافات معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است

Non-identical alphabets represent significant differences at a probability level of 5%

در بررسی‌های مختلف اثر افزایش قارچ‌های میکوریزی بر تعداد روزنه گیاهان اثبات شده است. عبدالله و همکاران (Abdallah et al., 2013) تأثیر قارچ‌های میکوریزی را بر خصوصیات فیزیولوژیک آفتابگردان موردبررسی قرار داده و مشاهده نمودند که کاربرد کود زیستی میکوریزی تعداد روزنه‌ها را در سطح زیرین برگ‌ها در آفتابگردان افزایش می‌دهد. در بررسی حاضر همچنین بیشترین تعداد روزنه در سطح‌رویی برگ با ۳۰/۸ عدد در تیمار آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و کاربرد میکوریز و کمترین آن با ۲۲/۶ عدد در تیمار آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر

از تشتک تبخیر و عدم کاربرد میکوریز به دست آمد. در شرایط عدم کاربرد، تنها تیمار آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر باعث کاهش معنی‌دار ۲۰/۵ درصدی تعداد روزنه در سطح‌رویی برگ شد. علی‌رغم اینکه میکوریز در شرایط آبیاری کامل باعث افزایش تعداد روزنه در سطح‌رویی برگ‌های ذرت، اما با کاربرد این کود حساسیت و تغییرات در تعداد روزنه در سطح‌رویی برگ در شرایط کم‌آبی بیشتر بود که می‌تواند اثر مثبتی بر کاهش میزان تبخیر از سطح برگ داشته باشد (جدول ۹).

تعداد روزنه در هر گیاه یک صفت ژنتیکی است، ولی معمولاً تحت تأثیر عوامل محیطی و تغذیه‌ای گیاهان قرار می‌گیرد. بررسی‌ها نشان داده که تغییرات هورمونی و مواد غذایی بر تعداد روزنه تأثیر می‌گذارند (Santrucek et al., 2014; Fraser et al., 2009). محققان گزارش نموده‌اند که قارچ‌های میکوریزی و کود شیمیایی فسفره باعث افزایش میزان این هورمون در گیاهان می‌شود (Sivagurunathan et al., 2014; Panigrahy et al., 2009). در کل به نظر می‌رسد تغییرات تعداد روزنه تأثیر کمی بر تغییرات مقاومت روزنه‌ای ناشی از تیمارهای موردبررسی دارد.

**جدول ۹. مقایسه میانگین‌های صفات تحت تأثیر کم‌آبی و میکوریز**

**Table 9. Mean comparisions of traits under water deficit and mycorrhizae effects**

| سطوح آبیاری<br>**Irrigation regimes**<br>(mm evaporation from the pan) | تیمار میکوریز<br>**Mycorrhiza treatment** | تعداد روزنه در سطح‌رویی برگ<br>**Number of stomata in upper leaf** |
|---|---|---|
| **70** | **عدم کاربرد**<br>**Control** | 25.33 [b] |
| **70** | **کاربرد**<br>**Application** | 30.83 [a] |
| **110** | **عدم کاربرد**<br>**Control** | 26.17 [b] |
| **110** | **کاربرد**<br>**Application** | 26.67 [b] |
| **150** | **عدم کاربرد**<br>**Control** | 20.17 [d] |
| **150** | **کاربرد**<br>**Application** | 22.67 [c] |

حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلافات معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است

Non-identical alphabets represent significant differences at a probability level of 5%

