نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال پانزدهم، شماره ۵۹، پاییز ۱۳۹۹ / صفحات: ۱۶-۱

تأثیر هورمون جیبرلین بر عملکرد، شاخص‌های رشدی و صفات بیوشیمیایی ذرت (*Zea mays* L.) تحت تنش خشکی

عباس ملکی[۱*]، امین فتحی[۲]، صادق بهامین[۳]

[۱]گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران

[۲]گروه زراعت، واحد آیت‌اله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.

[۳]گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۱۹ تاریخ پذیرش:۹۸/۱۲/۰۷

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر هورمون جیبرلین و تنش خشکی بر ذرت آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهـای آزمایشـی عبارتنـد از سـطوح تـنش رطوبتی در سه سطح آبیاری نرمال (I_0=۶۰)، تنش متوسط (I_1=۹۰) و تنش شدید (I_2=۱۲۰) میلـی‌متـر تبخیـر از تشتک تبخیر کلاس A به‌عنوان فاکتور اصلی و فاکتور فرعی شامل محلول‌پاشی هورمون جیبرلین در چهار سطح عدم مصرف (G_0=۰)، (G_1=۱۵ppm)، (G_2=۲۰ppm) و (G_3=۲۵ppm) می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین نشـان داد بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب در تیمار ۶۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر به همراه مصرف ۲۰ پی پی ام جیبرلیک اسید و ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر بدون مصرف جیبرلیک اسید بـه میـزان ۹۶۵۸/۲ و ۵۷۹۷/۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. همچنین در تمامی سطوح تنش مصرف جیبرلیک اسید موجب افزایش عملکرد دانه ذرت شد. اثر متقابل هورمون و آبیاری تأثیر معنی‌داری بر نشاسته، پرولین، آلفـا آمـیلاز، بتـاآمیلاز، پروتئاز داشت. با اعمال تنش خشکی غلظت پرولین در برگ ذرت افزایش یافت. هورمون جیبرلین در شـرایط عدم تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر غلظت پرولین برگ ذرت نداشت اما در شرایط تنش خشکی باعث افزایش غلظت پرولین گردید. کاربرد ۲۰ و ۲۵ پی پی ام جیبرلین در شرایط تنش کم آبی متوسط (۹۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر) غلظت پرولین برگ در مقایسه با شاهد (عدم مصرف جیبرلین) به ترتیب به میزان ۳۶ و ۵۰ درصد افزایش نشان داد. در شرایط تنش خشکی شدید (۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر) غلظت پرولین با کاربرد ۲۰ و ۲۵ پی پی ام جیبرلین به ترتیب ۳۲ و ۲۱ درصد بیشتر از عدم مصرف جیبرلین بود. به‌طور کلی نتایج نشان داد که اسید جیبرلیک از طریق تأثیر مثبت بر افزایش و بهبود اجزاء عملکرد در نهایت مـی‌توانـد عملکـرد دانـه ذرت را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: آمیلاز، پروتئاز، پرولین، شاخص سطح برگ، ماده خشک

*نویسنده مسئول: maleki97@yahoo.com

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) گیاهی است که به دلیل بالا بودن تولید عملکرد دانه و ماده خشک و داشتن ارزش غذایی گوناگون در خصوص تأمین کربوهیدرات و روغن خوراکی در اقتصاد کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است . همچنین ذرت یکی از چهار غله عمده جهان بوده و بعد از گندم و برنج تولید آن در دنیا مقام سوم را داراست. سالیانه بیش از صد میلیون هکتار از اراضی زراعی دنیا به کشت ذرت اختصاص پیدا می‌کند و بعد از گندم بزرگترین سطح کشت را دارد، در حالی‌که تولید محصول آن بعد از گندم و برنج قرار دارد(Fathi et al., 2016).

در بین عوامل باز دارنده محیطی بر رشد و عملکرد گیاهان، تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد کمی و کیفی در ذرت می‌باشد. تنش خشکی به عنوان یک عامل خارجی که باعث تأثیر منفی بر رشد و نمو گیاه می‌شود تعریف می‌گردد (Farooq et al., 2016; Jaberi et al., 2015). تنش خشکی سبب کاهش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی مختلف در خاک تحت تنش، تغییرات قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. بنابراین مدیریت تغذیه گیاه در شرایط تنش خشکی یکی از مسائل مهم در تولید محصولات زراعی محسوب می‌شود (Akbari and Maleki, 2018). تأثیر خشکی بر هر یک از اجزای تشکیل دهنده عملکرد می‌تواند منجر به تغییر در میزان عملکرد دانه گردد. در صورت نبود آب کافی نه تنها رشد گیاه به واسطه نبود آب بلکه به سبب کمبود عناصر غذایی قابل دسترس کاهش می‌یابد (Kumar et al., 2015).

کاربرد هورمون‌های گیاهی در دهه اخیر با توجه به گسترش کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گرفته است و از این رو باید در مدیریت تلفیقی گیاهان زراعی مورد تحقیق قرار گیرد (Sarwar et al., 2017).

جیبرلین یکی از هورمون‌های تنظیم کننده رشد گیاهی است که در مراحل رشد اثرات متنوع و متفاوتی بر رشد و نمو بسیاری از گیاهان دارد. استفاده از جیبرلین در غلظت‌های بالا رشد بعضی از گیاهان را تشدید می‌کند (Atri, 1996). امروزه جیبرلین‌ها به‌عنوان یکی از مهمترین تنظیم کننده‌های رشد گیاهی شناخته شده‌اند که به‌طور طبیعی در گیاهان عالی وجود دارد (Hedden and Proebsting., 1999). جیبرلین علاوه بر تحریک رشد گیاه، موجب افزایش توان فتوسنتز، افزایش رشد طولی برگ و بردباری در برابر تنش خشکی می شود (Ashraf et al., 2002).

جیبرلین‌ها به‌طور تجاری از کشت‌های قارچی به دست می‌آیند و محصول طبیعی و خالص شده‌ای است که در گیاهان به کار می‌روند. اسید جیبرلیک بهترین نوع شناخته شده از بین انواع این هورمون است که می‌توان به مقدار زیاد به دست آورد (Hedden and Proebsting, 1999). محققان تاثیر مثبت جیبرلیک اسید بر عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت، گندم، برنج و لوبیا را اشاره کردند (Kumar et al., 2015; Sarwar et al., 2017; Ashraf et al., 2002, Farooq et al., 2016). با توجه به کاهش نزولات جوی، قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش کم آبی امری اجتناب‌پذیر است. توانایی ادامه رشد، نمو و فتوسنتز در تنش‌های محیطی به پتانسیل ژنتیکی گیاه وابسته است که به‌صورت پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مولکولی خود را نشان می‌دهد. برخی مواد تنظیم کننده رشد خارج از گیاه می‌توانند گیاه را از طریق فتوسنتز بیشتر در مرحله دانه رستی برای تحمل تنش تواناتر سازند. تنش آب می‌تواند به‌طور مستقیم از طریق تأثیر در فرآیندهای مختلف بیوشیمیایی در فتوسنتز و به ناشی از CO_2 به‌طور غیر مستقیم از طریق کاهش جذب بستن روزنه‌ها، بر فتوسنتز اثر بگذارد (Omena-Garcia et al., 2019; Sarwar et al., 2017).

یکی از اهداف این تحقیق دست‌یابی به راهبردهایی برای کاهش اثرات منفی تنش خشکی که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به اهمیت تولید ذرت در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، هدف از اجرای این پژوهش بررسی اثرات مقادیر مختلف هورمون جیبرلین بر ذرت تحت شرایط کم‌آبی بود.

مواد و روش‌ها

محل اجرای طرح: این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در شهرستان دهلران از توابع استان ایلام انجام گرفت. این شهرستان در ۳۲ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی گرینویج واقع گردیده و ارتفاع آن به طور متوسط در ۲۰۰ تا ۴۵۰ متری از سطح دریا قرار دارد. به منظور تعیین خصوصیات خاک قبل از اجرای آزمایش نمونه‌گیری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک انجام شد و خصوصیات آن مورد آزمایش قرار گرفت. بر پایهٔ نتایج آزمایش خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر، بافت خاک لومی شنی، اسیدیتهٔ ۷/۳، هدایت الکتریکی ۱۸ دسی زیمنس بر متر، نیتروژن ۰/۱۱ درصد، فسفر ۱۰ پی پی ام و پتاسیم ۱۱۰ پی پی ام بود.

