

تأثیر پرایمینگ فیزیکی بذر و تنش کم آبی بر فعالیت آنزیمی و عملکرد دانه ذرت

رضا صیامی^۱، بهرام میرشکاری^{۲*}، فرهاد فرح وش^۲، ورهام رشیدی^۲، علیرضا تازی نژاد^۳

۱. دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۳. دانشیار، عضو هیئت علمی گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۸/۲۳

چکیده

به منظور بررسی تأثیر پرایمینگ فیزیکی بذر و تنش کم آبی بر فعالیت آنزیمی و عملکرد دانه ذرت، آزمایشی طی سال ۱۳۹۳ به صورت اسپلیت پلات اجرا شد. عامل اصلی شامل دو سطح آبیاری نرمال (بدون تنش) و اعمال کم آبی به ترتیب بر اساس ۷۰ و ۱۱۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A در بعد از مرحله ۹-۸ برگی ذرت و عامل فرعی در یازده سطح شامل تیمار بذر ذرت با اشعه‌های گاما (کبالت ۶۰) و بتا (استرانسیم ۹۰) هر دو با شدت ثابت دو میکروکوری، لیزر موج پیوسته هلیوم-نئون با طول موج ۶۳۲۸ آنگستروم، میدان مغناطیسی با شدت ۴۰ میلی تسلا و امواج اولتراسونیک یا فراصوت با حداکثر سه وات بر سانتی متر مربع همگی در دو مدت زمان ۵ و ۱۰ دقیقه به همراه شاهد بدون تیمار بودند. اعمال تنش خشکی از مرحله ۹-۸ برگی به بعد غلظت پرولین برگ را ۱/۶۴ میکرومول بر گرم وزن تر افزایش داد و بیشترین غلظت این اسید آمینه به ترتیب در تیمارهای گاما ۵ دقیقه‌ای، میدان‌های مغناطیسی ۵ و ۱۰ دقیقه‌ای و اولتراسونیک ۵ دقیقه‌ای مشاهده گردید. در اثر اعمال تنش کم آبی حدود ۴۰ درصد بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در مقایسه با آبیاری نرمال افزوده شد و همچنین بیشترین فعالیت آن از تیمار بذر با اشعه گاما ۵، میدان مغناطیسی ۱۰، لیزر ۵، بتا ۵ و میدان مغناطیسی ۵ دقیقه‌ای حاصل شد. وقوع تنش خشکی فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز را ۲۳ درصد افزایش داد و بیشترین فعالیت این آنزیم (۹۵/۷۹ میکرومول بر دقیقه بر گرم) در پیش تیمار با اشعه لیزر ۵ دقیقه‌ای مشاهده شد. بروز تنش از مرحله ۹-۸ برگی به بعد، عملکرد دانه را ۱۸/۵ درصد کاهش داد. تیمارهای میدان مغناطیسی ۵ و ۱۰ دقیقه‌ای، گاما و لیزر ۵ دقیقه‌ای با میانگین ۶۸۵ گرم در مترمربع دارای بیشترین عملکرد دانه بودند و افزایش زمان تیمار بذر ذرت با اشعه‌های گاما و لیزر از ۵ به ۱۰ دقیقه به ترتیب ۲۰ و ۱۷ درصد از عملکرد دانه کاسته شد. به نظر می‌رسد پیش تیمارهای فیزیکی بذر ذرت با میدان‌های مغناطیسی و اشعه‌های گاما و لیزر فقط در مدت زمان کوتاه می‌تواند اثرات نامطلوب تنش خشکی را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، پراکسیداز، سوپر اکسید دیسموتاز، عملکرد دانه.

مقدمه

است که اغلب به جذب بیشتر رطوبت، مواد غذایی و اشعه خورشید توسط بذر و در نهایت افزایش عملکرد منتج می‌گردد (Eskandari and Kazemi, 2011).

بنا بر عقیده کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) برای افزایش محصولات زراعی تدابیر مختلفی نظیر استفاده از کودهای شیمیایی اتخاذ گردیده است ولی به کارگیری چنین تدابیری فقط بخشی از نیاز غذایی گیاهان

ذرت (*Zea mays* L.) از غلات مهم و با ارزش مناطق گرمسیر و معتدل جهان است که از نظر تولید، بعد از گندم و برنج به عنوان سومین غله مهم در جهان محسوب می‌شود (Ashofteh Beiragi et al., 2015). پرایمینگ یا پیش تیمار بذر به انجام هر نوع عملیاتی روی بذر در فاصله زمانی بین برداشت تا کاشت مجدد اطلاق می‌شود (Kilian, 2000). پیش تیمار بذر یک راهکار قبل از کاشت