### *فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها*

با توجه به نتایج حاصل تنها در تیمار آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و رقم ۷۰۴، کاربرد میکوریز افزایش معنی‌دار ۲۳ درصدی را در محتوای پرولین برگ‌های ذرت باعث شد. ولی در سایر سطوح آبیاری، میکوریز تأثیر معنی‌داری بر محتوای پرولین برگ‌های ذرت نداشت. در این بررسی تنها در شرایط عدم کاربرد میکوریز تیمار کم‌آبی آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در هر دو رقم ۷۰۴ و ۶۴۰ کاهش معنی‌دار به ترتیب ۳۲/۳ و ۴۱/۹ درصدی را در محتوای پرولین برگ‌های ذرت گردید (جدول ۹). پرولین ترکیبی آمینواسیدی است که در تنظیم اسمزی سلول‌ها نقش دارد. تنظیم سلولی به حفظ تورگر سلول‌ها کمک می‌کند و باعث می‌شود تا سلول‌ها مدت‌زمان بیشتری را باز باشند. کم‌آبی باعث افزایش میزان این ترکیب می‌شود (Man et al., 2011). در این بررسی در رقم ۷۰۴، هر دو تیمار آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر افزایش ۴۸/۲ و ۲۵/۵ درصدی را در محتوای کاتالاز برگ‌های ذرت باعث شد که میزان افزایش در تیمار آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر بیشتر از آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر بود. در رقم ۶۴۰ نیز هر دو تیمار آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و

آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر افزایش ۲۳/۸ و ۴۰/۵ درصدی را در مقدار کاتالاز برگ‌های ذرت باعث گردید (جدول ۶). محققین گزارش نمودند که کم‌آبی باعث افزایش میزان آنتی اکسیدانت‌ها در ذرت می‌شود. محققین در ذرت گزارش نموده‌اند که ارقام مقاوم ذرت مقادیر پایین‌تری از $H_2O_2$ را تجمع می‌دهند که این امر به دلیل افزایش فعالیت پراکسیدازها است. لذا به غشاهای سلولی صدمات کمتری وارد می‌شود. همچنین در ارقام مقاوم ذرت پرولین بیشتری نیز تجمع می‌یابد. حتی در این ارقام میزان فتوسنتز نیز افزایش می‌یابد. در ارقام مقاوم ذرت در این آزمایش حتی میزان سوپر اکسید دیسموتازها و کاتالازها نیز بیشتر است (Moussa and AbdelAziz, 2008). در این مطالعه کاربرد میکوریز افزایش معنی‌داری را در محتوای کاتالاز برگ‌های ذرت باعث شد. با کاربرد کود میکوریز مقدار کاتالاز ۲۰ درصد بر محتوای کاتالاز برگ‌های ذرت افزود (جدول ۵). در بررسی مشابهی وو (Wu, 2011) نیز نشان داد که کاربرد کود میکوریز باعث افزایش معنی‌دار محتوای کاتالاز می‌شود. در این بررسی کم‌آبی افزایش معنی‌داری را در محتوای پراکسیداز برگ‌های ذرت باعث شد. هر دو سطح آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر باعث افزایش معنی‌دار ۳۱ درصدی محتوای پراکسیداز برگ‌های ذرت شد. رداپا و همکاران (Reddappa Reddy, 2006) نتایج مشابهی را در ذرت گزارش و افزایش محتوای پراکسیداز را در برگ‌هایی ذرت تحت تأثیر کم‌آبی به دست آوردند. این محققین گزارش نمودند که کم‌آبی میزان آنتی اکسیدانت‌ها را در گیاهان افزایش می‌دهد که این افزایش یک مکانیسم جهت افزایش مقاومت گیاهان به کم‌آبی است.

در این بررسی بین تیمارهای آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ازنظر محتوای پراکسیداز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

در این بررسی کاربرد میکوریز در محتوای پراکسیداز برگ‌های ذرت افزود. با کاربرد میکوریز، بر محتوای پراکسیداز برگ‌های ذرت به میزان ۲۱/۸ درصد افزوده شد (جدول ۵). در بررسی مشابهی وو (Wu, 2011) نیز نشان داد که کاربرد کود میکوریز باعث افزایش معنی‌دار محتوای پراکسیداز می‌شود.

## نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج این بررسی کم‌آبی با کاستن از تعداد گلچه بارور که می‌تواند ناشی از ایجاد اختلاف‌زمانی در گرده‌افشانی و ظهور ابریشم بوده باشد و کاهش وزن هزار دانه، کاهش معنی‌داری را در عملکرد دانه ذرت باعث شد، درحالی‌که تیمار میکوریز تأثیر مثبتی بر این صفات در هر دو شرایط کم‌آبی و آبیاری کامل باعث شد. تیمار میکوریز میزان کلروفیل را نیز به‌طور مطلوبی افزایش داد که این افزایش می‌تواند باعث افزایش ظرفیت فتوسنتزی و فتوسنتز گردد. میزان آنتی اکسیدان‌ها نیز که می‌تواند باعث افزایش مقاومت گیاه به کم‌آبی گردد، تحت تأثیر هر دو تیمار کم‌آبی و میکوریز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در کل به دلیل عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین ارقام در شرایط کم‌آبی شدید و بالا بودن عملکرد رقم ۷۰۴، کاشت رقم ۷۰۴ و اعمال تیمار میکوریز جهت کشت در منطقه پیشنهاد می‌شود. درنهایت استفاده از میکوریز، همراه با تحقیقات بیشتر جهت درک بیشتر تأثیر قارچ میکوریز بر مورفوفیزیولوژی ذرت و اصلاح ارقام ذرت با توانایی بیشتر کلونیزاسیون با قارچ‌های میکوریز و مقاوم به کم‌آبی پیشنهاد می‌شود.

## سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه تحت عنوان (تأثیر کم‌آبی و کود زیستی بر عملکرد و خصوصیات زایشی و فیزیولوژیکی ارقام ذرت) می‌باشد لذا از زحمات حوزه پژوهش دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملکان که در اجرای پایان‌نامه کشیده‌اند تقدیر و تشکر می‌گردد.

## منابع

Alizadeh Oskuie, P., Baghban Cirus, S., 2015. The effect of Vesicular–arbuscular (VA) mycorrhizal fungi on vitamin c content of tomato in the presence of lead and different levels of phosphorus. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences. 4, 01- 04.

Abdallah, M.M., Abd El-Monem, A.A., Hassanein, R.A., El-Bassiouny, H.M.S., 2013. Response of sunflower plant to the application of certain vitamins and arbuscular mycorrhiza under different water regimes. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 7(2), 915-932.

Aminifar, J., Sirousmehr, A., 2014. Arbuscular Mycorrhizal fungi community, nutrient availability and soil glomalin in organic farming. International Journal of Farming and Allied Sciences. 3, 1-6.

Aslam, M., Zamir, M.S.I., Afzal, M.I., Shoaib, A., 2013. Drought stress, its effect on maize production and development of drought tolerance through potassium application. Cercetări Agronomice în Moldova. 2(154), 99-114.

Augé, R.M., Toler, H.D., Saxton, A.M., 2014. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. Mycorrhiza. 7, 87-98.

Azmat, R., Hamid, N., 2015. A plausible mechanism of biosorption in dual symbioses by vesicular-arbuscular mycorrhizal in plants. Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences. 28, 541-546.

Barnabás, B., Jäger, K., Fehér, A., 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. Plant, Cell and Environment. 31, 11–38.

Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F. W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A. M., Francia, E., Mare, C., Tondelli, A., Michele Stanca, A., 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. Field Crops Research. 105, 1–14.

Elhag, A.Z., Sayed Abdelhaleem Musa, T., Osman Gafar, M., 2015. The allelopathic effect of Euphorbia hirta and Vesicular Arbuscular Mycorrhiza (VAM) on growth of eggplant (*Solanum melongena* L.). International Journal of Agronomy and Agricultural Research. 6, 222-228.

Fahramand, M., Zohoori, M., 2013. Evaluate the effect biological fertilizer on some quantitative traits in maize. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 6, 789-793.

Farnia, A., Khodabandehloo, S., 2015. Changes in yield and its components of maize (*Zea mays* L.) to foliar application of zinc nutrient and mycorrhiza under water stress condition. International Journal of Life Sciences. 9 (5), 75 – 80.

Fraser, L.H., Greenall, A., Carlyle, C., Turkington, R., Ross Friedman, C., 2009. Adaptive phenotypic plasticity of Pseudoroegneria spicata: response of stomatal density, leaf area and biomass to changes in water supply and increased temperature. Annals of Botany. 103, 769–775.

Gomes, M. M. A., Magalhães Andrade Lagôa, A. M., Lázaro Medina, C., Caruso Machado,E., Antônio Machado, M., 2004. Interactions between leaf water potentialstomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. Braz. Journal of Plant Physiology. 16(3), 155-161.

