بررسی تاثیر هگزاکونازول در رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی گیاه ذرت دانه ای رقم KSC_{704}

Effect of Hexaconazole application foliar and different irrigation regimes on quantitative , qualitative and biochemical characteristics in grain corn (*Zea Mays* L.) K.S.C $_{704}$.

عاطفه دهقانی[۱]، محمد نصری[۲*]، میثم اویسی[۱]

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین- پیشوا، ورامین، تهران، ایران.
۲- مرکز تحقیقات فنآوری‌های نوین تولید غذای سالم، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، تهران، ایران.

*نویسنده مسوول مکاتبات: Dr.nsri@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۵ تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۱۱

چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی هگزاکونازول بر عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی ذرت دانه‌ای رقم KSC_{704} در شرایط قطع آبیاری، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای اصلی آزمایش عبارتند از: S_0 = آبیاری معمول S_1 = قطع آبیاری در مرحله ساقه دهی S_2= قطع آبیاری در مرحله گلدهی S_3 = قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و تیمارهای فرعی تحقیق شامل: M_0 = شاهد (عدم کاربرد) M_1 = ۲۵ میلی‌گرم در لیتر M_2= ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود. نتایج حاصل نشان داد قطع آبیاری موجب کاهش عملکرد دانه گردید اما محلول‌پاشی هگزاکلونازول باعث افزایش صفت ذیل شد. همچنین محلول‌پاشی ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر هگزاکلونازول باعث افزایش معنی‌دار آنتی اکسیدانت‌های سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز شد و میزان بیومارکر تخریب مالون دی آلدئید، دی تیروزین و دی هیدروکسی گوآنوزین را کاهش داد و از طریق تغییرات هورمونی موجب افزایش تحمل خشکی در ذرت گردید.

واژگان کلیدی: ذرت، قطع آبیاری، محلول پاشی هگزاکونازول، عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی.

مقدمه

کم آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشد. کشور ایران با متوسط نزولات آسمانی ۲۴۰ میلی‌متر در سال در زمره این منـــاطق طبقه‌بندی می‌شود. به‌دلیل کمی ریزش‌های جوی و نامناسب بودن پراکنش زمانی و مکانی باران در ایران، کشور ما در زمره کشورهای خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌شود. در این مناطق آب عامل اصلی محدودکننده تولیدات گیاهی است. این محدودیت باعث شده است که تولید خالص گیاه کاهش یابد (کافی و همکاران، ۱۳۸۹). از آنجا که در دسترس بودن آب از مهم‌ترین عاملی است که محدوده جغرافیایی و میزان تولید گیاهان را مشخص می‌کند (Walton *et al*., 2002)، پاسخ و سازگاری گیاهان با چنین شرایطی، بسیار پیچیده و تا حد زیادی متغیر است. گیاهان روش‌هایی به کار می‌برند تا به تحمّل در مقابل خشکی دست یابند. این روش‌ها شامل تغییراتی در فرآیندهای متابولیکی، تغییرات ساختـــار غشای ایجاد ژن‌های ویژه (Yamaguchi *et al*., 2002) و تولید متابولیت‌های ثانویه می‌باشد (Shinozaki and Yamagunchi–shinozaki, 2002).

تنش رطوبتی می‌تواند بسیاری از جنبه‌های سوخت و ساز و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (De and Kar, 2008). گزارش‌های زیادی مبنی بر تأثیر کمبود آب از چند نوبت تا تنش‌های شدید در رابطه با مختل‌شدن فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان و تغییر در سوخت و ساز کربوهیدرات‌ها و نیتروژن، تغییر در ساختمان پروتئین‌ها و فعالیت آنزیم‌ها، تجمع پرولین و کاهش تشدیدکننده‌های رشد وجود دارد (Singh and Patal, 2006) و این تغییرات فیزیولوژیکی در نهایت منجر به تغییرات مورفولوژیکی در بذر، گیاهچه، برگ، ارتفاع گیاه و ... می‌گردد. در طی دوران تنش آبی، وضعیت آب درون سلولی یک نقش کلیدی را در فعال کردن این سازو کارهای دفاعی بازی می‌کند در رابطه با فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز گزارشات متناقضی منتشر شده است. در برخی موارد در اثر تنش کم آبی فعالیت این آنزیم افزایش و در برخی موارد دیگر کاهش می‌یابد (Navari-Izzo *et al*., 2013). به‌عنوان مثال در گندم و جو که در شرایط تنش کمبود آب قرارگرفته بودند میزان فعالیت این آنزیم افزایش یافت اما در آفتابگردان کاهش فعالیت دیده شد (Semirnoff and Cumbes., 2008). فعالیت آنزیم کاتالاز تأثیر کمـــــی از تنش کمبود آب می‌پذیرد، اما با ادامه تنش و افزایش آن، میزان فعالیت کاهش می‌یابد (Buckland *et al*., 2011). دلیل این کاهش ناشی از کاهش سنتز پروتئین‌ها در اثر تنش کمبود آب است. اگر سنتز پروتئین کاهش یابد برگشت کاتالاز در نور به سرعت انجام می‌شود (Semirnoff and Cumbes., 2008). کاتالاز یک آنزیم بزرگ نیست و به از کار انداختن نوری و تخریب بسیار حساس است (Foyer *et al*., 2008). تنش خشکی می‌تواند منجر به تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول‌ها گردد و این رادیکال‌ها می‌توانند به‌طور مستقیم به غشای چربی‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه زده و با غیرفعال نمودن فعالیت آنزیم‌های متابولیکی منجر به مرگ سلولی شوند (Ben Amor *et al*., 2007). تنش اکسیداتیو در هنگام تنش خشکی و افزایش رادیکال‌های آزاد یا کاهش دفاع آنتی اکسیدانتی منجر به آسیب بافت‌ها، لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود و غلظت بیومارکرهای چون مالون دی آلدئـید، دی‌تیروزین و دی هیدروکسی گوآنوزین افزایش می‌یابد (قربانی قوژدی، ۱۳۸۴). با این حال واکنش گیاهان به تنش خشکی کاملاً متفاوت بوده و به شدت تنش، دوام تنش و به مرحله‌ای از رشد گیاه که تنش به وقوع پیوسته است، بستگی دارد (Chaves *et al*., 2003). نسبت بین آنزیم‌هایی نظیر سوپراکسیددیسموتاز و اسید اسکوربات با بیومارکرهایی مانند مالون‌دی‌آلدئید، دی هیدروکسی گوآنوزین می‌تواند در برقراری تحمل به خشکی مؤثر باشد هرچه این نسبت بیشتر باشد تحمل بیشتر است (Quartacci and Dalla, 2000). به منظور کاهـش اثر تنش‌های محیطی استفاده از برخی مواد شیمیایی توصیه شده است که یک گروه مهم از آنها تریازول‌ها می‌باشند. این ترکیبات در دهه ۱۹۶۵ برای کنترل بیماری‌های قارچی در گیاهان و جانوران استفاده می‌شدند (Fletcher *et al*., 2008). هگزاکونازول و پروپیکونازول از ترکیبات خانواده تریازول‌ها هستند. تریازول‌ها با اثر بر جنبه‌های مختلف فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاهان باعث القای تحمل به انواع تنش‌های محیطی می‌شوند. ترکیبات تـریازولی از تولید هورمون جیبرلیـــــن ممـــــانعت می‌کنند (Rademacher, 2015). این ترکیبات همچنین باعث تغییر در توازن هورمون‌های ABA سیتوکینین و