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال ۱۳۹۳ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز واقع در ۱۵ کیلومتری شرق تبریز و در مسیر جاده تبریز - تهران با ارتفاع ۱۵۶۰ متر از سطح دریاهای آزاد در عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و با میانگین بارندگی سالانه ۳۱۸ میلی‌متر به صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل دو سطح آبیاری نرمال (بدون تنش) و اعمال کم‌آبی به ترتیب بر اساس ۷۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A در بعد از مرحله ۹-۸ برگ‌گی ذرت و عامل فرعی در ۱۱ سطح شامل تیمار بذر ذرت با اشعه‌های گاما (کبات ۶۰) (Farahvash et al., 2007) و بتا (استرانسیم ۹۰) (Bradford, 1995) هر دو با شدت ثابت دو میکروکوری، لیزر موج پیوسته هلیوم-نئون با طول موج ۶۳۲۸ آنگستروم (Chen et al., 2002)، میدان مغناطیسی با شدت ۴۰ میلی‌تسلا (Iqbal et al., 2012) و امواج اولتراسونیک یا فراصوت با حداکثر سه وات بر سانتی‌متر مربع (Yaldagard and Mortazavi, 2008) همگی در دو مدت‌زمان‌های ۵ و ۱۰ دقیقه‌ای به همراه شاهد بدون تیمار بودند. بذر ذرت هیبرید سینگل کراس ۲۶۰ از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه گردید. بر اساس نتایج آزمون جوانه‌زنی، توده بذری دارای ۹۳ درصد قوه نامیه بود. قبل از اعمال تیمارهای فیزیکی ابتدا بذرها به مدت دو دقیقه در داخل هیپوکلریت سدیم پنج درصد قرار گرفته و سپس سه مرتبه با آب مقطر شستشو داده شدند. بذره‌های ضدعفونی شده در محیطی تاریک به مدت ۲۴ ساعت در داخل آب مقطر با دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند (Artola et al., 2003) و سپس پیش‌تیمارهای فیزیکی در آزمایشگاه فیزیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز روی بذرها در داخل پتری دیش‌ها اعمال گردید و در نهایت بعد از آماده‌سازی زمین بلافاصله در مزرعه کشت شدند.

به‌منظور آماده‌سازی زمین، عملیات مختلف اعم از شخم پاییزه و دیسک‌زنی و تسطیح در اوایل بهار انجام شد. کاشت در ۲۰ اردیبهشت‌ماه بافاصله بین ردیفی ۷۵ سانتی‌متر و روی ردیفی ۲۰ سانتی‌متر با تراکم ۶۷ هزار بوته در هکتار و در عمق ۴-۳ سانتی‌متری خاک انجام گردید. از کودهای فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم به ترتیب به مقدار ۱۱۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله قبل از کاشت استفاده گردید.

را به‌صورت منطقه‌ای برآورده ساخته است و تأمین مواد غذایی باید با حفظ محیط‌زیست در رأس برنامه‌ها مدنظر قرار گیرد. از عوامل اکولوژیک تأثیرگذار در تولیدات گیاهی باهدف حفظ محیط‌زیست می‌توان به بهره‌گیری از اشعه لیزر، ماوراءبنفش، میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی و نظایر آن‌ها اشاره نمود که علوم کشاورزی به سمت استفاده از آن‌ها سوق یافته است (Faqenabi et al., 2009).

اثرات سوء ناشی از وقوع تنش کم‌آبی بر رشد و عملکرد ذرت به زمان وقوع تنش، مرحله نمو، سطح کمبود و تغییرات شرایط محیطی در طول دوره خشکی بستگی دارد (Sepehri et al., 2001). بروز تنش خشکی به هنگام گلدهی و دوره پر شدن دانه موجب کاهش عملکرد معنی‌دار در ذرت گردید (Silspour et al., 2009). بر اساس تحقیق انجام‌یافته توسط دولت‌آبادیان و همکاران (Dolatabadian et al., 2009) تنش کم‌آبی موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در برگ گیاه ذرت گردید.

از میان روش‌های مختلف پرایمینگ، علاقه برای استفاده از روش‌های فیزیکی جهت پرایمینگ بذر به دلیل اثرات مطلوب آن بر رشد گیاه در طی سال‌های اخیر افزایش‌یافته است (Hernandez et al., 2010). استفاده از برخی عوامل فیزیکی به‌عنوان روشی مدرن جهت دستیابی به عملکردهای بالا در سیستم کشاورزی بشمار می‌روند (Aladjadjian, 2011). پیش‌تیمار غده‌های سیب‌زمینی با اشعه گاما در مرحله قبل از کاشت به بهبود خصوصیات رویشی آن منجر گردید (Hamideldin and Hussin, 2014). پیش‌تیمار بذر گندم با اشعه لیزر موج پیوسته هلیوم-نئون با طول موج ۶۳۲۸ آنگستروم موجب افزایش عملکرد این گیاه شد (Chen et al., 2002). قرارگیری بذر آفتابگردان در معرض میدان مغناطیسی اثرات مثبتی را بر رشد بوته‌های حاصله و افزایش عملکرد به دنبال داشت (Vashisth and Nagarajan, 2010). در تحقیقی افزایش طول و وزن تر گیاه ذرت و همچنین افزایش عملکرد آن در اثر پرایمینگ بذر با میدان مغناطیسی گزارش شده است (Racuciu et al., 2008). این آزمایش باهدف بررسی تأثیر پرایمینگ فیزیکی بذر و تنش کم‌آبی بر فعالیت آنزیمی و عملکرد دانه ذرت و همچنین امکان‌سنجی تعدیل و کاهش اثرات ناشی از وقوع تنش کم‌آبی با استفاده از انواع روش‌های پرایمینگ فیزیکی اجرا شد.