Harb, A., Krishnan, A., Ambavaram, M. M.R., Pereira, A., 2010. Molecular and pH ysiological analysis of drought stressin arabidopsis reveals early responses leading to acclimation in plant growth. Plant Physiology. 154, 1254–1271.

Karaarslan, E., Uyanöz, R., Doğu,S. 2015. Morphological identification of vesicular-arbuscular mycorrhiza on bulbous plants (Taurus Mountain in Turkey). Archives of Biological Sciences. 67(2), 411-426.

Khoshvaghti, H., Eskandari-Kordlar, M., Lotfi,R., 2014. Response of maize cultivars to water stress at grain filling phase. Azarian Journal of Agriculture. 1, 39-42.

Lauer, J., 2012. The effects of drought and poor corn pollination on corn. Field Crops. 28, 493 - 95.

Lisanti, S., Hall, A.J., Chimenti, C.A., 2013. Influence of water deficit and canopy senescence pattern on*Helianthus annuus* (L.) root functionality during the grain-filling phase. Field Crops Research. 154, 1–11.

Maazou, A. S., Tu, J., Qiu, J., Liu. Z., 2016. Breeding for drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). American Journal of Plant Sciences. 7, 1858-1870.

Man, D., Bao, Y., Han, L., 2011. Drought tolerance associated with proline and hormone metabolism in two tall fescue cultivars. Hortscience. 46(7), 1027–1032.

Moussa, H.R., Abdel-Aziz, S.M., 2008. Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. Australian Journal of Crop Science. 1(1), 31-36.

Panigrahy, M., Nageswara Rao, D., Sarla, N ., 2009. Molecular mechanisms in response to

phosphate starvation in rice. Biotechnology Advances.2 7, 389–397.

Reddappa Reddy, M., 2006. Effect of calcium, sulphur and boron on the yield andcomposition of corn (*Zea Mays* L.) under water deficit stress. Journal of Plant Growth Regulation. 54, 205–209.

Robinson, J., Nithya, K., Ramya, R., Karthikbalan, B., Kripa, K., 2014. Effect of Vesicular Arbuscular Mycorrhiza *Glomus fasiculatum* on the growth and Physiological response in *Sesamum indicum* L. International Letters of Natural Sciences. 23, 47-62.

Rodriguez, H., Fraga, R., Gonzalez, T., Bashan, Y., 2006. Genetics of phosphate solubilization and its potential application for improving plant growth-promoting bacteria. Plant and Soil. 287, 15–21.

Sani, B. M., Oluwasemire, K.O., Mohammed, H. I., 2008. Effect of irrigation and plant density on the growth, yield and water use efficiency of early maize in the Nigerian savanna. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science. 3, 33-40.

Santrucek, J., Vrablova, M., Simkova, M., Hronkova, M., Drtinova, M., Kveton, J., Vrabl, D., Kubasek, J., Mackova, J., Wiesnerova, D., Neuwithova, J., Schreiber, L. 2014. Stomatal and pavement cell density linked to leaf internal CO2 concentration. Annals of Botany. 114, 191–202.

Sivagurunathan, P., Sathiyamoorthy, M., Sivasubramani, K., 2014. Effect of mycorrhizal fungi on growth of *Zea mays* L. Plants. International Journal of Advanced Research in Biological Sciences. International Journal of Advanced Research in Biological Sciences. 1(1), 137-148.

Wu, Q. S., 2011. Mycorrhizal efficacy of trifoliate orange seedlings on alleviating temperature stress. Plant, Soil and Environment. 57 (10), 459–464.

Yadav, A., Aggarwal. A., 2015. The associative effect of arbuscular mycorrhizae with *Trichoderma viride* and *Pseudomonas fluorescens* in promoting growth, nutrient uptake and yield of *Arachis hypogaea* L. New York Science Journal. 8(1), 101-108.

Han, Y., Fan, S., Zhang, Q., Wang, Y., 2013. Effect of heat stress on the MDA, proline and soluble sugar content in leaf lettuce seedlings. Agricultural Sciences. 4, 112-115.