طرح آزمایش: آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی شامل سطوح تنش رطوبتی در سه سطح آبیاری نرمال (I_0=۶۰)، تنش متوسط (I_1=۹۰) و تنش شدید (I_2=۱۲۰) میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و فاکتور فرعی شامل محلول پاشی هورمون جیبرلین در ۴ سطح عدم مصرف (G_0=۰)، (G_1=۱۵ppm)، (G_2=۲۰ppm) و (G_3=۲۵ppm) بود.

عملیات زراعی: به‌منظور آماده‌سازی بستر بذر در بهار زمین مورد نظر توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد و پس از خرد کردن کلوخه‌ها توسط دیسک، ردیف‌های کاشت توسط کارنده ذرت مشخص شدند. زمین آماده شده بر اساس تیمارها زمین به سه بلوک مساوی با فواصل سه متر از یکدیگر تقسیم و هر بلوک به سه کرت اصلی و هر کرت اصلی به ۱۲ کرت فرعی به ابعاد ۴ متر عرض در ۵ متر طول تفکیک شدند. هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت به فاصله ۷۵ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر و بین کرت‌های فرعی یک خط نکاشت بود. با توجه به نتیجه‌ی آزمون خاک، نیاز کودی ذرت به‌صورت پایه به کود اوره به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله قبل از کاشت و مرحله ظهور گل آذین نر، کود فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت و کود پتاس به صورت کود سولفات پتاسیم به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت استفاده گردید. بذر مورد استفاده رقم سینگل کراس۷۰۴ بود. عملیات کاشت در تاریخ اول خرداد صورت گرفت. کاشت ذرت به‌صورت دستی انجام گرفت. در این آزمایش تا مرحله استقرار گیاهچه (۴ تا ۵ برگی) آبیاری با فاصله ۴ روز یکبار انجام شد و پس از این مرحله تیمارهای تنش آب اعمال شد.

نمونه‌برداری

روند تغییرات شاخص سطح برگ: به‌منظور اندازه‌گیری روند تغییرات شاخص سطح برگ ۱۴ روز پس از تاریخ کاشت، در فاصله زمانی هر ۱۵ روز یک‌بار از تمامی کرت‌های آزمایشی نمونه‌گیری تخریبی انجام گرفت. نمونه برداری برای روند تغییرات شاخص سطح برگ در ۸ مرحله انجام شد. در هر مرحله سه بوته از هر کرت با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای و به‌صورت تصادفی برداشت شد. برای تعیین شاخص سطح برگ، ابتدا برگ‌های هر بوته از ساقه جدا و طول و بزرگترین پهنای هر برگ بوسیله

خط‌کش اندازه‌گیری شد و سپس سطح برگ بوته از رابطه (A=L×W×۰/۰۷۵) محاسبه گردید. در این معادله A، مساحت برگ، L، طول برگ و W، بزرگترین پهنای برگ می‌باشد.

روند تغییرات ماده خشک کل: به‌منظور اندازه‌گیری روند تغییرات ماده خشک کل ١٤ روز پس از تاریخ کاشت، در فاصله زمانی هر ۱۵ روز یک‌بار از تمامی کرت‌های آزمایشی نمونه‌گیری تخریبی انجام گرفت. نمونه برداری برای روند تغییرات ماده خشک کل در ۸ مرحله انجام شد.در هر مرحله چهار بوته از هر کرت با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای و به‌صورت تصادفی برداشت شد. پس از قرار دادن نمونه‌ها به مدت ٤٨ ساعت در آون در حرارت ۷۵ نمونه‌ها توزین و یادداشت برداری انجام و ماده خشک بر حسب واحد گرم در مترمربع اندازه‌گیری شد.

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک: به‌منظور تعیین عملکرد نهایی، در مرحله رسیدگی کامل از دو ردیف میانی هر کرت آزمایشی با رعایت اثر حاشیه، ۲ متر مربع برداشت شده و عملکرد بیولوژیک شامل وزن خشک همه اندام‌های بالای سطح خاک، عملکرد دانه بر اساس رطوبت ١٤ درصد تعیین شد. عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بر حسب کیلوگرم در هکتار گزارش شد.

محتوای نشاسته دانه: در آزمایشگاه دانشگاه آزاد ایلام میزان نشاسته دانه‌ی حاصل از محصول نهایی با استفاده از دستگاه NIR و کجلدال (ساخت آلمان مدل Gerhardt) اندازه‌گیری و یادداشت برداری شد. محتوای نشاسته دانه بر حسب واحد میلی گرم بر گرم وزن تر برگ گزارش شد(Pandey et al, 2000).

پرولین: سنجش میزان پرولین نمونه‌ها، با استفاده از روش بیتس (Bates et al., 1973) انجام شد. بدین‌ترتیب که نیم گرم برگ تازه را با استفاده از ازت مایع ساییده و پس از افزودن ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیک ۳ درصد، عصاره حاصل با استفاده از کاغذ واتمن شماره ۱ صاف گردید و در آب یخ نگهداری شد. ۲ میلی‌لیتر از عصاره به لوله آزمایش درب‌دار منتقل و به آن ۲ میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه شد. سپس لوله‌های آزمایش در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از گذشت ۱ ساعت به‌منظور پایان یافتن واکنش، لوله‌های آزمایش به ظرف محتوی آب یخ منتقل شدند. در پایان به هریک از نمونه‌ها ٤ میلی‌لیتر تولوئن اضافه و پس از بستن درب آنها، به شدت تکان داده شد. سپس به مدت نیم‌ساعت به حالت سکون رها شده و پس از آن میزان جذب نوری فاز بالایی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. واحد پرولین بر اساس میکرومول بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد.

فعالیت آنزیم پروتئاز: اندازه‌گیری کمّی فعالیت پروتئاز با روش سنجش اسپکترومتری (Fujiwara et al., 1993) با ضریب خاموشی ۰/۵۷ انجام شد فعالیت آنزیم پروتئاز بر حسب واحد نانو مول بر بذر در دقیقه اندازه‌گیری شد.

فعالیت آنزیم بتا آمیلاز: برای اندازه گیری فعالیت بتا آمیلاز از دو گرم بذرهای استفاده شد. برای تهیه عصاره ابتدا پنج میلی لیترمحلول ٦٠ میلی مولار بافر فسفات (pH= ٦/٨) اضافه شد و سپس به مدت ۱۵ دقیقه سانترفیوژ شدند (با دور ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه). فعالیت آنزیم بتا آمیلاز بر حسب واحد نانو مول بر بذر در دقیقه اندازه‌گیری شد (Sarwar et al., 2017).

فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز: جهت اندازه‌گیری آنزیم آلفا آمیلاز ابتدا ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره تهیه شده در بالا به آن اضافه شده و بعد از ۳۰ دقیقه انکوباسیون در ۳۷ درجه سانتی‌گراد بوسیله ۱ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریدریک ۰/۱ نرمال واکنش را متوقف کرده و

در ادامه یک میلی لیتر از معرف ید به آن اضافه شد. پس از آن محتوی لوله را با آب مقطر به حدود ۱۰ میلیلیتر رسانده و میزان جذب رنگ را با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ٦٢٠ نانومتر خوانده و با نمونه شاهد مقایسه شد. فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز نیز بر حسب واحد نانو مول بر بذر در دقیقه اندازه‌گیری شد (Tajlil et al., 1016).