اتیلن نیز می‌گردند (Izumi *et al.*, 1988). از اثرات اولیه این ترکیبات جلوگیری از فعالیت کائورن اکسیداز است که این آنزیم تبدیل انت کائورن به کائورونیک اسید را کاتالیز می‌کند، در نتیجه میزان جیبرلین کاهش می‌یابد (Tekalign *et al.*, 2005). بازدارندگی بیوسنتز جیبرلین محل اولیه تنظیم گیاهان به وسیله تریازول‌ها می‌باشد که با کاهش طول میان گره و سطح برگ همراه است. ترکیبات تریازول همچنین باعث تغییر در تـوازن هورمون‌های ABA و سیتوکینین واتیلن نیز می‌گردد. یکی از اثرات ثانویه این ترکیبات کاهش میزان اتیلن می‌باشد (Kishore kumar *et al.*, 2006). اثر نهایی تریازول‌ها ناشی از برهم خوردن تعادل پویایی است که بین هورمون‌های گیاهی در مراحل مختلف رشد و نمو وجود دارد (Fletcher *et al.*, 2000) از تغییرات بیوشیمیایی این ترکیبـات می‌توان به دفع گونه‌های فعال اکسیژن (Kraus and Fletcher, 1994) افزایش پرولین (Mackay *et al.*, 1990) ، پروتئین محلول برگ، قندهای محلول اشاره کرد. با مصرف تریازول‌ها، میزان تحمل به خشکی از طریق افزایش میزان آبسیزیک اسید، پرولین و آنتی اکسیدانت‌ها و بسته شدن نمونه‌ها در گندم تریتیکاله (Berova and Zelatev, 2003)، گوجه فرنگی (Still and Pill, 2004) و ریگراس چند ساله (Jiang and Frey, 1998) افرای نقره ای (Marshal *et al.*, 2010)و سویا (Zhang *et al.*, 2006) افزایش می‌یابد. کاربرد ماده هگزاکونازول با افزایـش معنی‌دار آنتی اکسیدانت‌های آنزیمی و غیرآنزیمی و برخی صفات فیزیولوژیک مهم گیاه سبب بهبود تحمل به تنش کم آبی در گیاهان تیمار شده در مقایسه با گیاهان تیمار نشده گردید (Hojati, 2010).

تحقیق با هدف تاثیر محلول‌پاشی هگزاکلونازول بر عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی ذرت دانه ای در شرایط قطع آبیاری صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور بررسی تاثیر هگزاکونازول در رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی گیاه ذرت دانه‌ای KSC_{704} در مزرعه‌ای واقع در پاکدشت در سال زراعی ۱۳۹۴ اجرا شد. طرح آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بود. تیمارهای اصلی آزمایش عبارتند از: S_0 = آبیاری معمول S_1 = قطع آبیاری در مرحله ساقه دهی S_2= قطع آبیاری در مرحله گلدهی = S_3 قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و تیمارهای فرعی تحقیق شـامل: M_0 = شاهد (عدم کاربرد) M_1 = ۲۵ میلی‌گرم در لیتر M_2= ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود. تیمارکودی با توجه به نتایج آزمون خاک انتخاب شد. بدین منظور قبل از انجام طرح از خاک محل آزمایش، سه نمونه مرکب تهیه و به آزمایشگاه خاک و آب ارائه گردید و براساس توصیه کودی میزان آن تعیین شد، هر تکرار شامل ۱۲ تیمار و هر تیمار شامل پنج خط کاشت در قالب پنج فارو ۷۵ سانتی‌متری (فاصله خطوط کاشت ۷۵سانتی‌متر) و فاصله روی خطوط ۲۰ سانتی‌متر است. طول هر خط کاشت پنج متر، خطوط یک و پنج و نیم متر از هر طرف به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. در دوره رشد مراقبت های زراعی لازم اجرا گردید.

اندازه‌گیری صفات موردارزیابی

جهت محاسبه عملکرد با در نظر گرفتن نیم‌متر حاشیه از هر خط تمامی بلال‌های خطوط عملکرد پس از برداشت بسته‌بندی و شماره‌گذاری شد و پس از جداکردن دانه‌ها از بلال به صورت دستی و توزین، عملکرد دانه در هر کرت فرعی برحسب کیلوگرم بر هکتار محاسبه‌گردید. برای استخراج و سنجش پرولین از معرف ناین هیدرین، طول موج ۷۲۱ نانومتر و رسم منحنی استاندارد استفاده شد(Bates *et al.*, 1993). با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده از نمونه‌های استاندارد پرولین، نمودار خط پرولین به‌دست آمد. مقادیر پرولین که از دستگاه پلیت ریدر به‌دست‌آمده را در این نمودار قرارداده شد تا مقدار پرولیـــن خالص به‌دست آمد. در این سنجش از تولوئن به‌عنوان شاهد استفاده گردید(Bates *et al.*, 1993). سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز توسط روش (Misra and Fridovich , 1972) با اندازه‌گیری میزان تغییرات این آنزیم تعیین شد. فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) توسط روش Paglia (1997) براساس میزان تغییرات آنزیم و مقدار پروتئین آن بر حسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تعیین گردید (Lowry *et al.*, 1951). واحد فعالیت آنزیم کاتالار معادل نسبت تبدیل آب اکسیژنه در مدت ۱ دقیقه به هنگام پیشرفت واکنش درجه اول در نظر گرفته‌شد. فعالیت آنزیم گلوتاتیون پر اکسیداز با روش EDTA

سنجیده شد (Paglia, 1997). آنزیم‌ها براساس واحد پروتئین بر گرم وزن تر برگ اندازه‌گیری شدند. سنجش مالون‌دی‌آلدئید(MDA) از روش کروماتوگرافیHPLC براساس روش Steven (1978)؛ با استفاده از اسپکتروفتومتر با دتکتورمرئی در طول موج ۵۳۲ نانومتر صورت‌گرفت. سنجش دی‌تیروزین(DT) براساس مقدار پروتئین برحسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر با استفاده از روش Steven (1978) با اندازه‌گیری میزان فعالیت براساس واکنش به مایع کروماتوگرافی ارزیابی شد. برای سنجش دی‌هیدروکسی‌گوانوزین، عصاره به‌دست‌آمده جهت سنجش D-OH-dG بر اساس روش Bogdanov and Bical (1999) از واکنش تیوبار به تیوریک‌اسید با اسپکتروفتومتر (Carry 10) انجام گرفت. غلظت هورمون‌های جیبرلین، سیتوکنین، نیز به وسیله دستگاه HPLC اندازه‌گیری گردید که در اندازه‌گیری هورمون‌های جیبرلین و سیتوکنین در قسمت ساقه گیاه مورد ارزیابی قرارگرفتند(Tuna *et al*., 2008). درپایان آزمایش ؛ نتایج هر یک از تیمارها بعد از تعمیم دادن به واحد هکتار به کمک نرم افزار رایانه‌ای SPSS تجزیه واریانس شد و مقایسه میانگین داده‌ها باکمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطوح یک و پنج درصد صورت پذیرفت.

جدول ۱- تجزیه واریانس عملکرد دانه و پرولین برگ تحت تاثیر محلول‌پاشی هگزاکلونازول در شرایط قطع آبیاری.

Table 2: Analysis of variance of seed yield and proline under hexaclonazole foliar application at cut irrigation conditions.