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثر تنش خشکی (جدول ۲) بلندترین بوته‌ها از تیمار آبیاری نرمال و کوتاه‌ترین بوته‌ها از تیمار تنش آبی و به ترتیب معادل ۲۰۷ و ۱۹۶ سانتی‌متر حاصل گردید. به عبارتی در اثر اعمال تنش آبی حدود ۱۱ سانتی‌متر از ارتفاع بوته ذرت کاسته شد (جدول ۲). ذرت‌های در معرض تیمارهای میدان مغناطیسی ۵ و ۱۰ دقیقه‌ای و گاما و لیزر ۵ دقیقه‌ای بیشترین ارتفاع بوته را داشتند. درحالی‌که با افزایش مدت‌زمان قرارگیری بذر در معرض اشعه‌های گاما و لیزر ارتفاع بوته کاهش قابل‌ملاحظه‌ای نشان داد (جدول ۳). اثر کاهشی تنش کم‌آبی روی ارتفاع بوته ذرت توسط سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2011) گزارش شده است. در تحقیق انجام‌یافته توسط فرج‌زاده معماری تبریزی و همکاران (Farajzadeh Memari Tabrizi et al., 2015) به دنبال اعمال تیمار آبیاری نرمال ارتفاع بوته ذرت افزایش و با افزایش دور آبیاری به بالاتر از آن، از ارتفاع بوته‌های ذرت کاسته شد. تیمار بذر ذرت با میدان مغناطیسی موجب افزایش طول ساقه آن گردید (Aladjadjiyan, 2002). افزایش مدت‌زمان تیمار بذر با اشعه لیزر، کاهش ارتفاع بوته در بوته‌های حاصله را به دنبال داشت (Silvianeam and Marariu, 2005).

غلظت پرولین برگ

وقوع تنش خشکی از مرحله ۹-۸ برگی به بعد غلظت پرولین برگ را ۱/۶۴ میکرومول بر گرم وزن تر افزایش داد و حدود ۳۸ درصد بر غلظت این اسیدآمین در برگ در مقایسه با شاهد افزوده شد (جدول ۲). پرولین از مهم‌ترین اسمولیت‌هایی است که در پاسخ به تنش‌های مختلف محیطی و باهدف کاهش میزان تجمع رادیکال‌های آزاد در برگ گیاهان تجمع می‌یابد (Nikolaeva et al., 2010). در مطالعات انجام‌یافته تنش خشکی موجب افزایش غلظت پرولین در برگ‌های ذرت (Jamali et al., 2012) و سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) شده است (Ghorbanli et al., 2010). بیشترین غلظت پرولین به ترتیب در تیمارهای گاما ۵ دقیقه‌ای، میدان‌های مغناطیسی ۵ و ۱۰ دقیقه‌ای و اولتراسونیک ۵ دقیقه‌ای مشاهده گردید (جدول ۳).

کود نیتروژنه از منبع اوره به مقدار ۸۰ کیلوگرم در هکتار و در دو قسمت مساوی در هر یک از مراحل کاشت و ساقه‌روی ذرت (مرحله ۵-۴ برگی) به‌صورت نواری به خاک مزرعه اضافه شد. کنترل علف‌های هرز به روش دستی و در مراحل ساقه-روی و ۹-۸ برگی ذرت در طی فصل رشد انجام یافت. آبیاری از زمان کاشت بذر تا مرحله ۹-۸ برگی به‌طور یکسان در تمامی تیمارها بر اساس ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک انجام و بعداز آن مرحله تا انتهای فصل رشد بسته به نوع تیمار برحسب ۷۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک ادامه یافت. به هنگام رسیدگی تعداد بوته‌های واقع در سطح یک مترمربعی از هر کرت با رعایت اثرات حاشیه‌ای برداشت و صفات ارتفاع بوته، غلظت پرولین برگ، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز (POD) و سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)^۲، تعداد ردیف دانه در بلال، زیست‌توده در واحد سطح و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. فاصله سطح خاک تا انتهای گل‌تاجی به‌عنوان ارتفاع بوته برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. غلظت پرولین به روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر تعیین گردید. فعالیت آنزیم پراکسیداز با دنبال کردن تغییرات جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر در اثر اکسیداسیون گایاکول اندازه‌گیری شد (Kalir et al., 1984). اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز طبق روش گیانوپلیتیس و رایس (Giannopolitis and Ries, 1977) انجام یافت. به‌منظور اندازه‌گیری زیست‌توده در واحد سطح، بوته‌های خشک‌شده در مزرعه موجود در یک مترمربع (۷ بوته) از هر کرت برداشت و با استفاده از ترازوی دیجیتالی توزین گردید. پس از جدا کردن دانه‌ها از بلال‌های موجود نسبت به توزین دانه‌ها با ترازوی دیجیتالی جهت تعیین عملکرد دانه اقدام شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثرات پیش‌تیمار فیزیکی بذر و اعمال تنش خشکی روی کلیه صفات اندازه‌گیری شده به‌غیر از تعداد ردیف دانه در بلال در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بودند.