محاسبات آماری داده‌های این طرح با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.3 و رسم نمودارها با استفاده از برنامه اکسل انجام شد. برای مقایسه میانگین‌داده‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج

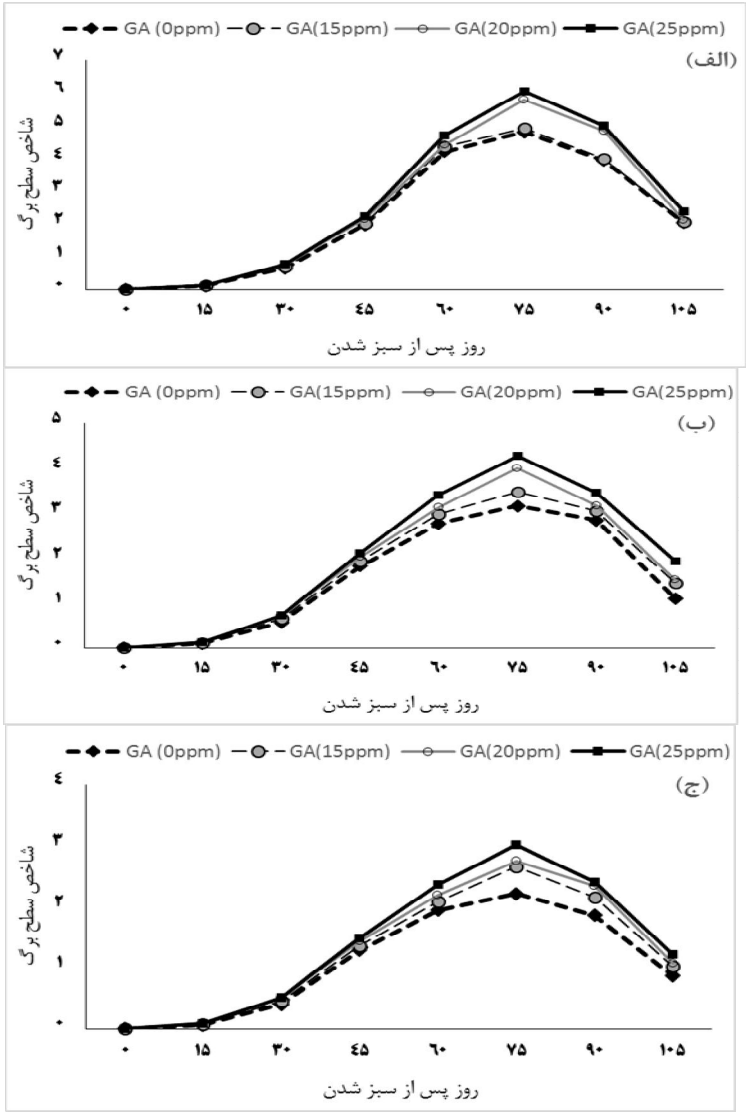
شاخص سطح برگ: نتایج این آزمایش نشان‌دهنده‌ی روند مشابه تغییرات شاخص سطح برگ ذرت در طول فصل رشد، برای تمامی تیمارها بود. به‌طوری‌که با گذشت زمان، شاخص سطح برگ ذرت افزایش یافت و در ادامه، افزایش شاخص سطح برگ روند خطی پیدا کرد. در حدود ۷۵ روز پس از سبز شدن ذرت شاخص سطح برگ به حداکثر مقدار خود رسید و پس از آن به دلیل پیری و ریزش برگ‌ها روند نزولی در پیش گرفت. در ۸۰ پس از کاشت ذرت، تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده گردید. در این مرحله، با اعمال تنش کمبود آب شاخص سطح برگ ذرت کاهش یافت (شکل ۱ الف، ب و ج). محلول‌پاشی با جیبرلین شاخص سطح برگ ذرت را در سطوح مختلف تنش کم‌آبی افزایش داد، به‌طوری که بیشترین شاخص سطح برگ ذرت با محلول پاشی ۲۵ پی پی ام جیبرلین تحت شرایط عدم تنش کم آبی به‌دست آمد (شکل ۱).

جدول ۱: تجزیه واریانس اثر دور آبیاری و هورمون جیبرلین بر شاخص سطح برگ ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (روز پس از کاشت)					
		۱۵	۳۰	٤٥	٦٠	۷۵	۹۰	۱۰۵
تکرار	۲	۱/۱^{ns}	۲/۲۳^{ns}	٦/۷^{ns}	٦/۹۳^{ns}	۱۱/۲^{ns}	۷/۲۳^{ns}	۱۲/٦^{ns}
آبیاری	۲	۲/۲^{ns}	۳/٥٦**	۱۱/۹*	۱٥/۸۷**	۲۳/٤**	٤٥/۳**	٤٥٦*
خطای a	٤	۳/٤	٤/٥٦	۸/۸	۱۲/۳	٦/٤	۱۱/۰٥	۱۲/۸۸
هورمون جیبرلین	۳	٤/٥^{ns}	٦/٦٥^{ns}	۹/۸**	۱۷/۲*	۱٦/۹*	۲۱/٤*	۳۰/۳۰*
آبیاری× هورمون جیبرلین	٦	۳/۳^{ns}	۳/۷٦^{ns}	٥/۷۸^{ns}	۱۱/٦٥^{ns}	۱۲/۹^{ns}	۱/۰٥^{ns}	۱٦/٤^{ns}
خطای آزمایش	۱۸	٥/٥	٤/٥٦	٥/٦٥	٥/۸	٥/۹	۲/۲۸	٥/٦
ضریب تغییرات (درصد)	–	۸/۸	٦/۳	۱۱/٥	۱٥/٤	۱٤/۲	۹/۱	۱٤/۲

*، ** و ^{ns} بترتیب معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد و عدم معنی داری را نشان می دهد.

ماده خشک کل: تجمع ماده خشک ذرت در طول زمان از یک رابطه سیگموئیدی تبعیت کرد. بین تیمارهای مختلف از نظر تجمع ماده خشک ذرت در روزهای ابتدایی، تفاوت چندانی وجود نداشت. از حدود ٤٠ روز پس از سبز شدن اختلاف میان تیمارهای مختلف از لحاظ تغییرات ماده خشک نمود پیدا کرد و در حدود ۹۰ روز پس از سبز شدن به بیشترین مقدار خود رسید و از آن پس روند تقریباً ثابتی را دنبال کرد (شکل ۲). تنش کم آبی موجب کاهش ماده خشک ذرت گردید (شکل ۲ ب و ج). محلول پاشی با هورمون جیبرلین اثرات تنش کم آبی بر ماده خشک ذرت را کاهش داد (شکل ۲ الف، ب و ج).

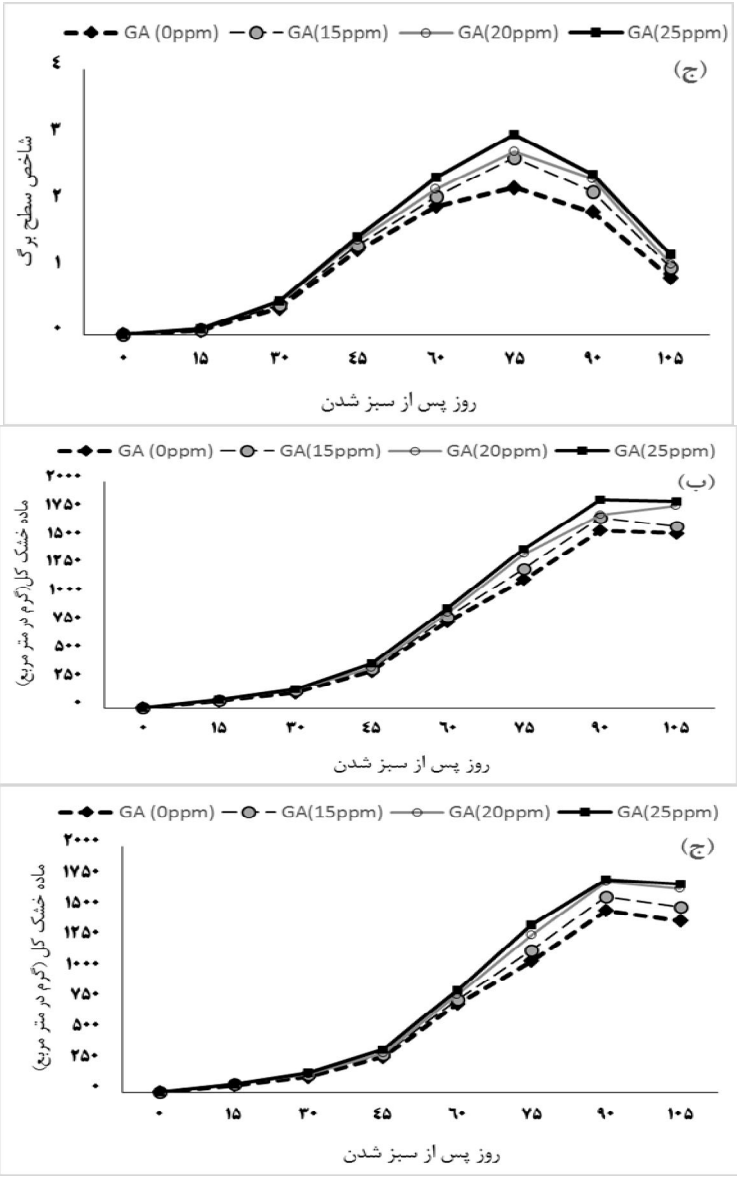


شکل ۱: تأثیر هورمون جیبرلین بر شاخص سطح برگ ذرت تحت شرایط عدم تنش کم‌آبی (الف)، تنش ملایم (ب) و تنش شدید کم‌آبی (ج).