		M.S	میانگین مربعات	
S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد دانه G.Y	پرولین proline
Block	بلوک	2	33005216.7^{ns}	0.098 ^{ns}
Cut Irr (A)	قطع آبیاری(A)	3	499705443.71**	39.22**
Error A	خطای A	6	25337401.06	0.145
hexaclonazole foliar (B)	هگزاکلونازول	2	83872145.12*	1.35 *
A*B	قطع آبیاری*هگزاکلونازول	6	350483001.74**	101.80**
Error B	خطای B	16	15897600.42	0.21
C.V(%)	ضریب تغییرات	-	14.26	5.01

ns ، * و ** به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns, *, **: Not significant, significant at 5 % and 1 % levels of probability, respectively

عملکرد دانه

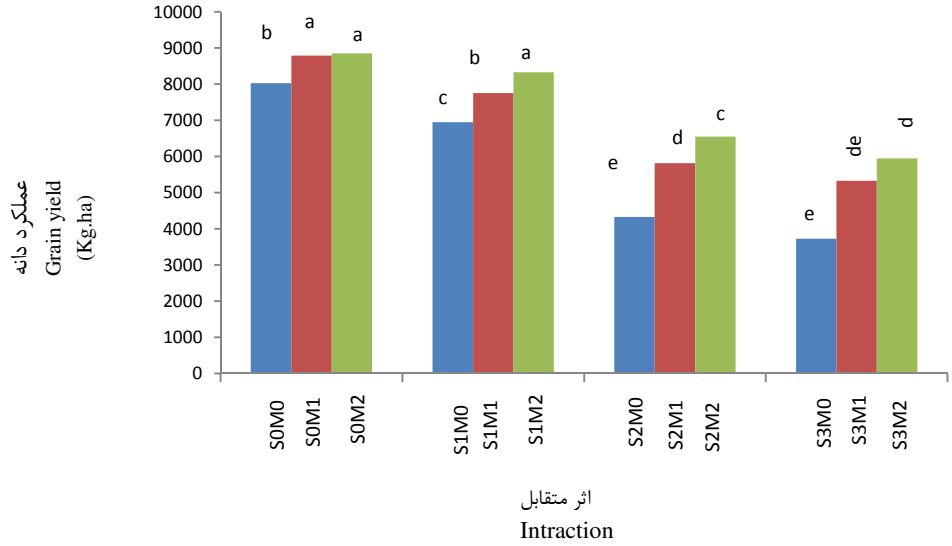
عملکرد دانه مهم‌ترین جزو تحقیقاتی در هر آزمایش است و تنش خشکی از طریق تاثیر بر اجزای عملکرد اثرات منفی بر عملکرد دانه می‌گذارد، اما با استفاده از مواد ضد تنش در مراحل مختلف آبیاری تا حدودی زیادی از اثرات منفی تنش کاسته شد. نتایج داده‌ها مشخص نمود که عملکرد دانه تحت تاثیر اثرات ساده قطع آبیاری و محلول‌پاشی هگزاکلونازول و اثرات متقابل تیمارهای مورد آزمایش قرارگرفت و اختلافات به وجود آمده از نظر آماری در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول یک).

نتایج جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیش‌ترین میزان عملکرد دانه از تیمار آبیاری معمول و محلول‌پاشی ۵۰ میلی گرم در لیتر هگزاکلونازول با ۸۸۴۶/۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که با تیمارهای S_0M_0, S_0M_1, S_1M_2 اختلاف معنی‌داری نداشت و هر چهار تیمار در کلاس آماری a جای گرفتند. کمترین میزان عملکرد دانه را تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و شاهد (عدم محلول‌پاشی) با ۳۷۲۸/۲ کیلوگرم در هکتار به دست آورد که اختلاف ۵۷ درصدی بین تیمار اول و آخر مشهود است.

نتایج این تحقیق نشان داد قطع آبیاری موجب بسته شدن روزنه ها گردید، در نتیجه میزان فتوسنتز کاهش نشان داد و در نهایت از تولید ماده خشک و میزان عملکرد کاسته شد. کاهش میزان فنوسنتز خالص در شرایط تنش خشکی بیانگر کاهش کارایی سطح برگ، مقدار تولید ماده

خشک در واحد سطح برگ و در نتیجه کاهش عملکرد است (Gupta *et al*, 2006).

مطالعات باهری زاده و همکاران (Baheri Zadeh *et al*, 2012) نشان داد تنش خشکی در مرحله رشد زایشی موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود، قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی باعث افزایش سقط جنین در دانه گرده شد و در مرحله تلقیح دانه گرده، موجب کاهش شدید فتوسنتز افزایش ABA و کاهش بارگیری آسیمیلات‌ها گشت در نهایت با سقط جنین و کاهش عملکرد همراه است که در این تحقیق کاملا مشهود است. به‌نظر می‌رسد کاربرد هگزاکلونازول در شرایط آبیاری معمول موجب افزایش انتقال مواد پرورده به دانه ها شد و در شرایط قطع آبیاری از طریق افزایش پایداری غشای سلولی، بالابردن پتانسیل آب برگ، افزایش میزان فتوسنتز جاری گیاه ناشی از افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و میزان کلروفیل و بالابردن میزان انتقال مواد پرورده به دانه مانع از کاهش عملکرد دانه گردید که با نتایج تحقیقات ژیانگ و همکاران (Zhang *et al*., 2006) مطابقت دارد، در این تحقیق تیمار محلول‌پاشی هگزاکلونازول با تحت تاثیر قراردادن صفات مختلف فیزیولوژیک و افزایش میزان کلروفیل و پروتئین محلول، تحمل گیاه را در برابر تنش کم آبی افزایش داد و از افت عملکرد تا حدود زیادی جلوگیری نمود.



نمودار ۱- اثر متقابل تیمار آبیاری و محلولپاشی هگزاکلونازول بر عملکرد دانه ذرت

Figure 1- Interaction of irrigation treatment and hexaconazole foliar application on grain yield of corn

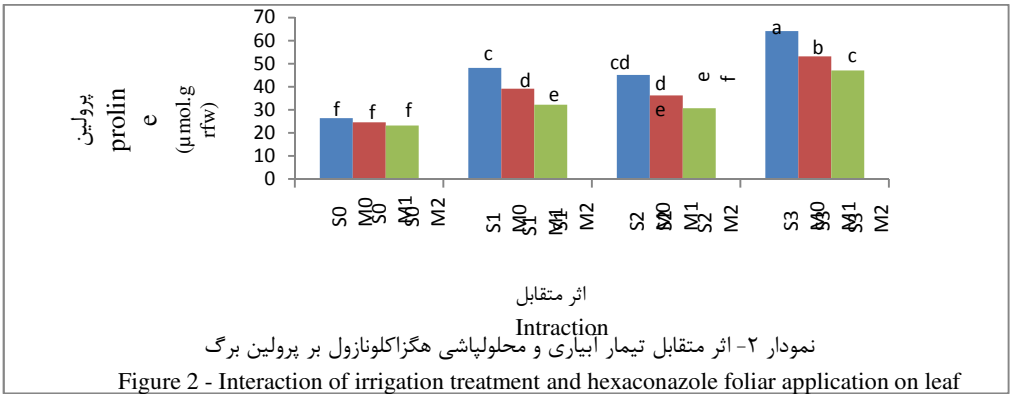
پرولین برگ

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده قطع آبیاری و محلول‌پاشی هگزاکلونازول و اثرات متقابل تیمارها تاثیر معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد بر میزان پرولین برگ داشت (جدول یک).

بالاترین میزان تجمع پرولین در برگ از تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و شاهد با متوسط ۶۴/۱۸ میکرومول بر گرم وزن تازه به‌دست آمد و تیمارهای آبیاری معمول در شاهد و محلول‌پاشی هگزاکلونازول کمترین میزان تجمع پرولین برگ را داشتند (نمودار دو).