1. Peroxidase

2. Superoxidedismutase

فعالیت آنزیم پراکسیداز

فعالیت آنزیم پراکسیداز در اثر اعمال تنش کم‌آبی، ۴۰ درصد افزایش یافت (جدول ۲). فعالیت آنزیم پراکسیداز در اثر تنش کم‌آبی در برگ ذرت افزایش یافت (Dolatabadian et al., 2009). بنا به گزارش منوچهری‌فر و همکاران (Manouchehrifar et al., 2011) تنش خشکی موجب افزایش معنی‌دار فعالیت این آنزیم در ذرت گردید که نتایج آزمایش حاضر با یافته‌های این محققین نیز همخوانی دارد.

بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز از تیمار بذر با اشعه گاما ۵ دقیقه‌ای، میدان مغناطیسی ۱۰ دقیقه‌ای، لیزر ۵ دقیقه‌ای، بتا ۱۰ دقیقه‌ای و میدان مغناطیسی ۵ دقیقه‌ای و به ترتیب برابر ۷/۱۲، ۶/۵۹، ۶/۲۲، ۵/۵۰ و ۵/۳۶ میکرومول بر دقیقه بر گرم حاصل شد و بین سایر تیمارها با شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۳). پرایمینگ بذر با برخی از عوامل فیزیکی اعم از میدان مغناطیسی موجب بهینه شدن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از قبیل پراکسیداز می‌شود (Venkateswar Reddy et al., 2012).

جدول ۱. تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و پیش تیمارهای فیزیکی بذر روی صفات مورد بررسی ذرت.

Table 1. The analysis of effects of water deficit and physical seed primings on studied traits of maize.

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی (df)	غلظت پرولین برگ (Leaf proline concentration)	فعالیت آنزیم پراکسیداز (Peroxidase enzyme activity)	فعالیت آنزیم سوپراکسیددیس‌موتاز (Superoxide dismutase enzyme activity)
Replication	تکرار	2	5.45*	0.309 ^{ns}	200.77*
Water stress (W)	تنش	1	44.52**	32.42*	2284.27*
Error _a	خطای اصلی	2	0.06 ^{ns}	2.081 ^{ns}	21.60 ^{ns}
Physical treatment (P)	پیش تیمار فیزیکی	10	3.04*	6.35**	462.82*
W × P	تنش × پیش تیمار فیزیکی	10	1.04 ^{ns}	0.97 ^{ns}	121.27 ^{ns}
Error _b	خطای فرعی	40	1.40	0.76	181.32
C.V (%)	ضریب تغییرات	-	23.23	17.36	19.09

جدول ۱. ادامه

Table 1. Continued

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی (df)	ارتفاع بوته (Plant height)	تعداد ردیف دانه در بلال (Grain row of cob)	زیست توده (Biomass)	عملکرد دانه (Grain yield)
Replication	تکرار	2	109.06 ^{ns}	0.41 ^{ns}	16335.74 ^{ns}	3229.90 ^{ns}
Water stress (W)	تنش	1	1920.24*	3.40 ^{ns}	487104.54*	246789.17*
Error _a	خطای اصلی	2	22.68 ^{ns}	0.55 ^{ns}	10262.77 ^{ns}	11037.44 ^{ns}
Physical treatment (P)	پیش تیمار فیزیکی	10	2521.11**	0.77 ^{ns}	81918.58**	37461.49**
W × P	تنش × پیش تیمار فیزیکی	10	13.03 ^{ns}	0.17 ^{ns}	2097.74 ^{ns}	457.90 ^{ns}
Error _b	خطای فرعی	40	183.77	1.23	12656.34	4333.48
CV (%)	ضریب تغییرات	-	6.72	8.07	9.68	10.82

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns, * and ** represent not significant and significant at 5% and 1%, respectively.

جدول ۲. مقایسه میانگین‌های اثر تنش خشکی بر صفات مورد بررسی ذرت

Table 2. Mean comparisons of effect of water deficit on studied traits of maize.

Irrigation level (mm)	سطح آبیاری (میلی‌متر تبخیر از تشتک)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	غلظت پرولین برگ (میکرومول بر گرم وزن تر) Leaf proline concentration ($\mu\text{m g}^{-1} \text{fw}^{-1}$)	فعالیت آنزیم پراکسیداز (میکرومول بر دقیقه بر گرم) Peroxidase enzyme activity ($\mu\text{m min}^{-1} \text{g}^{-1}$)
70 mm	نرمال	207.11	4.27	4.17
110 mm	اعمال تنش	196.32	5.91	5.88
LSD (5%)		5.045	0.273	0.869

جدول ۲. ادامه

Table 2. Continued

Irrigation level (mm)	سطح آبیاری (میلی‌متر تبخیر از تشتک)	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (میکرومول بر دقیقه بر گرم) Superoxide dismutase enzyme activity ($\mu\text{m min}^{-1} \text{g}^{-1}$)	زیست توده (گرم در مترمربع) Biomass (g m^{-2})	عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Grain yield (g m^{-2})
70 mm	نرمال	63.32	1247.76	669.08
110 mm	اعمال تنش	77.73	1075.94	546.78
LSD (5%)		2.802	107.3	111.3

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Values followed by the same letter columns do not differ significantly at $p=1\%$ according to DMR

فعالیت از نظم خاصی تبعیت نمی‌کرد (Afrough et al., 2011).