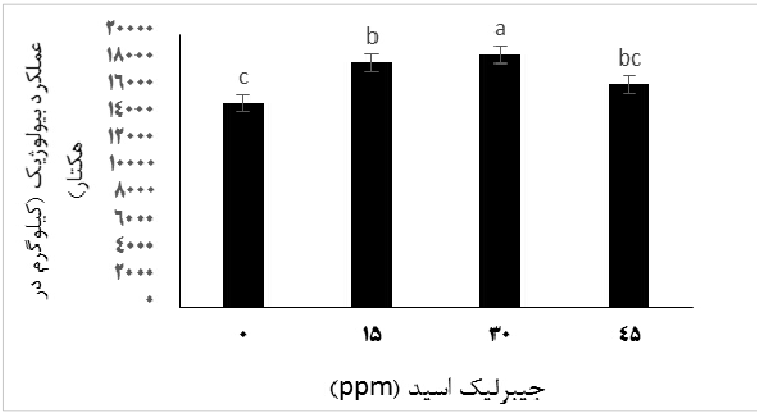
جدول ۱: تجزیه واریانس اثر دور آبیاری و هورمون جیبرلین برماده خشک ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (روز پس از کاشت)						
		۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵
تکرار	۲	۳/۲^{ns}	۷/۴۳^{ns}	۱۳/۴۳^{ns}	۱۷/۳^{ns}	۲۳/۲^{ns}	۳۰/۳^{ns}	۳۱/۵^{ns}
آبیاری	۲	۶/۵^{ns}	۱۰/۶^{ns}	۲۳/۵*	۴۵/۶**	۵۴/۵**	۶۵/۴**	۶۶/۷*
خطای a	۴	۹/۴	۱۲/۴	۱۳/۵	۲۱/۳	۳۶/۶	۳۹/۲	۴۵/۴
هورمون جیبرلین	۳	۱۲/۷۶^{ns}	۱۳/۶۵^{ns}	۲۱/۳**	۴۶/۲*	۵۰/۵*	۵۵/۴*	۶۰/۲۰*
آبیاری× هورمون جیبرلین	۶	۱۰/۳^{ns}	۱۰/۶^{ns}	۲۲۱۳^{ns}	۱۸/۵^{ns}	۲۸/۶^{ns}	۳۲/۳۵^{ns}	۲۸/۴^{ns}
خطای آزمایش	۱۸	۱۳/۶	۱۵/۴	۱۴/۶۵	۱۹/۵	۲۱/۵	۱۹/۷	۳۰/۲
ضریب تغییرات (درصد)	–	۹/۸	۶/۸	۸/۵	۱۱/۴	۹/۲	۶/۸	۱۲/۴

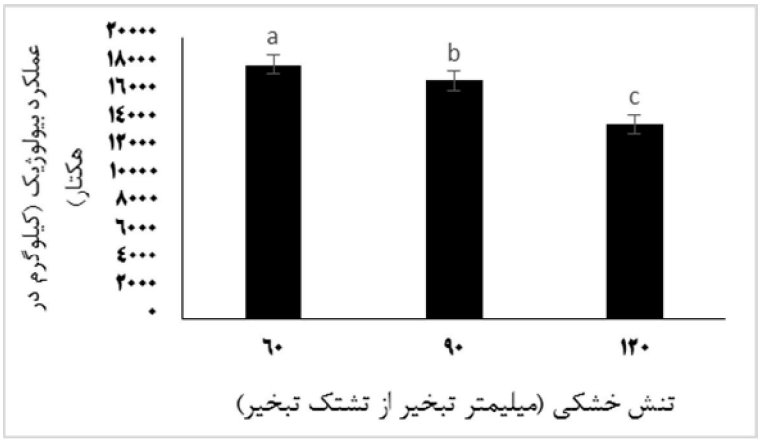
*، ** و ^{ns} بترتیب معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد و عدم معنی داری را نشان می دهد.



شکل ۲: تأثیر هورمون جیبرلین بر ماده خشک ذرت تحت شرایط عدم تنش کم‌آبی (الف)، تنش ملایم (ب) و تنش شدید کم‌آبی (ج).



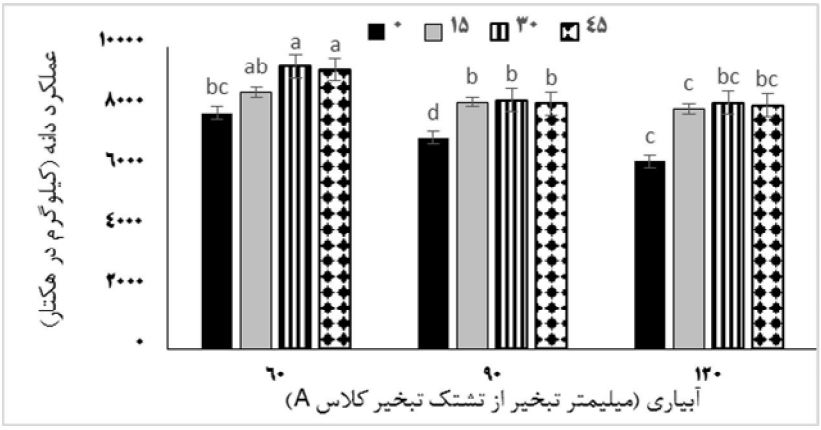
شکل ۳: اثر محلول پاشی با اسید جیبرلیک بر عملکرد بیولوژیک



شکل ٤: اثر دورهای آبیاری بر عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی آبیاری و هورمون جیبرلین تاثیر معنی داری بر روی عملکرد بیولوژیک ذرت دارد ولی اثر متقابل آنها تاثیر معنی‌داری بر روی این صفت نداشت (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیکی در محلول پاشی ۲۰ پی پی ام به مقدار ۱۸٤۵۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که در مقایسه با تیمار عدم محلول پاشی ۲۵/۲۰ درصد بیشتر بود (شکل ۳). نتایج دور آبیاری نیز نشان داد بیشترین عملکرد بیولوژیکی ۱۸۵٤۲ کیلوگرم در هکتار در ٦۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و کمترین آن ۱۳۲٤۲ کیلوگرم در هکتار در ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر مشاهده شد (شکل ٤).

عملکرد دانه: نتایج این تحقیق نشان داد علاوه بر اثرات اصلی، اثر متقابل آبیاری و هورمون جیبرلین بر صفت عملکرد دانه تاثیر معنی داری داشت (جدول ۳). بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب در تیمار ٦۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به همراه مصرف ۲۰ ppm جیبرلیک اسید و ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر بدون مصرف جیبرلیک اسید به میزان ۹٦۵۸/۲ و ۵۷۹۷/۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. همچنین در تمامی سطوح تنش مصرف جیبرلیک اسید موجب افزایش عملکرد دانه ذرت شد (شکل ۵).