پرولین یکی از اسیدهای آمینه بوده که در شرایط تنش به‌منظور افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی در برگ افزایش یافت و بعد از برطرف شدن تنش، به‌سرعت تجزیه گردید و از میزان آن در گیاه کاسته شد. افزایش پرولین در جهت کاهش پتانسیل آبی گیاه به‌منظور حفظ فشار تورژسانس و به دلیل القای فعالیت آنزیم‌های دلتا-۱- پرولین-۵- کربوکسیلات‌سنتاز و ۵- کربوکسیلات ردوکتاز در چرخه تولید این ماده و ممانعت از فعالیت آنزیم‌های اکسید کننده پرولین، مانند پرولین دهیدروژناز در سلول است (حسنی و حیدری شریف آباد، ۱۳۸۲). در

واقع پرولین به‌عنوان یک چپرون شیمیایی باعث پایداری فرم طبیعی پروتئین‌ها شده و از به هم خوردن شکل طبیعی ترکیبات آنزیمی ممانعت می‌کند (Hasegawa *et al.*, 2007). نتایج نشان داد در تمام تیمارهای آبیاری معمول میزان پرولین برگ در پایین‌ترین سطح دیده شد که با توجه به نقش پرولین در افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی چندان دور از ذهن نبود. در ذرت تحت شرایط تنش مقدار اسید آمینه‌های سرین و گلایسین افزایش یافت (ماهرخ و خواجه‌پور، ۱۳۸۴). سنتز پروتئین به تنش آب بسیار حساس بوده و فعالیت پروتئین سازی کاهش داشت، در هنگام تنش، پرولین به‌عنوان مخزن ذخیره نیتروژن و یا ماده محلولی که پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم را کاهش می‌دهد، عمل نموده و گیاه را در تحمل تنش یاری می‌نماید که در این تحقیق مشهود است. همچنین محققان بیان کردند که تجمع پرولین می‌تواند نقش بسیار مهمی در کنترل pH داشته باشد (Irigoyen *et al.*, 1992). همچنین از پرولین می‌توان به‌عنوان محل تجمع انرژی و شاخص تحمل به خشکی نام برد (Basra and Basra, 2010). بسیاری از ملکول‌های پروتئین پس از تشکیل عمر کوتاهی دارند، زیرا دورهٔ بازگشت آنها سریع است، بنابراین محصولات تجزیهٔ پروتئین نظیر اسیدهای آمینه در طی خشکی تجمع می‌یابند و در تنظیم اسمزی شرکت کرده یا ذخیره شده و به‌عنوان پیش ماده در بهبودی از اثرات منفی تنش به‌کار می‌روند (اویسی ۱۳۸۹). طی بررسی پژوهشگران، اثر تنش آب بر سوخت و ساز آفتابگردان مشاهده کردند که با کاهش پتانسیل آب برگ، مقدار اسید آمینه آزاد افزایش یافت. که با افزایش توسعه انشعابات ریشه و تشکیل ریشه‌های مویین، مقدار تجمع پرولین در آنها حداکثر به ۴/۶ درصد کل ماده خشک رسید (Clement and Habben, 2009).



نمودار ۲- اثر متقابل تیمار آبیاری و محلولپاشی هگزاکلونازول بر پرولین برگ

Figure 2 - Interaction of irrigation treatment and hexaconazole foliar application on leaf

جدول ۲- تجزیه واریانس آنزیم‌های آنتی اکسیدانت تحت تاثیر محلول‌پاشی هگزاکلونازول در شرایط قطع آبیاری.

Table 2: Analysis of variance of antioxidant enzymes under the effect of hexaclonazole foliar application at cut irrigation conditions.

			M.S	میانگین مربعات	
S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی df	گلوتاتیون پراکسیداز GPX	کاتالاز CAT	سوپر اکسید دیسموتاز SOD
Block	بلوک	2	0.011^{ns}	2.32 ^{ns}	0.0098^{ns}
Cut Irr (A)	قطع آبیاری(A)	3	0.189*	7.85 *	0.0430*
Error A	خطای A	6	0.032	1.12	0.0077
hexaclonazole foliar (B)	هگزاکلونازول	2	3.01*	6.24 *	0.022 ^{ns}
A*B	قطع آبیاری*هگزاکلونازول	6	2.66*	4.93**	21.45**
Error B	خطای B	16	0.42	0.88	0.011
C.V(%)	ضریب تغییرات	-	5.14	4.47	4.89

ns ، * و ** به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns, *, **: Not significant, significant at 5 % and 1 % levels of probability, respectively

سوپراکسید دیسموتاز SOD

داده‌ها نشان داد سوپراکسید دیسموتاز تحت تاثیر اثرات ساده قطع آبیاری و اثرات متقابل قطع آبیاری و محلول پاشی هگزاکلونازول قرارگرفت و اختلافات به‌وجود آمده از نظر آماری در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار بود. اما محلول‌پاشی هگزاکلونازول تاثیر معنی‌داری بر سوپراکسید دیسموتاز نداشت و اختلافات به‌وجود آمده از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول دو).

بالاترین مقدار سوپراکسید دیسموتاز از تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه با متوسط $u.mgprotien^{-1}$ ۱۶/۶۵ و کمترین مقدار از تیمار آبیاری معمول با $u.mgprotien^{-1}$ ۸ حاصل شد.

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد کمترین مقدار سوپراکسیددیسموتاز متعلق به تیمار آبیاری معمول و محلول‌پاشی ۵۰ میلی گرم در لیتر هگزاکلونازول با متوسط $u.mgprotien^{-1}$ ۷/۲۱ و بالاترین میزان سوپراکسیددیسموتاز در تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و شاهد با $u.mgprotien^{-1}$ ۱۸/۶۲ مشاهده شد (جدول سه).

جهت جداسازی ارقام متحمل به تنش آبی تکنیک‌های مولکولی پیشرفته و قابل اطمینان به‌دست آمده که یکی از این روش‌ها تعیین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز است (اصغری و ابراهیم زاده،۱۳۸۱). افزایش فعالیت این آنزیم در تیمار شاهد در شرایط قطع آبیاری را می‌توان به کاهش آب قابل دسترس برای گیاه و نقش مهم این آنزیم جهت مقابله با رادیکال‌های آزاد اکسیژن ایجاد شده در اثر تنش خشکی عنوان نمود، بنابراین SOD به عنوان یکی از اجزای مهم سازوکارهای دفاعی گیاه شناخته می‌شود (نصری و خلعتبری، ۱۳۹۵). گیاه در شرایط تنش خشکی و جهت مقابله با بیومارکرهای تخریب، سطح سوپراکسیددیسموتاز را در سلول‌های خود افزایش داد و رادیکال‌های سمی راکه دائماً به‌عنوان محصولات هوازی شکل می‌گیرد را جمع آوری نمود (Asuda and Takashi, 2005). در شرایط آبیاری و استفاده از تریازول‌ها توانست تا حدودی میزان غلظت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت را کاهش دهد. مطالعات بر روی مواد ضد تنش نشان داد که مصرف این مواد با کاهش تنش خشکی، میزان فعالیت این آنزیم را کاهش می‌دهد، در واقع گیاه در هنگام تنش خشکی سعی دارد با افزایش فعالیت این آنزیم میزان رادیکال‌های آزاد تولیدی و تخریب ناشی از آنها را در هنگام تنش کاهش دهد و از آنجا که این مواد باعث کاهش تنش می‌شوند پس میزان فعالیت آنزیم ها نیز کاهش می‌یابد که در این تحقیق کاملا مشهود است، گزارش‌های متعددی از افزایش میزان فعالیت این آنزیم در شرایط تنش و تیمار تریازول‌ها موجود است (Fletcher *et al*., 2008). کاربرد یونیکونازول در شرایط مطلوب و تنش خشکی سبب افزایش معنی‌دار میزان فعالیت آنتی اکسیدانت‌ها گردید (Zhang *et al.*, 2006).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل محلول‌پاشی هگزاکلونازول در شرایط قطع آبیاری بر آنزیم های آنتی اکسیدانت.

Table 3 - Comparison of the mean interactions of hexaconazole foliar application and cut irrigation on antioxidant enzymes.