تعداد ردیف دانه در بلال

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) اثرات تنش خشکی و پیش‌تیمارهای فیزیکی بذر روی تعداد ردیف دانه در بلال غیر معنی‌دار بود. در آزمایش انجام‌یافته توسط ربانی و امام (Rabbani and Emam, 2011) نیز اثر تنش خشکی بر تعداد ردیف دانه در بلال ذرت غیر معنی‌دار گردید.

زیست توده در واحد سطح

در اثر اعمال تنش کم‌آبی حدود ۱۷۰ گرم در مترمربع از زیست توده ذرت در مقایسه با آبیاری نرمال کاسته شد (جدول ۲). در تحقیق انجام‌یافته توسط ربانی و امام (Rabbani and Emam, 2011) زیست توده ذرت که نشانگر میزان ماده خشک تجمع یافته در اندام هوایی در زمان برداشت است، در اثر آبیاری نرمال بهبود یافت و وقوع تنش خشکی در هر سه

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

مقایسه میانگین‌های اثر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نشان داد که وقوع تنش خشکی فعالیت این آنزیم را در مقایسه با آبیاری نرمال افزایش داد (جدول ۲). به دنبال تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در برگ ذرت افزایش یافت (Manouchehrifar et al., 2011). افزایش در فعالیت این آنزیم در برگ گندم در اثر اعمال تنش خشکی گزارش شده است (Afrough et al., 2011).

سایر یافته‌های این مطالعه نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۹۵/۷۹ میکرومول بر دقیقه بر گرم) در اثر پیش‌تیمار بذر با اشعه لیزر ۵ دقیقه‌ای حاصل می‌شود و اختلاف آماری معنی‌داری بین سایر تیمارها با شاهد وجود نداشت (جدول ۳). تیمار بذر گندم با میدان‌های مغناطیسی موجب افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز در گیاهان حاصله شد ولی این افزایش

مغناطیسی توسط فیشر و همکاران (Fischer et al., 2004) نیز گزارش شده است. در اثر پیش تیمار بذر چغندر قند با اشعه لیزر میزان تجمع ماده خشک در ریشه افزایش یافت (Sacala et al., 2012).

عملکرد دانه

مقایسه میانگین‌های اثر تنش خشکی روی عملکرد دانه (جدول ۲) نشان داد که بروز تنش از مرحله ۹-۸ برگی به بعد کاهش عملکردی معادل ۱۸/۵ درصد را در ذرت به دنبال دارد. در مطالعاتی مشابه اعمال تنش رطوبتی در مراحل کاکل‌دهی و تشکیل بلال (Cakir, 2004) و قبل از ابریشم‌دهی ذرت (Osborne et al., 2005) موجب کاهش معنی‌دار عملکرد شد.

مرحله رویشی، گلدهی و پر شدن دانه به ترتیب موجب ۱۵، ۱۱ و ۱۷ درصد کاهش در مقدار این صفت در مقایسه با شاهد شد. در تحقیقی مشابه، در اثر تنش خشکی زیست‌توده گندم در واحد سطح کاهش یافت (Pirevatlou et al., 2010). در این مطالعه بیشترین زیست‌توده مربوط به تیمارهای اشعه لیزر ۵ دقیقه‌ای و میدان‌های مغناطیسی ۵ و ۱۰ دقیقه‌ای بود. به‌گونه‌ای که به دنبال این تیمارها به‌طور میانگین زیست‌توده ذرت حدود ۱۶ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت و اختلاف آماری معنی‌داری بین این تیمارها وجود نداشت و کمترین میزان این صفت نیز از تیمار اشعه گاما ۱۰ دقیقه‌ای و معادل ۹۴۵ گرم در مترمربع به دست آمد (جدول ۳). تیمار بذر ذرت با اشعه لیزر موجب افزایش زیست‌توده آن گردید (Hernandez et al., 2008). افزایش در زیست‌توده آفتابگردان در اثر تیمار بذر آن با میدان

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های اثر پیش تیمارهای فیزیکی بذر بر صفات مورد بررسی ذرت

Table 3. Mean comparisons of effect of physical seed primings on studied traits of maize.