شکل ۵: اثرات مقادیر مختلف هورمون جیبرلین بر عملکرد دانه ذرت در سطوح مختلف آبیاری

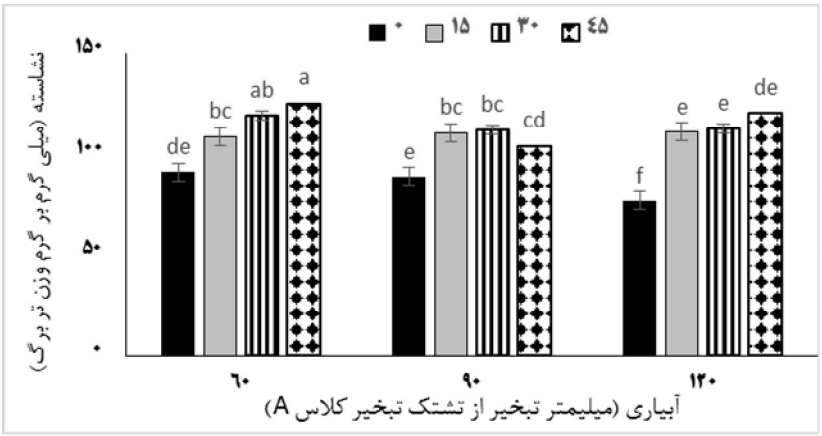
صفات فیزیولوژیک: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات آبیاری بر غلظت نشاسته، پرولین، آلفا آمیلاز، بتا آمیلاز و پروتئاز معنی‌دار بود. اثر محلول پاشی با هورمون جیبرلین تأثیر معنی‌داری بر غلظت نشاسته، پرولین و پروتئاز داشت. همچنین اثرات متقابل تیمارها بر غلظت پرولین، نشاسته، آلفا آمیلاز و پروتئاز معنی دار گردید (جدول ۳).

جدول ۳: تجزیه واریانس اثر دور آبیاری و هورمون جیبرلین بر صفات ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	نشاسته	پرولین	آلفا آمیلاز	بتا آمیلاز	پروتئاز
تکرار	۲	۲۱۶۸۷۱۲^{ns}	۱۵۳۴۷۸۵^{ns}	۴۰^{ns}	۶/۹۳^{ns}	۱۲/۳۸*	۰/۵۳^{ns}	۱۱/۶۳^{ns}
آبیاری	۲	۵۲۱۴۵۳۱*	۱۶۲۸۵۸۵۵**	۲۲۷۷*	۱۳۷۵/۹۲**	۱۵/۴۲**	۴۵/۴۱**	۱/۱۴*
خطای a	۴	۲۰۸۶۲۰۹	۱۶۸۲۶۹۷	۲۷۱	۷/۰۱	۳/۱۳	۸/۰۵	۶/۹۶
هورمون‌جیبرلین	۳	۱۱۳۵۱۹۱۹**	۲۷۳۱۱۹۹۶**	۱۱۹۱**	۱۳/۴۱*	۰/۹۸^{ns}	۱/۰۴^{ns}	۹/۰۴*
آبیاری×هورمون جیبرلین	۶	۱۲۸۵۰۷۰^{ns}	۱۹۰۰۰۹۷*	۷۲۱**	۱۹/۶۵*	۱۱۵/۳۹^{ns}	۱/۰۵^{ns}	۱۳/۰۳**
خطای آزمایش	۱۸	۴۵۹۹۸۳	۱۸۸۵۸۱۶	۸۷	۳/۶۰	۲/۴۸	۲/۲۸	۲/۸۶
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۰/۸	۶/۶	۱۳/۶۵	۱۷/۱۲	۱۵/۹۵	۱۱/۲۴	۱۶/۲۷

*، ** و ^{ns} بترتیب معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد و عدم معنی داری را نشان می‌دهد.

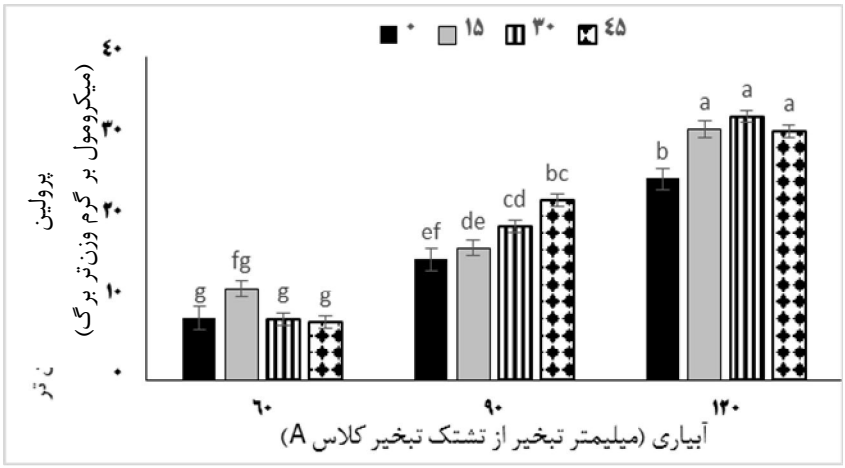
میزان نشاسته: با اعمال تنش کم آبی، غلظت نشاسته در دانه ذرت کاهش یافت. بیشترین غلظت نشاسته (۹۲ میلی‌گرم در گرم دانه) با محلول‌پاشی به مقدار ۲۵ پی‌پی‌ام هورمون جیبرلین به‌دست آمد، که با کاربرد ۲۰ پی‌پی‌ام هورمون جیبرلین اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار نشاسته (۶۹ میلی‌گرم در گرم دانه) در تیمار عدم محلول پاشی با هورمون جیبرلین تحت شرایط تنش شدید کم آبی مشاهده گردید (شکل ۶).



شکل ۶: اثرات مقادیر مختلف هورمون جیبرلین بر غلظت نشاسته ذرت در سطوح مختلف آبیاری

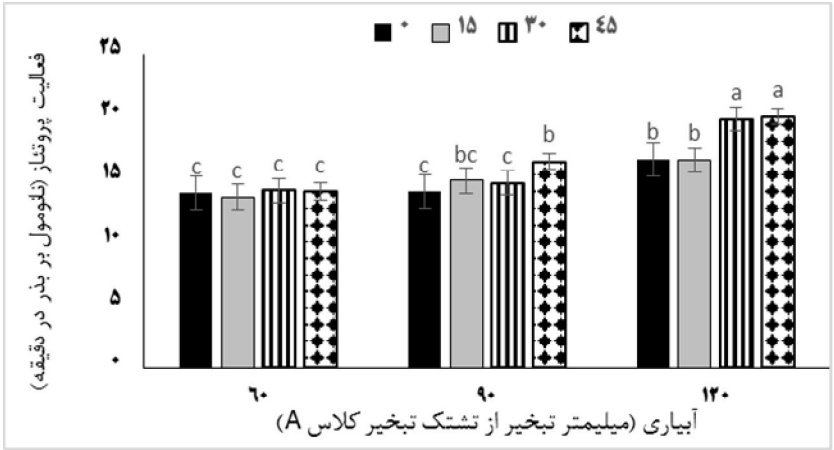
میزان پرولین: با اعمال تنش خشکی غلظت اسید آمینه پرولین در برگ ذرت افزایش یافت. هورمون جیبرلین در شرایط عدم تنش خشکی (۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر) تأثیر معنی‌داری بر غلظت

پرولین برگ ذرت نداشت. اما در شرایط تنش خشکی باعث افزایش غلظت پرولین گردید. کاربرد ۲۰ و ۲۵ پی پی ام جیبرلین در شرایط تنش کم آبی متوسط (۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر) غلظت پرولین برگ در مقایسه با تیمار شاهد (عدم مصرف جیبرلین) به ترتیب به میزان ۳۶ و ۵۰ درصد افزایش داد. در شرایط تنش خشکی شدید (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر) غلظت پرولین با کاربرد ۲۰ و ۲۵ پی‌پی‌ام جیبرلین به‌ترتیب ۳۲ و ۲۱ درصد بیشتر از عدم مصرف جیبرلین بود (شکل ۷). در شرایط تنش خشکی شدید غلظت پرولین ۳ برابر شرایط عدم تنش خشکی در تیمار شاهد بود.