تیمار Treatments	پراکسیدازGPX (u.mgprotien)	کاتالازCAT (u.mgprotien)	سوپر اکسید دیسموتازSOD (u.mgprotien)
آبیاری معمول* شاهد Regular irrigation * Control(S_0 M_0)	10.27 ^{c}	25.48 ^{d}	9.46 ^{e}
آبیاری معمول* هگزاکلونازول۲۵ mg.lit Regular irr * Hexaclonazole 25mg.lit (S_0 M_1)	9.34 ^{c}	20.11 ^{de}	7.34 ^{ef}
آبیاری معمول* هگزاکلونازول۵۰ mg.lit Regular irr * Hexaclonazole 50mg.lit(S_0 M_2)	8.72 ^{c}	17.46 ^{e}	7.21 ^{f}
قطع آبیاری در مرحله ساقه دهی* شاهد Cut Irrigation at stem stage * Control(S_1 M_0)	20.41 ^{a}	41.83 ^{b}	14.17 ^{c}
قطع آبیاری در مرحله ساقه دهی* هگزاکلونازول۲۵ mg.lit Cut Irri at stem stage * Hexa 25mg.lit (S_1 M_1)	16.38 ^{b}	36.28 ^{bc}	13.11 ^{cd}
قطع آبیاری در مرحله ساقه دهی* هگزاکلونازول۵۰ mg.lit Cut Irri at stem stage * Hexa 50mg.lit(S_1 M_2)	14.29 ^{bc}	32.17 ^{c}	12.74 ^{d}
قطع آبیاری در مرحله گلدهی* شاهد Cut Irr at flowering stage * Control(S_2 M_0)	23.18 ^{a}	50.46 ^{a}	17.46 ^{a}
قطع آبیاری در مرحله گلدهی* هگزاکلونازول۲۵ mg.lit Cut Irr at flowering stage * Hexa 25mg.lit (S_2 M_1)	17.69 ^{b}	42.18 ^{b}	15.24 ^{bc}
قطع آبیاری در مرحله گلدهی* هگزاکلونازول۵۰ mg.lit Cut Irr at flowering stage * Hexa 50mg.lit(S_2 M_2)	15.47 ^{b}	36.31 ^{bc}	14.11 ^{c}
قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه * شاهد Cut Irr at filling of seed stage * Control(S_3 M_0)	21.11 ^{a}	44.16 ^{b}	18.62 ^{a}
قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه* هگزاکلونازول۲۵ mg.lit Cut Irr at filling of seed stage * Hexa 25mg.lit (S_3 M_1)	16.68 ^{b}	40.42 ^{bc}	16.02 ^{b}
قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه* هگزاکلونازول۵۰ mg.lit Cut Irr at filling of seed stage * Hexa 50mg.lit(S_3 M_2)	15.07 ^{b}	38.62 ^{bc}	15.31 ^{bc}

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترکند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Averages that at least one letters in common, a significant difference in Duncan's multiple range test have five percent

کاتالاز CAT

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثرات ساده قطع آبیاری و محلول‌پاشی هگزاکلونازول و اثرات متقابل قطع آبیاری و محلول‌پاشی هگزاکلونازول بر آنزیم کاتالاز تاثیر معنی‌دار داشت و اختلافات به وجود آمده از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول سه).

نتایج جدول مقایسه میانگین اثرات متـــقابل نشان داد بالاترین مقدار آنزیم کاتالاز متعلق به تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و شاهد با متوسط ۵۰/۴۶ u.mgprotien^{-1} بود. کمترین میزان آنزیم کاتالاز از تیمار آبیاری معمول و محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر هگزاکلونازول با ۲۵/۴۸u.mgprotien^{-1} مشاهده شد (جدول سه).

در شرایط تنش کمبود آب یکی از مهم‌ترین ترکیبات سمی تولید شده ناشی از رادیکال‌های آزاد اکسیژن، پراکسید هیدروژن است (Noctor and Foyer, 1998). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در شرایط تنش می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن درنظر گرفته شود به‌طوری‌که افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز درشرایط تنش خشکی گزارش شده است (Jaleel *et al.*,2006)، افزایش فعالیت کاتالاز جهت کاهش اثرات گلوتاتیون پراکسیداز در هنگام تنش‌های مختلف زراعی در تحمل گیاه به شرایط تنش نقش مهمی را ایفا می‌نماید (Semirnoff and Cumbes, 2008). آنزیم کاتالاز مولکول H_2O_2 را به آب واکسیژن تبدیل می‌کند و

درطی این واکنش اسکوربات به‌عنوان دهنده هیدروژن عمل می‌نماید (Hernandez *et al*., 2002).

در این تحقیق در تیمارهای آبیاری معمول و استفاده از هگزاکلونازول به‌علت عدم تنش و دسترسی کامل به آب و عناصر معدنی رادیکال‌های آزادی تشکیل شده بسیار اندک بوده، به‌همین خاطر میزان آنزیم به حداقل تنزل پیدا نمود که البته در تمامی تیمارهای آبیاری معمول این مساله مشهود است، اما در تیمارهایی که قطع آبیاری مشاهده شد با استفاده از هگزاکلونازول به مقدار زیادی از اثرات تنش اکسیداتیو کاسته شده و مقدار آنزیم کاتالاز کاهش یافت (جدول سه).

گلوتاتیون پراکسیداز GPX

نتایج داده‌ها مشخص نمود آنزیم آنتی اکسیدانت گلوتاتیون پراکسیداز تحت تاثیر اثرات ساده قطع آبیاری و محلول‌پاشی هگزاکلونازول و اثرات متقابل قطع آبیاری و محلول‌پاشی هگزاکلونازول قرارگرفت و اختلافات به وجود آمده از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول دو).

نتایج جدول مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد بالا-ترین مقدار آنزیم آنتی اکسیدانت گلوتاتیون پراکسیداز متعلق به تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و شاهد با متوسط $u.mgprotien^{-1}$ ۲۳/۱۸ بود که با تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و شاهد و تیمار قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی و شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت و هر سه تیمار در کلاس آماری a جای گرفتند. کمترین میزان آنزیم انتی اکسیدانت گلوتاتیون پراکسیداز از تیمار آبیاری معمول و محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر هگزاکلونازول با $u.mgprotien^{-1}$ ۸/۷۲ مشاهده شد (جدول سه).

گلوتاتیون پراکسیداز یکی از آنزیم‌هایی است که درمقابله تنش‌های محیطی نقش مهمی را ایفا می‌نماید. این آنزیم کاهش پراکسید هیدروژن را با استفاده از گلوتاتیون احیا شده (GSH) کاتالاز می‌کند و بدین ترتیب از سلول‌ها در برابر آسیب‌های ناشی از اکسایش حفاظت می‌نماید در واقع سوخت و ساز گلوتاتیون یکی از سازوکارهای دفاعی ضد اکسنده و ضروری است (Stewart , 1991).

نوعی از آنزیم‌های پراکسیداز وجود دارد که می‌تواند مستقیما فسفولیپیدهای هیدروپروکسید اسیدهای چرب، هیدروپروکسید و کلسترول‌های هیدروپراکسید تولید شده در غشای و لیپوپروتئین‌های اکسید شده را احیای کند. گرچه گلوتاتیون پراکسیداز و کاتالاز بر روی سوبستراها نظیر H_2O_2 تاثیر می‌گذارد، ولی GPX به تنهایی و به‌طور موثرتری می‌تواند با چربی‌ها و دیگر هیدروپروکسیدهای آلی واکنش نشان دهد و منبع اصلی دفاع در مقابل سطوح تنش‌ها اکسیدانتی باشد (Jose *et al*, 1999). کاربرد هگزاکونازول‌ها سبب افزایش مقاومت آنتی اکسیدانتی گیاه از طریق افزایش آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز گردید که در این تحقیق کاملا مشهود است.

جدول ۴- تجزیه واریانس بیومارکرهای تخریب تحت تاثیر مصرف هگزاکلونازول در شرایط قطع آبیاری.

Table 4: Analysis of variance of degradation biomarkers affected by hexaclonazole application and cut irrigation conditions.