پیش تیمارهای فیزیکی Physical primings	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	غلظت پرولین برگ (میکرومول بر گرم وزن تر) Leaf proline concentration ($\mu\text{m g}^{-1} \text{fw}^{-1}$)	فعالیت آنزیم پراکسیداز (میکرومول بر دقیقه بر گرم) Peroxidase enzyme activity ($\mu\text{m min}^{-1} \text{g}^{-1}$)
شاهد Control	192.25 ^{bc}	4.92 ^{abc}	3.87 ^{ef}
گاما ۵ دقیقه‌ای Gamma 5 minute	219.79 ^a	6.14 ^a	7.12 ^a
گاما ۱۰ دقیقه‌ای Gamma 10 minute	168.16 ^d	4.60 ^{abc}	3.28 ^f
بتا ۵ دقیقه‌ای Beta 5 minute	195.50 ^b	4.78 ^{abc}	3.65 ^{ef}
بتا ۱۰ دقیقه‌ای Beta 10 minute	196.20 ^b	5.37 ^{ab}	5.50 ^{bcd}
لیزر ۵ دقیقه‌ای Laser 5 minute	217.50 ^a	5.38 ^{ab}	6.22 ^{abc}
لیزر ۱۰ دقیقه‌ای Laser 10 minute	176.33 ^{cd}	3.63 ^c	4.12 ^{def}
مغناطیس ۵ دقیقه‌ای Magnetic 5 minute	229.87 ^a	5.58 ^{ab}	5.36 ^{bcd}
مغناطیس ۱۰ دقیقه‌ای Magnetic 10 minute	230.25 ^a	5.84 ^{ab}	6.59 ^{ab}
اولتراسونیک ۵ دقیقه‌ای Ultrasonic 5 minute	192.25 ^{bc}	5.34 ^{ab}	4.58 ^{def}
اولتراسونیک ۱۰ دقیقه‌ای Ultrasonic 10 minute	200.79 ^b	4.41 ^{bc}	4.97 ^{cde}
LSD (5%)	15.82	1.382	1.288

جدول ۳. ادامه

Table 3. Continued

پیش تیمارهای فیزیکی Physical primings	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (میکرومول بر دقیقه بر گرم) Superoxide dismutase enzyme activity ($\mu\text{m min}^{-1} \text{g}^{-1}$)	زیست توده (گرم در مترمربع) Biomass (g m^{-2})	عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Grain yield (g m^{-2})
شاهد Control	66.80 ^{bc}	1107.83 ^{bc}	582.55 ^{bc}
گاما ۵ دقیقه‌ای Gamma 5 minute	69.89 ^{bc}	1255 ^{ab}	684.81 ^a
گاما ۱۰ دقیقه‌ای Gamma 10 minute	53.75 ^c	945 ^d	464.88 ^d
بتا ۵ دقیقه‌ای Beta 5 minute	66.71 ^{bc}	1170.33 ^{ab}	613.74 ^{abc}
بتا ۱۰ دقیقه‌ای Beta 10 minute	65.58 ^{bc}	1193.33 ^{ab}	631.85 ^{abc}
لیزر ۵ دقیقه‌ای Laser 5 minute	95.79 ^a	1284.83 ^a	662.82 ^{ab}
لیزر ۱۰ دقیقه‌ای Laser 10 minute	63.72 ^{bc}	988.33 ^{cd}	487.59 ^d
مغناطیس ۵ دقیقه‌ای Magnetic 5 minute	80.88 ^{ab}	1284.50 ^a	694.53 ^a
مغناطیس ۱۰ دقیقه‌ای Magnetic 10 minute	75.39 ^{abc}	1278.33 ^a	698.72 ^a
اولتراسونیک ۵ دقیقه‌ای Ultrasonic 5 minute	68.86 ^{bc}	1107.17 ^{bc}	570.17 ^c
اولتراسونیک ۱۰ دقیقه‌ای Ultrasonic 10 minute	68.41 ^{bc}	1165.67 ^{ab}	595.62 ^{bc}
LSD (5%)	19.86	131.30	76.81

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

Values followed by the same letter columns do not differ significantly at $p=1\%$ according to DMR.

موجب افزایش معنی‌دار عملکرد و کاهش اثرات ناشی از تنش-ها روی این گیاه شد. به‌طور مشابه، تیمار بذرهای ذرت، گندم، آفتابگردان و جو با میدان مغناطیسی منجر به بهبود رشد و عملکرد شد (Jamil et al., 2012). نتایج مشابهی نیز توسط غلامپور و همکاران (Golampour et al., 2010) در اثر استفاده از اشعه گاما در برنج و فقه نبی و همکاران (Faqenabi et al., 2009) در اثر استفاده از میدان مغناطیسی در گلرنگ گزارش شده است.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش وقوع تنش کم‌آبی از مرحله ۸-۹ برگی به بعد، عملکرد دانه ذرت را ۱۸/۵ درصد کاهش داد. همچنین عملکرد دانه ذرت به دنبال پیش‌تیمار

تیمارهای میدان مغناطیسی ۵ و ۱۰ دقیقه‌ای، گاما و لیزر ۵ دقیقه‌ای با میانگین ۶۸۵ گرم در مترمربع دارای بیشترین عملکرد دانه نسبت به شاهد بودند و افزایش مدت‌زمان پیش‌تیمار بذر با اشعه‌های گاما و لیزر از ۵ به ۱۰ دقیقه، موجب کاهش ۲۰ و ۱۷ درصدی عملکرد دانه شد. در مطالعه حاضر تیمار بذر با اشعه بتا و امواج اولتراسونیک در هر دو زمان ۵ و ۱۰ دقیقه‌ای تغییر قابل‌ملاحظه‌ای از نظر عملکرد نسبت به شاهد نشان نداد (جدول ۳). استفاده از پرتو گاما در شدت پایین به‌عنوان پیش‌تیمار بذر به افزایش عملکرد گیاه کرچک (*Ricinus communis*) منجر شد (Sharma and Rana, 2007). بنا به گزارش هرناندز و همکاران (Hernandez et al., 2008) تیمار بذر ذرت با اشعه لیزر

کلی، پیش‌تیمار بذر ذرت با میدان‌های مغناطیسی و اشعه‌های گاما و لیزر در مدت‌زمان کوتاه جهت بهبود عملکرد در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش می‌تواند توصیه شود.