شکل ۷: اثرات مقادیر مختلف هورمون جیبرلین بر غلظت پرولین برگ ذرت در سطوح مختلف آبیاری

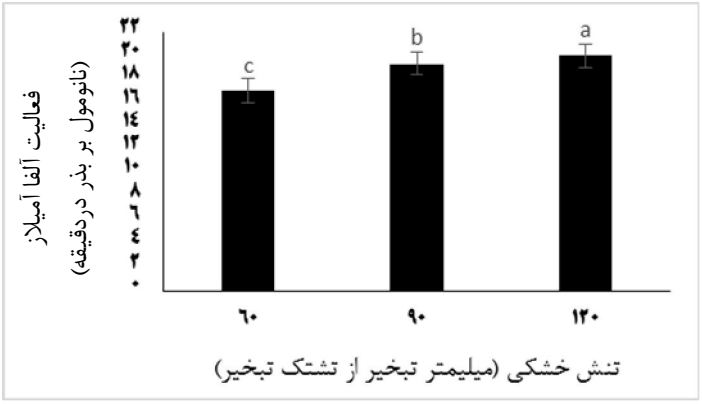
فعالیت آنزیم پروتئاز: تحت شرایط عدم تنش کم آبی، محلول پاشی با هورمون جیبرلین تأثیر معنی داری بر فعالیت آنزیم پروتئاز نداشت. اما در شرایط تنش متوسط و شدید کم آبی، محلول پاشی با هورمون جیبرلین غلظت آنزیم پروتئاز را افزایش داد. تحت شرایط تنش شدید کم آبی، بین محلول پاشی ۲۰ و ۲۵ اختلاف معنی داری وجود نداشت و به طور میانگین، ۳۴/۳۵ درصد غلظت آنزیم پروتئاز را در مقایسه با عدم محلول پاشی افزایش دادند (شکل ۸).



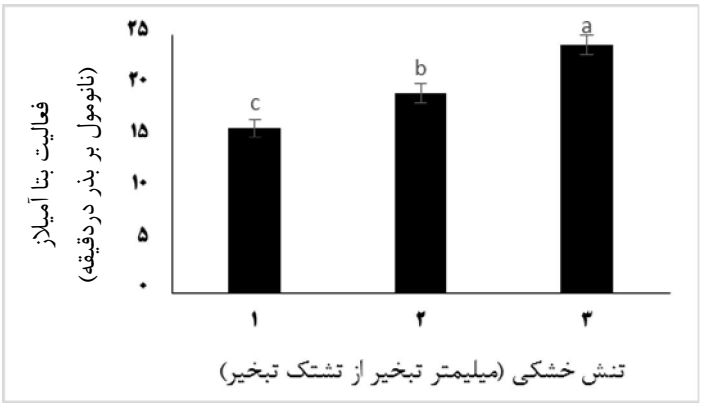
شکل ۸: اثرات مقادیر مختلف هورمون جیبرلین بر پروتئاز در سطوح مختلف آبیاری

فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز: نایج نشان داد که فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز تحت تاثیر معنی دار تنش خشکی قرار گرفت ولی سایر تیمارها تاثیر معنی داری بر این صفت نداشتند (جدول ۵). در تیمار تنش خشکی ۱۲۰ میلیمتر تبخیر از تشتک تبخیر بیشترین فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز به مقدار ۱۹/۳ نانومول بر بذر در دقیقه حاصل شد که ۱۲ درصد بیش از تیمار تنش خشکی ۶۰ میلیمتر تبخیر از تشتک تبخیر بود (شکل ۹).

فعالیت آنزیم بتا آمیلاز: نایج نشان داد که فعالیت آنزیم بتا آمیلاز تحت تاثیر معنی دار تنش خشکی قرار گرفت ولی سایر تیمارها تاثیر معنی داری بر این صفت نداشتند (جدول ۵). در تیمار تنش خشکی ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر بیشترین فعالیت آنزیم بتا آمیلاز به مقدار ۲۳/۲ نانومول بر بذر در دقیقه حاصل شد که ۱۹ درصد بیش از تیمار تنش خشکی ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر بود (شکل ۱۰).



شکل ۹: اثر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز



شکل ۱۰: اثر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم بتا آمیلاز

بحث

جیبرلیک اسید بر شاخص سطح برگ اثر مثبت معنی داری داشت و غلظت بالاتر جیبرلیک اسید می‌تواند برای کشت ذرت جهت دستیابی به شاخص سطح برگ مطلوب مناسب باشد. حفظ شاخص سطح برگ در یک حد مطلوب تحت غلظت‌های مختلف اسید بیانگر این است که اسید می تواند فرایندهای فیزیولوژی گیاه را جهت افزایش تحمل به خشکی و توسعه برگ بهبود بخشد. عنوان شده است که بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ بترتیب در تیمار محلول پاشی با اسید جیبرلیک و تیمار صفر پی پی ام بود (Tohidi and Fallahi, 2016). عنوان کردند

بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ به ترتیب به تیمار آبیاری مطلوب و تنش شدید خشکی اختصاص داشت (Majdam and Modhej, 2011). کاهش رطوبت شاخص سطح برگ را کاهش می دهد. محققان گزارش کردند که کم آبیاری باعث کاهش شاخص سطح برگ ذرت می شود (Bahamin et al, 2019; Bahamin et al, 2020). در این مطالعه، افزایش دور آبیاری از ۹۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر به ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر منجر به کاهش شدید جذب آب شده و در نتیجه توسعه سلولی برگ تحت تأثیر قرار گرفت (Pandey et al., 2000).

سرعت رشد گیاه که میزان تغییرات ماده خشک در واحد سطح و زمان را بیان می نماید به طور موثر تحت تأثیر کمبود آب قرار می گیرد. از آنجا که سطح برگ عامل مهمی در جذب کربن می باشد در شرایط دور آبیاری ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر، به دلیل تغییر در سطح برگ، سرعت رشد محصول نیز تغییر می کند. محققان بیان داشتند علت افزایش تولید ماده خشک در شرایط آبیاری مطلوب، گسترش بیشتر و تداوم سطح برگ بود که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی کافی جهت استفاده هر چه بیشتر نور دریافتی و تولید ماده خشک گردید (Osborne et al., 2000). محققان بیان نمودند که در اثر تنش آبی، مقاومت مزوفیلی و روزنه‌ای افزایش می‌یابد که این امر منجر به کاهش ورود دی اکسید کربن به درون گیاه می گردد و تحت تأثیر این حالت فتوسنتز ظاهری گیاه کاهش یافته و بنابراین وزن خشک کاهش می‌یابد. به‌طورکلی افزایش تجمع ماده خشک در دور آبیاری مطلوب نشان دهندهٔ توانایی سایه انداز گیاهی در استفاده از عوامل محیطی نظیر نور و مواد غذایی برای تولید مادهٔ خشک می‌باشد (Alizadeh et al., 2007).

از آن جا که برگ‌ها اندام اصلی فتوسنتز کننده درگیاه می‌باشند، لذا افزایش شاخص سطح برگ موجب ایجاد مبدأ فیزیولوژیکی کافی جهت استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی و تأمین مواد پرورده لازم برای پر کردن دانه و افزایش عملکرد می‌گردد. کاهش شدید عملکرد و اجزای آن در تیمار تنش شدید را می‌توان به علت کاهش شدید فتوسنتز و توقف کلروفیل سازی، کاهش فعایت آنزیم‌های احیا کننده نیترات و افزایش آنزیم‌های هیدرولیز کننده مثل آمیلاز دانست. گزارش شده است که محلول پاشی با اسید جیبرلیک باعث افزایش عملکرد دانه ذرت می‌گردد (Tohidi and Fallahi, 2016). کاربرد اسید جیبرلیک مانع از اکسیداسیون اکسین می‌گردد و باعث افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی می‌گردد و به این طریق می‌تواند بر رشد تأثیر بگذارد و عملکرد دانه را افزایش دهد (Faridoddin et al., 2003). در گزارشی مشابه عنوان شد محلول پاشی با اسید جیبرلیک باعث افزایش عملکرد بیولوژیک ذرت می‌گردد (Tohidi and Fallahi, 2016). علت افزایش تولید ماده خشک در شرایط آبیاری نرمال، افزایش میزان فتوسنتز بود که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی کافی جهت استفاده هر چه بیشتر نور دریافتی و تولید ماده خشک گردید.