			میانگین مربعات	M.S	
S.O.V	منبع تغییرات	درجه آزادی df	مالون دی آلدئید MDA	دی هیدروکسی گوانوزین D-OH – dG	دی تیروزین DT
Block	بلوک	2	0.002 ^{ns}	0.200 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
Cut Irr (A)	قطع آبیاری(A)	3	0.028*	1.588*	0.0006 *
Error A	خطای A	6	0.004	0.199	0.0001
hexaclonazole foliar (B)	هگزاکلونازول	2	0.064 *	0.85 ^{ns}	0.0015 *
A*B	قطع آبیاری*هگزاکلونازول	6	3.25**	9.90*	0.185**
Error B	خطای B	16	0.009	1.12	0.0002
C.V(%)	ضریب تغییرات	-	4.45	4.83	4.21

ns ، * و ** به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns, *, **: Not significant, significant at 5 % and 1 % levels of probability, respectively

بیومارکرتخریب دی تیروزینDT

نتایج جدول تجزیه واریانس مشخص نمود بیومارکر تخریب دی‌تیروزین تحت تاثیر اثرات ساده قطع آبیاری و محلول‌پاشی هگزاکلونازول و اثرات متقابل قطع آبیاری و محلول‌پاشی هگزاکلونازول قرارگرفت و اختلافات به وجود آمده از نظر آماری در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار بود (جدول چهار).

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد کمترین بیومارکرتخریب دی‌تیروزین متعلق به تیمار آبیاری معمول و محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر هگزاکلونازول با متوسط ۹/۲۸ ηmol.mgprotien و بالاتـــرین میـــزان بیومارکرتخریب دی‌تیروزین از تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و شاهد با ۲۴/۶۵ ηmol.mgprotien حاصل شد (جدول پنج).

زمانی که تنش اکسیداتیو ایجاد می‌شود، رادیکال ای آزاد باعث تخریب پروتئین‌ها شده، اسیدهای آمینه مختلف آزاد می‌شوند و از اتصال دو اسید آمینه تیروزین از محل اکسیژن‌های شان یک دی‌پپتید به نام دی‌تیروزین ایجاد می‌گردد که این ماده نشانه‌ای از حمله رادیکال‌های آزاد در هنگام تنش خشکی به پروتئین‌ها و تخریب آنها است (قربانی قوژدی، ۱۳۸۴). بررسی انجام شده در گیاه رز نشان داد که غلظت مالون‌دی‌آلدئید و دی‌تیروزین در خلال تنش خشکی افزایش یافت ولی بلافاصله پس از دسترسی گیاه به آب میزان این ماده کاهش نشان داد (jin *et al*., 2006). در اثر تنش خشکی با افزایش رادیکال‌های آزاد سطح فعالیت دی‌تیروزین اضافه شده و تخریب DNA بیشتر می‌شود و افزایش سطح فعالیت اسکوربات پراکسیداز از ویتامین E آنتی اکسیدانت طبیعی باعث کاهش فعالیت دی‌تیروزین تا حدود ۰/۵ درصـد می‌شود (ساعی و حبیبی، ۱۳۸۴). نتایج این تحقیق نشان داد قطع آبیاری باعث افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن گردید و از آنجایی که RNA و DNA حساسیت زیادی به اکسیژن دارند کاربرد هگزاکونازول سبب کاهش اکسیداسیون RNA و DNA شد و سبب کاهش فعالیت دی‌تیروزین گردید و در تیمارهای قطع آبیاری در مرحله گلدهی و پر شدن دانه با محلول‌پاشی هگزاکلونازول از میزان بیومارکرتخریب دی‌تیروزین به شدت کاسته شد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل مصرف هگزاکلونازول در شرایط قطع آبیاری بر بیومارکرهای تخریب.

Table 5 - Comparison of the mean interactions of hexaconazole consumption at cut irrigation on Destruction biomarkers.

تیمار Treatments	مالون دی آلدئید MDA (ηmol.mgprotien)	دی هیدروکسی گوانوزین D-OH – dG (ηmol.mgprotien)	دی تیروزین DT (ηmol.mgprotien)
آبیاری معمول* شاهد Regular irrigation * Control(S_0 M_0)	20.65 ^{de}	8.17 ^{b}	12.48 ^{de}
آبیاری معمول* هگزاکلونازول۲۵ mg.lit Regular irr * Hexaclonazole 25mg.lit (S_0 M_1)	16.36 ^{e}	7.32 ^{c}	10.39 ^{e}
آبیاری معمول* هگزاکلونازول۵۰ mg.lit Regular irr * Hexaclonazole 50mg.lit(S_0 M_2)	13.91 ^{e}	7.08 ^{c}	9.28 ^{e}
قطع آبیاری در مرحله ساقه دهی* شاهد Cut Irrigation at stem stage * Control(S_1 M_0)	37.28 ^{b}	8.47 ^{ab}	21.47 ^{bc}
قطع آبیاری در مرحله ساقه دهی* هگزاکلونازول۲۵ mg.lit Cut Irri at stem stage * Hexa 25mg.lit (S_1 M_1)	22.14 ^{d}	8.16 ^{b}	17.52 ^{c}
قطع آبیاری در مرحله ساقه دهی* هگزاکلونازول۵۰ mg.lit Cut Irri at stem stage * Hexa 50mg.lit(S_1 M_2)	19.43 ^{de}	7.81 ^{bc}	12.39 ^{de}
قطع آبیاری در مرحله گلدهی* شاهد Cut Irr at flowering stage * Control(S_2 M_0)	44.27 ^{a}	8.97 ^{a}	24.65 ^{a}
قطع آبیاری در مرحله گلدهی* هگزاکلونازول۲۵ mg.lit Cut Irr at flowering stage * Hexa 25mg.lit (S_2 M_1)	31.18 ^{c}	8.42 ^{ab}	20.07 ^{c}
قطع آبیاری در مرحله گلدهی* هگزاکلونازول۵۰ mg.lit Cut Irr at flowering stage * Hexa 50mg.lit(S_2 M_2)	27.68 ^{cd}	8.13 ^{ab}	16.89 ^{c}

قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه * شاهد Cut Irr at filling of seed stage * Control(S_3 M_0)	39.17 b	8.59 ab	22.81 b
قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه* هگزاکلونازول۲۵ mg.lit Cut Irr at filling of seed stage * Hexa 25mg.lit (S_3 M_1)	26.51 cd	8.18 b	18.27 c
قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه* هگزاکلونازول۵۰ mg.lit Cut Irr at filling of seed stage * Hexa 50mg.lit(S_3 M_2)	21.49 de	7.86 bc	14.96 d

میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترکند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند
Averages that at least one letters in common, a significant difference in Duncan's multiple range test have five percent.

بیومارکر تخریب دی هیدروکسی گوآنزنین D-OH – dG

داده‌های جدول تجزیه واریانس نشان داد بیومارکرتخریب دی هیدروکسی گوآنزنین تحت تاثیر اثرات ساده قطع آبیاری و اثرات متقابل قطع آبیاری و محلول‌پاشی هگزاکلونازول قرار گرفت و اختلافات به وجود آمده از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول چهار). اما اختلافات به‌وجود آمده در تیمارهای مختلف محلول‌پاشی هگزاکلونازول از نظر آماری معنی‌دار نبود و همه تیمارها در یک گروه آماری قرارگرفتند.

بالاترین مقدار بیومارکرتخریب دی‌هیدروکسی‌گوآنزنین از تیمار قطع آبیاری در پر شدن دانه با متوسط ۸/۲۱ŋmol.mgprotien به‌دست آمد که با سایر تیمارهای قطع آبیاری اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار از تیمار آبیاری معمول باŋmol.mgprotien ۷/۵۲ به دست آمد (جدول چهار).

نتایج اثرات متقابل نشان داد بالاترین میزان بیومارکرتخریب دی‌هیدروکسی‌گوآنزین از تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و شاهد با ŋmol.mgprotien ۸/۹۷ حاصل شد و کمترین میزان بیومارکر تخریب دی‌هیدروکسی‌گوآنزنین متعلق به تیمار آبیاری معمول و محلول‌پاشی ۵۰ میلی گرم در لیتر هگزاکلونازول با متوسط ŋmol.mgprotien ۷/۰۸ بود (جدول پنج).