بذر آن با میدان مغناطیسی در مدت‌زمان‌های ۵ و ۱۰ دقیقه-ای و اشعه‌های گاما و لیزر ۵ دقیقه‌ای به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافت و بالعکس، تیمارهای گاما و لیزر ۱۰ دقیقه‌ای موجب افت معنی‌دار عملکرد دانه گردید. به‌عنوان یک نتیجه

منابع

- Afrough, Z., Afrough, H., Sateei, A., 2011. Effect of magnetic field on catalase and superoxide dismutase enzymes concentrations in wheat seedlings. National Conference on Agronomy Advances. Young Researcher of Share Ghods Branch. [In Persian].
- Aladjadjian, A., 2002. Study of influence of magnetic field on some biological characteristics of *Zea mays*. Journal of Central European Agriculture. 3(2), 89-94.
- Aladjadjian, A., 2011. Ultrasonic stimulation of the development of lentil and wheat seeding. Romanian Journal of Biophysics. 21(3), 179-187.
- Artola, A., Carrillo-Castaneda, G., Santos, G.D.L., 2003. Hydropriming: A strategy to increase *Lotus corniculatus* L. seed vigor. Seed Science and Technology. 3, 455-463.
- Ashofteh Beiragi, M., Ebrahimi, M., Mostafavi, Kh., Golbashy, M., Khavari Khorasani, S., 2015. A study of morphological basis of corn (*Zea mays* L.) yield under drought stress condition using correlation and path coefficient analysis. Journal of Cereals and Oil seeds. 2(2), 32-37.
- Bates, L.S., Waldren, R.P., Tevre, I.V., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil. 39, 205-207.
- Bradford, K., 1995. Water relations in seeds germinations. In: Kiged, J., Galili, G. (eds.), Seed Development and Germination. Marcel Dekker. Inc. New York. pp 351-396.
- Cakir, R., 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research. 89, 1-16.
- Chen, Y.P., Li, L., Wang, F.M., 2002. The effects of He-Ne laser and KT treatment on the seeds germination and growth of wheat. Acta Laser Biologica Sienica. 6, 412-416.
- Dolatabadian, A., Modarres Sanavy, S.A.M., Sharifi, M., 2009. Effect of water deficit stress and foliar application of ascorbic acid on antioxidant enzymes activity and some biochemical's changes in leaves of grain corn (*Zea mays* L.). Iranian Journal of Biology. 22(3), 407-422. [In Persian with English Summary].
- Eskandari, H., Kazemi, K., 2011. Effect of seed priming on germination properties and seedling establishment of cowpea (*Vigna sinensis*). Notulae Scientia Biologica. 3 (4), 113-116.
- Faqenabi, F., Tajbakhsh, M., Bernooshi, I., Saber-Rezaii, M., Taheri, F., Parvizi, S., Izadkhah, M., Hasanzadeh Gorttapeh, A., Sedqi, H., 2009. The effect of magnetic field on growth, development and yield of safflower and its comparison with other treatments. Research Journal of Biology Science. 4, 174-178.
- Farahvash, F., Hosseinpour Feizi, M.A., Madadi Saray, V., Azarpham, P., 2007. Effect of gamma ray on some physiological traits of wheat. Journal of Agricultural Science. Islamic Azad University. Tabriz Branch. 1(3). [In Persian with English Summary].
- Farajzadeh Memari Tabrizi, E., Yarnia, M., Ahmadzadeh, V., Farajzadeh Memari Tabrizi, N., 2015. Effect of levels of drought stress and potassium humate concentrations on two hybrids of maize (604 and 704). Crop Physiology Journal. Islamic Azad University. Ahwaz Branch. 7(25), 105-118. [In Persian with English Summary].
- Fischer, G., Tausz, M., Kock, M., Grill, D., 2004. Effect of weak 162.3 Hz magnetic fields on the growth parameters of young sunflower and wheat seedling. Bio electromagnetics. 25, 638-641.
- Ghorbanli, M.L., Bakhshi Khaniki, G.R., Salimi Yazei, S., Hedayati, M., 2010. Effect of water