تنش رطوبتی با کاستن از جذب مواد غذایی و آب بر رشد و نمو تأثیر نموده، برگ ها کوچک، ارتفاع بوته‌ها کاهش و عملکرد محصول کاهش می‌یابد. آن‌ها دلیل کاهش وزن خشک اندامهای هوایی در شرایط تنش خشکی را کاهش سطح برگ دانستند که باعث کاهش دریافت نور و میزان فتوسنتز می‌شود. همچنین کاهش میزان فتوسنتز به علت بسته شدن روزنه ها تحت شرایط تنش خشکی را به عنوان یکی از عوامل مهم کاهش میزان تولید ماده خشک در گیاهان مطرح کرده‌اند (Bahamin et al, 2019). پیش تیمار کردن بذر با هورمون های رشد گیاهی نه تنها

جوانه زنی و سرعت سبز شدن، بلکه رشد و عملکرد نهایی گیاه را تحت شرایط نرمال و تنش افزایش می-دهد. Dolatabadian و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که جیبرلیک اسید می‌تواند نقش مهمی در ایجاد مقاومت به تنش‌های محیطی ایفا کند.

ترکیب عمده دانه ذرت را نشاسته تشکیل می‌دهد و تا حدودی می‌توان گفت که تمام استفاده صنعتی از ذرت بر مبنای نشاسته موجود در آن است. در شرایط تنش نشاسته به قند محلول تبدیل می‌شود بر این اساس طبیعی به نظر می‌رسد که نشاسته کاهش پیدا کند. جیبرلین با تغذیه شیره سلولی از طریق هیدرولیز نشاسته به قند، سبب کاهش پتانسیل آب در سلول شده و موجب ورود آب بیشتر به داخل سلول و حجیم شدن آن می‌گردد (Dolan and Davies, 1992).

تنش خشکی سبب افزایش میزان پرولین می شود. افزایش میزان پرولین با افزایش میزان تنش خشکی توسط بسیاری از محققان گزارش شده است(Ghaffari et al., 2019; Karami Chame et al., 2016). دیگر محققان نیز گزارش کردند اسید جیبرلیک باعث افزایش پرولین در گیاه ذرت و بهبود شرایط رشد گیاه می گردد(Hu et al., 2017; Al-Shaheen et al., 2016).

در این بررسی بیشترین فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و بتا آمیلاز در بالاترین سطح تنش خشکی حاصل شد. آنزیم آلفا آمیلاز از آنزیم‌های حیاتی در متابولیسم کربوهیدرات در فرایند جوانه زنی است که فعالیت آن تحت تاثیر عوامل محیطی قرار می گیرد. افزایش فعالیت آلفا آمیلاز سبب هیدرولیز نشاسته می شود در این شرایط فتوسنتز و تجمع کربوهیدرات‌ها در برگ کاهش می یابد. محققان بسیاری گزارش کردند که تنش سبب کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز می شود (Dkhil and Denden, 2010; Oliveira-Neto et al., 1998). تنش خشکی باعث القای شدید در فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده نشاسته (آمیلاز) و ساکارز (اینورتاز و ساکارزسنتاز) میگردد، بنابراین میزان نشاسته و ساکارز به شدت کاهش می‌یابد (Tajlil et al., 2014; Keller and Ludlow, 1993).

جیبرلین‌ها شامل گروهی از هورمون‌ها هستند که بیشترین دخالت مستقیم را در کنترل و تسهیل جوانه‌زنی بذر دارند گزارش‌های متعددی وجود دارد که استفاده از جیبرلین سبب افزایش ساخت RNA ریبوزومی، تولید بیشتر DNA میتوکندریایی و افزایش فعالیت آلفا آمیلاز و بتا آمیلاز و بهبود جوانه‌زنی دانسته‌اند (Bradford, 1986; Powell,1988; McDonald,1999).

محققان میزان فعالیت دو آنزیم کاتالاز و سوپر اکسید را در دو گونه خزه مقاوم و حساس به خشکی در ضمن تنش خشکی بررسی کردند، نتایج این آزمایش نشان داد که در گونه مقاوم به خشکی خزه، افزایش تنش خشکی سبب کاهش پر اکسیداسیون چربی‌ها و در عوض افزایش فعالیت دو آنزیم مذکور می شود و درست عکس نتایج در مورد خزه حساس به خشکی صادق است. تنش آبی موجب کاهش عملکرد تر، عملکرد خشک و عملکرد اسانس شده است زیرا وقتی گیاه با خشکی رو به رو شود روزنه‌هایش بسته یا نیمه بسته می شوند و این موجب کاهش جذب دی اکسید کربن می‌شود و از طرفی گیاه مقدار زیادی انرژی برای جذب آب هزینه می‌کند و از سویی دیگر برای کاهش تبخیر و تعرق سطح برگ را هم کاهش می‌دهد و این خود منجر به کاهش تولید مواد فتوسنتزی می‌شود (Sirousmehr et al, 2014). جمیع این اتفاقات که در اثر تنش رطوبتی در گیاه بروز می‌کنند، موجب کاهش عملکرد می‌شوند (Farooq et al, 2009).

کاهش سنتز پروتئین‌ها در شرایط تنش خشکی و یا تجزیه پروتئین‌ها به علت افزایش فعالیت آنزیم‌های

پروتئاز ممکن است دلیل این موضوع باشد (Ghorbanli and Niakan, 2005). پژوهشگران اعلام نمودند که تنش خشکی، بیان ژن‌های کدکننده پروتئازهای درون سلولی را القا کرده و سبب تجزیه پروتئین‌ها و از جمله پروتئین‌های محلول برگ‌ها و تحرک مجدد نیتروژن و در نتیجه سنتز مواد محلول سازگار جهت تنظیم اسمزی می‌شود (Feller, 2004). بر همین اساس کاهش غلظت پروتئین‌های محلول در شرایط تنش خشکی با کاهش سنتز آنها و همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین‌های محلول در ارتباط می‌باشد .وقوع تنش رطوبتی وضعیت پلی‌ریبوزوم‌های مؤثر در ساخته شدن پروتئین‌های بافت گیاهی را تغییر می‌دهد. در شرایط کمبود رطوبت تعداد پلی‌ریبوزوم‌ها کاهش یافته و میزان آن بستگی به گونه و نیز اندام گیاهی متفاوت می‌باشد (Scott et al., 1979).

Heing و همکاران (۲۰۰٤) نشان دادند در برگ‌های گونه لوبیا بین میزان کاهش پروتئین محلول کل، فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین‌ها و حساسیت گیاهان به تنش خشکی رابطه مستقیمی وجود دارد. آنها گزارش کردند که در رقم حساس لوبیا کاهش میزان پروتئین محلول کل در اثر تنش خشکی بیش از ارقام مقاوم به تنش خشکی است. در صورتی که فعالیت آنزیم‌های تخریب کننده پروتئین‌ها در رقم حساس بیش از ارقام مقاوم می‌باشد. همچنین گزارش شده در یونجه تحت تنش کم آبی کاهش پروتئین محلول کل همراه با افزایش فعالیت آنزیم‌های پروتئاز بود (Zeid and Shedeed, 2006).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که میزان نشاسته در مقایسه با پرولین در شرایط تنش کاهش پیدا کرد و هنگامی که تنش بیشتری اتفاق افتاد میزان پرولین در گیاه ذرت افزایش پیدا کرد. از طرف دیگر تنش خشکی قادر به ایجاد واکنش متفاوت از نظر میزان فعالیت آنزیم‌های آلفا آمیلاز و بتاآمیلاز و پروتئاز گردید و به نظر میرسد که فعالیت این آنزیم به شدت تنش بستگی داشته است. از طرفی عملکرد دانه و بیولوژیک ذرت تحت تنش خشکی کمتر از حالت بدون تنش مشاهده گردید. به طور کلی می توان اظهار کرد کاربرد جیبرلین می تواند شرایط منفی حاصل تنش خشکی را کاهش دهد و فعالیت‌های آنزیمی گیاه را بهبود ببخشد.

References

Akbari, J. and Maleki, A. (2018). The effect of ascorbic acid and salicylic acid foliar on vegetative properties and yield and yield components of *Vigna unguiculata* L. under drought stress. Applied Research of Plant Ecophysiology. 4 (2): 159-180.