تنش خشکی می‌تواند منجر به تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول‌ها گردد و این رادیکال‌ها می‌توانند به‌طور مستقیم به غشای چربی‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه زده و با غیرفعال نمودن فعالیت آنزیم‌های متابولیکی منجر به مرگ سلولی شوند (Ben Amor *et al.*, 2007). تنش اکسیداتیو در هنگام تنش خشکی و افزایش رادیکال‌های آزاد یا کاهش دفاع آنتی اکسیدانتی منجر به آسیب بافت‌ها، لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود و غلظت بیومارکرهای چون مالون‌دی‌آلدئید، دی‌تیروزین و دی‌هیدروکسی‌گوآنوزین افزایش می‌یابد (قربانی قوژدی، ۱۳۸۴). نسبت بین آنزیم‌هایی نظیر سوپراکسیددیسموتاز و اسید اسکوربات با بیومارکرهایی مانند مالون‌دی‌آلوئید، دی‌هیدروکسی‌گوآنوزین می‌تواند در برقراری تحمل به خشکی مؤثر باشد هرچه این نسبت بالاتر باشد تحمل بیشتر است (Quartacci and Dalla, 2000). برخی معتقدند که بین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و بیومارکرهای تخریب دی‌هیدروکسی‌گوآنوزین همبستگی منفی وجود دارد یعنی با افزایش دی‌هیدروکسی‌گوآنوزین در شرایط تنش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاهش یافته که باعث افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود در نتیجه بیومارکرهای تخریب که رابطه مستقیمی با رادیکال‌های آزاد اکسیژن دارند افزایش می‌یابد (Chaves *et al.*, 2003). نتایج این تحقیق نشان داد اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها حساسیت زیادی به اکسیژن دارند در این پژوهش با توجه به زمان قطع آبیاری و عدم محلول‌پاشی هگزاکلونازول کاهش پایداری غشای سلولی و افزایش میزان H_2O_2 در گیاه میزان آنزیم آنتی اکسیدانت و بیومارکرهای تخریب هر دو در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و پر شدن دانه و شاهد افزایش یافت که نشانگر عدم وجود آب و املاح معدنی کافی در این دوره رشدی می‌باشد. همچنین تنش کمبود آب باعث افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن گردید که کاربرد هگزاکونازول سبب کاهش اکسیداسیون اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها و باعث کاهش دی‌هیدروکسی‌گوانوزین در تیمارهای قطع آبیاری گشت.

بیومارکر تخریب مالون دی آلدئید MDA

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد بیومارکرتخریب مالون‌دی‌آلدئید تحت تاثیر اثرات ساده قطع آبیاری و

محلول‌پاشی هگزاکلونازول و اثرات متقابل قطع آبیاری و محلول‌پاشی هگزاکلونازول قرارگرفت و اختلافات به وجود آمده از نظر آماری در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار بود (جدول چهار).

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد کمترین بیومارکر تخریب مالون‌دی‌آلدئید متعلق به تیمار آبیاری معمول و محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر هگزاکلونازول با متوسط ۱۳/۹۱ ηmol.mgprotien و بیش‌ترین میزان بیومارکر تخریب دی‌تیروزین از تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و شاهد با ۴۴/۲۷ ηmol.mgprotien حاصل شد (جدول پنج).

نتایج این تحقیق نشان داد مالون‌دی‌آلدئید در شرایط قطع آبیاری افزایش نشان داد که نشانه پراکسیداسیون لیپیدها بود و می‌تواند ناشی از کاهش سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز باشد (Jaleel *et al*., 2008)، اسیدهای چرب و لیپیدها حساسیت زیادی به اکسیژن دارند و به سرعت اکسید می‌شوند. از آنجایی که غشای سلولی یک غشای فسفولیپیدی می‌باشند، واکنش اکسیژن با آن سبب تحریک غشای سلولی و نشت الکترولیت‌ها به بیرون سلول می‌شود. اما کاربرد تریازول‌ها سبب کاهش اکسیداسیون در چربی‌های غشای سلولی و کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید می‌گردد (Updahyaga and Pandan, 2004) که با نتایج حاصل در این تحقیقات مطابقت دارد.

نتیجه گیری کلی

نتایج نشان داد تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی سبب کاهش تمامی صفات مذکور در گیاه ذرت نسبت به تیمار آبیاری معمول شد. اثر هگزاکونازول سبب افزایش صفات مورد بررسی شد. اما بیومارکرهای تخریب و پرولین کاهش‌یافت. برگ‌پاشی هگزاکونازول موجب افزایش جذب عناصر غذایی از خاک بهبود رشد گیاه گردید. بنابراین با توجه به یافته‌های این تحقیق برگ‌پاشی هگزاکلونازول، با توجه به خواص ضد تنش، باعث افزایش تحمل گیاه ذرت شده و کاهش خسارت ناشی از تنش را جبران نماید و در راستای کشاورزی پایدار، برای کشاورزان منطقه قابل توصیه باشد.

منابع مورد استفاده: **References**

اویسی، م. ۱۳۸۹. بررسی اثر میزان و زمان حذف برگ بر صفات مرفوفیزیولوژیک، توزیع و تسهیم ماده خشک ذرت دانه‌ای هیبرید KSC_{704} در شرایط کم آبی. رساله دکتری. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران. ۱۱۲ صفحه.

حسنی، ع.، حیدری شریف آباد، ح. ۱۳۸۲. تنظیم اسمزی و نقش بیولوژیک پرولین تحت شرایط تنش خشکی. روش‌های کاهش خشکی و خشکسالی. تهران .

ساعی، م.، حبیبی، د.، مشهدی اکبر بوجاری، م.، محمودی، ع. و، اردکانی، م.ر .۱۳۸۴. تعیین سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت به نوان یک پارامتر درتعیین گونه‌های مقاوم سورگوم علوفه‌ای به تنش خشکی، چکیده مقالات اولین همایش بین المللی علوم زیستی ایران،۲۵۰: ۶۲-۱۲۲.

قربانی قوژدی، ح. ۱۳۸۴. مقدمه‌ای بر تنش اکسایشی و کرنش‌های گیاهی. انتشارات نواوین.

کافی، م.، لاهوتی، م.، زند، ا.، شریفی، ح. و گلدانی، م. ۱۳۸۹. فیزیولوژی گیاهی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. جلد دوم: ۲۵۶ صفحه.

ماهرخ، ع.، خواجه‌پور، م.ر. ۱۳۸۴. تأثیر رژیم رطوبتی بر شاخص‌های رشد و عملکرد کمی و کیفی چغندرقند. مجله علوم گیاهان زراعی ایران. دوره ۴۱ ، شماره۲ . ۱۳۸۹. ص۲۴۶-۲۳۵.

نصری، م.، خلعتبری، م. ۱۳۹۱. تأثیر عناصر پرمصرف، آهن، روی و بور بر برخی ویژگی‌های زراعی و اکولوژیکی ذرت دانه‌ای رقم KSC_{704} در شرایط کم آبیاری در منطقه ورامین. مجله علمی – پژوهشی پژوهش های زراعی در حاشیه کویر. سال نهم جلد چهارم.

Asuda, K., and Takashi, M. 2005. Production and scavenjing of active photosynthesis in cy Arntzen ed photo inhibition: Topics in photosynthesis Elsevire, Amsterdam.pp:227-287.

Baghri Zadeh, M., Kamelmensh, M.M., Jovanmardi, SH., and Shavaf Zadeh, Sh. 2012. Effect drought stress on yield and yield components, relative leaf water content, Proline and potassium son a cumulation in different white genetype. African journal of agricultureal research 7(42): 5661- 5610.

Basra, A.S., and Basra, R.K. 2010. Mechanisms of environmental stress in plant. Harwood Academic Publishers.

Bates, L.S., Walderen, R.D., and Taere, I.D. 1993. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil, 39: 205-207.

Ben Amor, N., Jimenez, A., Megdiche, W., Lundqvist, M., Sevilla, F., Abdelly, C. 2007. Kinetics of the anti-oxidant response to salinity in the halophyte *Cakile maritime*. J.Integr. Plant Biol., 49, 982-992.

Berova, M., and Zclatev, Z. 2003. Physiological response of poclobutrazol treated triticale plants to water strees. J. Biol plantarum. 46: 133-136.

Bogdanov, M.F., and Bical, M.B. 1999. A carbon column based LCEG approach to routine 8-oH-dG measurements in biological matrices. Free Radicals. Bio. Med. 27: 647-666.

Buckland, S.M., Priceand, A.H., Hendry. G.A.F. 2011. The role of ascorbate in drought- treated Cochlearia atlantica Probed, and Armeria maritime (Mill).Willd. New Phytol.199:155-160.

Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S. 2003. Understanding plant responses to drought- from genes to the whole plant. Funct. Plant Biol.30, 239-264.

Clement, D. J., and Habben, E. 2009. Physiology of yield of sunflower und soil water deficits. Agron.J. 98:226-230.

De, F., and Kar, R.K. 2008. Seed germination and seedling growth of mung bean under water stress included by PEG-6000. Seed science and technology. 23: 301-304.

Fletcher, R.A., Gill, A., Davis, T.D., Sankhia, N. 2000. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. Hort Rev: 24: 55- 138.

Fletcher, R.A., Sopher, C.R. and Vettekkoru makankar, N. 2008. Modulation of gibberellins protects plants from environmental stresses Indian Journal of plant physiology 39:115-126.

Foyer,CH., Valadier, M.H., Migge, A., Becker, Tw. 2008. Drought induced effects on nitrate reeducates activity and mRNA and on the coordination of nitrogen and carbon metabolism in maize leaves. Plant physiol. 147: 683-694.

Gupta, N.K., Gupta, S., and Kumer, A. 2006. Effect of water stress on physiological attribute and their relationship with growth and yield of when at cultivars and different stages. Agronomy Journal and crop science. 116:55-62.

Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K., and Bohnert, H.J. 2007. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annul Rev Plant Physiology Plant Mol Biol. 51, 463-499.

Hernandez, J.A., Campillo, A., Jimenez, A., Alarcon, J.J., Seville, F. 2002. Response of antioxidant systems and kaf water relations to Nacl stress in pea plants. New phytol, 141, 241-251.

Hojati, M. 2010. Study of Hexaconazole (HEX)and propiconazole (PRO) effects on increasing resistance to water deficit stress in German chamomile (*matricaria chamomilla* L.) MSc thesis tarbiat modares university Tehran, Iran. (in Persian).

Irigoyen J.J., Emerich, D.W., and Sanchez-Diaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum, 84: 55-60.

Izumi, K., kakagawa, S., kobayashi, M., Oshio, H. sakurai, A., and Takahashi, N. 1988. Levels of I. A.A. cytokinis, A.B. A and Ethylene in rice plant as affected by gibberellin biosynthesis inhibitor, uniconazole – p lant cell physiol. 29(1):97- 107.

Jaing, H., and Fry, J. 1998. Drought responses of perennial ryegrass treated with growth regulators. Hort. SCi. 33: 270-273.

Jaleel, C.A., Gopi,R., AlaguLakshmanan, G.M., and Panneerselvam, R. 2006. Triadimefon induced changes in the antioxidant metabolism and ajmalicine production in Catharanthus roseus(L.). Plant Science.171: 271-276.

Jin, J., Ningwei, Sh., Jinhe, B. and junping, G. 2006. Regulation of ascorbate peroxidase at the transcript level is involved in tolerance to postharvest water deficit stress in the cut rose (*Rose hybridal*. Cv. *Samantha*).

Jose, M.M., Preze Gomes, C., and Castro, I.C.N.E. 1999. Chemical Biochemistry. vol. No. 3-595-603.

Kishorekumar, A., jaleel, C,A., Manirannan, P., Sankar, B., Sridharan, R., Somasundaram, R., and Pannccrsclram, R. 2006. Differential effects of Hexaconazole and paclobotrazol on the folige characteristics of chines potato. Acta Biological Sicgedi. 50: 127 -219.

Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. Journal Biology Chemistery.193, 265-275.

Mackay, C., Hall, J., Hofstra, G., and fletcher, R. 1990. Unicorazole induced changes in abscisic acid, total amino acids and proline inphaseolus vulgaris pestic, Biochem, physiol.37:74-82.

Marshall, J., Rutledge, R.G., Blum wald, E., and dumabroff, E.D. 2010. Reduction inturgid water injack Pine, white spruce and black sprucein responsed todrought and paclobutrazol. Tree physiol.20: 701-707.

Navari-Izzo, F., Milone, M.T.A., Quartacci, M.F., and Pinzino, C. 2013. Metabolic changes in wheat plants subjected to a water deficit stress program. Plant Science. 173:101-107.

Noctor, G., Foyer, C.T.T. 1998. Ascorbute and glutatine keeping active oxygenunder cont 61 annvel. Reviw of plant physiology and plant molccular biology 49: 249-279.

Paglia, D. 1997. Studies on the quantitive trait Dase. Journal.Lab. med. 70: 158-165.

Quartacci, M.F., and Dalla, F. 2000. In excess copper induce changes in lipid compsition and fluding of psll-erriech membrace in wheat. Phsiol Plant. 108: 87-93.

Rademacher, W. 2015. Growth retardants: biochemical features and applications in horticulture. Acta Hort. 394: 57-73.

Semirnoff, N., and Cumbes, Q.J. 2008. Drought influences the activity of enzymes of the chloroplast hydrogen peroxide system. J. Exp. Bot: 79: 1023-1031.

Shinozaki, K., and Yamagunchi–shinozaki, K. 2002. Molecular responses to drought and cold stress. Curr. Opin. Biotech; 7:161-167.

Singh, J., and Patal, A. 2006. Water statues, gaseous exchange, proline accumulation and yield of wheat in response to water stress. *Annual of biology Ludhiana.* 12: 77-81.

Steven, A.K., and Joseph, M.H. 1978. Lipid peroxidase in sample as measured by liquid chromatic graphic separation. Elin. Chem. 32: 217-220.

Stewart, G.R. 1991. The comparative ecophysiology of plants nitrogen metabolism. In "plant growth, intractions with nutrition and environment" porter, J.R and Lawlor (eds). Cambridge Univer Press. Pp.284.

Still, J.R., and Pill, W.G. 2004. Growth and stress tolerance of tomato seedlings (lycoperisicon esculent tum mill) in response to seed treatment with paclobutrazol. J. Hort. Sci. Biot . 79: 197-203.

Tekalign, T., Hammas, S., and Robberts, J. 2005. paclobutrazol induced leaf stem and root anatomical modifications in potato. Horticultural science. 40: 1343-1346.

Tuna, A., Kaya, C., Dikilitas, M., and Higgas, D. 2008. The combined effects of Gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in maize plants, Environmental and experimental botany, 62: 1-9.

Upadhyaya, T.T., and Pamda, S.K. 2004. Respanses of cameilia sinensis todrought and rehydration, bilogiaeplantaum.48:697-600.

Walton, G; Medham, N., Robertson, M., and, Potter, T. 2002. Phenology, Physiology and Agronomy. Astralian Journel of Agricltural Research 59: 1425-39.

Yamaguchi, K., Kusaga, M., Nakashima, K., Sakuma, Y., Abe, H., Kabta, Z. 2002. Biological mechanisms of drought stress response. Jircus workly Report. 1-8.

Zhang, J., Kang, S.H., and Shi, W. 2006. An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. Field Crops Research. 67: 207-214.