Alizadeh, A. Majidi. A. Nadian, H. Noormohammadi, GH. and Ameriyan, M. (2007). Effect of drought stress and different nitrogen levels on phenology and growth of maize. Agricultural Sciences and Natural Resources. 4 (5): 21-34.

Al-Shaheen, M.R. and Soh, A. (2016). Effect of proline and Gibberellic Acid on the qualities and qualitative of Corn (*Zea maize* L.) under the influence of different levels of the water stress. Intentional Journal science Research. 6 (4)*:* 752-56.

Ashraf, M. Karim, F. and Rasul, E. (2002). Interactive effects of gibberellic acid (GA) and salt stress on growth, ion accumulation and photosynthetic capacity of two spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. Journal of Plant Growth Regulator. 36(1): 49- 59.

Atri, M. (1996). Plants organogenesis and morphogenesis. Jahad Daneshghahi Urmia Press. (In Persian).

Bahamin, S. Kocheki, A. Nasiri Mahallati, M. Beheshti, S.A. (2019). Effect of Biological and Chemical Fertilizers of Nitrogen and Phosphorus on Quantitative and Qualitative Function of Maize under Drought

Conditions. Journal of Environmental Stresses in Crop Cciences. 11(4): 863-872.

Bates, L.S. Waldren, R.D. and Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free prolin for water-stress studies. Plant and Soil. 39: 205-207.

Bradford, K.J. (1986). Manipulation of seed water relation via osmotic priming to improve germination under stress conditions. Horticultural Science. 21:1105-1111.

Dkhil, B.B. and Denden, M. (2010). Salt stress induced changes in germination, sugars, starch and enzyme of carbohydrate metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench seeds. African Journal of Agricultural Research. 5(12): 1412-1418.

Dolan, M.S. Dowdy, R.H. Voorhees, W.B. Johnson, J.F. and Bidwellschradar, A.M. (1992). Corn phosphorus and potassium uptake in response to soil compaction. Agronomy Journal. 84 (4):639-642.

Faridoddin, Q. Hayat, S and Ahmad, A. (2003). Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxilation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica juncea*. Photosynthetica. 41: 281-284.

Farooq, M. Gogoi, N. Barthakur, S. Baroowa, B. Bharadwaj, N. Alghamdi, S.S. Siddique, K.H.M. (2016). Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. Journal of Agronomy and Crop Science. 203(2):81-102.

Farooq, M. Wahid, A. Kobayashi, N. Fujita, D. and Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. In Sustainable agriculture, Springer, Dordrecht. pp. 153-188.

Fathi, A. Fernia, A. and Maleki, A. (2016). The Effect of Nitrogen and Phosphorus Fertilizers on Vegetative Properties, Dry Matter and Corn Function. Applied Field Crops Research. 29 (1): 7-17.

Fathi, A. and Tari, D.B. (2016). Effect of Drought Stress and its Mechanism in Plants. International Journal of Life Sciences. 10(1): 1-6.

Feller, U. (2004). Proteolysis. In: Plant Cell Death Processes. Ed. Elsevier. 107-123.

Fujiwara, N. Masui, A. and Imanaka, T. (1993). Purification and properties of the highly thermostable alkaline protease from an alkaliphilic and thermophilic *Bacillus* sp. Journal of Biotechnology. 30(2):245-256.

Ghaffari, H. Tadayon, M.R. Nadeem, M. Cheema, M. and Razmjoo, J. (2019). Proline-mediated changes in antioxidant enzymatic activities and the physiology of sugar beet under drought stress. Acta Physiologiae Plantarum. 41(2): 23-31.

Ghorbanli, M. and M. Niakan. (2005). Effect of drought stress on soluble suger, protein, proline, phenolic compound contents and reductase enzyme activity in Gorgan3 soybean cultivar. Journal of Sciense (Tteacher Training University). 5 (2): 538-550.

Gomes-Filho, E. Enéas-Filho, J. and Tarquinio Prisco, J. (1998). Effect of NaCl salinity on the expression of a cotyledonary a - amylase from Vigna unguiculata. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal. 10 (2): 97-100

Hedden, P. and Proebsting, W.M. (1999). Genetic analysis of gibberellin biosynthesis. Plant Physiology. 119(2): 365-370.

Heing, B. Ugrinovic, K. Sustar-Vozlic, J. and Kidric, M. (2004). Different classes of proteases are involved in the response to drought of Phaseolus vulgaris L. cultivars differing in sensitivity. Journal Plant Physiology. 161 (5): 519-530.

Hu, S. Sanchez, D.L. Wang, C. Lipka, A.E. Yin, Y. Gardner, C.A. and Lübberstedt, T. (2017). Brassinosteroid and gibberellin control of seedling traits in maize (*Zea mays* L.). Plant Science. 263: 132-141.

Jaberi, H. Lotfi, B. Jamshidnia, T. Fathi, A. Olad, R. and Abdollahi, A. (2015). Survey of yield of winter canola cultivars under drought stress on the yield at four different phonological stages. Scientia. 12(3): 144-148.

Karami Chame, S. Khalil-Tahmasbi, B. ShahMahmoodi, P. Abdollahi, A. Fathi, A. Seyed Mousavi, S.J. Bahamin, S. (2016). Effects of salinity stress, salicylic acid and Pseudomonas on the physiological characteristics and yield of seed beans (*Phaseolus vulgaris*). Scientia. 14(2): 234-238.

Keller, F. and Ludlow, M.M. (1993). Carbohydrates metabolism in drought–stressed leaves of pigeonpea (*Cajanus cajana*). Journal of Experimental Botany. 44 (8): 1351-1359.

Kumar, S. Saxena, S. N. Mistry, J.G. Fougat, R.S. Solanki, R.K. and Sharma, R. (2015). Understanding *Cuminum cyminum*: An important seed spice crop of arid and semi-arid regions. International of Journal Seed Spices. 5(2): 1-19.

Majdam, M. and A, Modhej. (2011). Effect of

nitrogen levels on water use efficiency, yield and yield components of corn rootstock under optimum conditions and drought stress. Iranian Journal of Agricultural Research. 10 (3): 554-546.

McDonald, M.B. (1999). Seed deterioration: Physiology, repair and assessment. Seed Science Technol. 27: 177-237.

Omena-Garcia, R.P. Martins, A. O. Medeiros, D.B. Vallarino, J.G. Ribeiro, D.M. Fernie, A.R. and Nunes-Nesi, A. (2019). Growth and metabolic adjustments in response to gibberellin deficiency in drought stressed tomato plants. Environmental and Experimental Botany. 159: 95-107.

Osborne, S.L. Schepers, J.S. Francis, D.D. and Schlemmer, M.R. (2002). Use of spectral radiance to in season biomass and grain yield in nitrogen and water stressed corn. Crop Science. 42: 165-171.

Pandey, R.K. Maranville, J.W. and Chetima, M.M. (2000). Deficit irrigation and nitrogen effect on maize in a sahelian environment. Shoot growth. Agric Water Manage. 46: 15-27.

Powell, A.A. (1998). Seed improvement by selection and invigoration. Sciense Agricultural Piracicaba. 55:126-133.

Sarwar, N. Farooq, O. Mubeen, K. Wasaya, A. Nouman, W. Ali, M.Z. and Shehzad, M. (2017). Exogenous Application of Gibberellic Acid Improves the Maize Crop Productivity Under Scarce and Sufficient Soil Moisture Condition. Cercetari Agronomice in Moldova. 50(4): 65-73.

Scott, N. S. Munns, R. and Barlow, E.W.R. (1979). Polyribosome content in young and egged wheat leaves subjected to drought. Journal Experiment Botany. 30: 905- 911.

Tajlil, A.H. Pazoki, A. Eradatmand Asli, D. (2014). Effects of seed priming by mannitol and zinc sulfate on biochemical parameters and seed germination of chickpea. International Journal of Farming and Allied Sciences. 3: 294-298.

Tohidi, M. Fallahi, R. (2016). Evaluation of yield and yield components of corn with gibberellic acid solution. Ecophysiology of crops.10 (3): 656-645.

Zeid, I.M. and Shedeed, Z.A. (2006). Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress. Biology Plantarum. 50 (4): 635-640.