- deficit and its interaction with ascorbic acid on proline, soluble sugars concentrations and catalase and glutathione peroxidase enzymes activity in Black Seeds (*Nigella Sativa* L.). Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants. 26(4), 466-476. [In Persian with English Summary].
- Giannopolitis, C., Ries, N., 1977. Superoxide dismutases I: Occurrence in higher plants. Plant Physiology. 59, 309-314.
- Golampour, M.A., Dehpour Jouybari, V., Rahdari, P., 2010. Evaluation of effect of gamma irradiation and salt stress on some physiological and morphological characteristics of rice (*Oryza Sativa* L.). Crop Ecophysiology Journal. 1(2). [In Persian with English Summary].
- Hamideldin, N., Hussin, O.S., 2014. Morphological, physiological and molecular changes in *solanum tuberosum* L. in response to pre-sowing tuber irradiation by gamma rays. American Journal of Food and Nutrition. 2(1), 1-6.
- Hernandez, A.C., Carballo, C.A., Artola, A., Michtchenko, A., 2008. Laser irradiation effects on maize seed field performance. Seed Science Technology. 34, 193-197.
- Hernandez, A.C., Dominguez, P.A., Cruz, O.A., Ivavniv, R., Carballo, C.A., Zepeda, B.R., 2010. Laser in agriculture. International Agrophysics. 24, 407-422.
- Iqbal, M., Haq, Z.U., Jamil, Y., Ahmad, M.R., 2012. Effect of pre-sowing magnetic treatment on properties of pea. International Agrophysics. 26, 25-31.
- Jamali, J., Enteshari, Sh., Hosseini, M., 2012. The effect of potassium and zinc elements on biochemical and physiological changes to drought resistance in maize (sk 704 cv.). Crop Physiology Journal of Ahwaz Azad University. 4(14), 37-44. [In Persian with English Summary].
- Jamil, Y., UI-Haq, Z., Iqbal, M., Perween, T., Amin, N., 2012. Enhancement in growth and yield of mushroom using magnetic field treatment. International Agrophysics. 26, 375-380.
- Kalir, A., Omri, G., Poljakoff-Mayber, A., 1984. Peroxidase and Catalase activity in leaves of *Halimioneportulacoides* exposed to salinity. Plant Physiology. 62, 238-244.
- Khouchaki, A., Najib Nia, S., Lalehgani, B., 2009. Evaluation of saffron (*Crocus sativus* L.) yield in intercropping with cereals, beans and medical plants. Iranian Agricultural Research Journal. 7(1), 175-184. [In Persian with English Summary].
- Manouchehrifar, P., Lari Yazdi, H., Zaji, B., 2011. Effect of salicylic acid on catalase and peroxidase enzymes activity in maize seedlings in drought stress condition. First Conference of New Topics in Agriculture. Islamic Azad University. Saveh Branch. November 2011. [In Persian].
- Nikolaeva, M.K., Maevskaya, S.N., Shugaev, A.G., Bukhov, N.G., 2010. Effects of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. Russian Journal of Plant Physiology. 57, 87-95.
- Osborne, S.L., Schepers, D.D., Francis, J.S., Schlemmer, M.R., 2005. Use of spectral radiance to estimate in-season biomass and grain yield in nitrogen and water stress on corn. Crops Science. 42, 165-171.
- Pill, W.G., Kilian, E.A., 2000. Germination and emergence of parsley in response to osmotic or matrix seed priming and treatment with gibberlin. Horticulture Science. 35, 907-909.
- Pirevatlou, A.S., Dehdar Masjedlou, B., Ramiz, T.A., 2010. Evaluation of yield potential and stress adaptive traits in wheat genotypes under post anthesis drought stress conditions. African Journal of Agricultural Research. 5, 2829-2836.
- Rabbani, J., Emam, Y., 2011. Yield response of maize hybrids to drought stress at different growth stages. Journal of Crop Production and Processing. 1(2), 65-78. [In Persian with English Summary].
- Racuciu, M., Creanga, D., Horga, I., 2008. Plant growth under static magnetic field influence. Romanian Journal of Physics. 53, 353-359.
- Sacala, E., Demczuk, A., Grzyoe, E., Prosbabialczyk, U., Szajsner, H., 2012. Impact of pre-sowing laser irradiation of seeds on sugar beet properties. International Agrophysics. 26, 295-300.
- Sepeshri, A., Modarres Sanavi, S.A., Gharehyazi, B., Yamini, Y., 2001. Effect of water deficit and different nitrogen rates on growth and development stages, yield and yield component of maize (*Zea mays* L.). Iranian

- Journal of Crop Sciences. 4(3), 184-200. [In Persian with English Summary].
- Sharma, D.K., Rana, D.S., 2007. Response of castor (*Ricinus communis*) genotypes to low doses of gamma irradiation. Indian Journal of Agricultural Science. 77 (7), 467-469.
- Silspour, M., Jafari, P., Mollahosseini, H., 2009. Effect of drought stress on maize. Journal of Research in Agricultural Science. 2(2), 13-24. [In Persian with English Summary].
- Silvianean, U., Marariu, V.V., 2005. Plant growth in experimental space flight magnetic field conditions. Romanian Journal of Biophysics. 15(1), 41-46.
- Soltani, M., Azizi, F., Chayichi, M.R., 2011. Selection of best hybrid between 11 new hybrids of maize based on grain yield and forage in drought stress condition. First Conference of New Topics in Agriculture. Islamic Azad University. Saveh Branch. November 2011. [In Persian].
- Vashisth, A., Nagarajan, S., 2010. Effect on germination and early growth characteristic in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. Plant Physiology. 167, 149-156.
- Venkateswar Reddy, K., Raisa Reshma, S., Jareena, S., Nagaraju, M., 2012. Exposure of green gram seeds (*Vigna radiata*. Var. *radiata*) to static magnetic fields: effects on germination and α -amylase activity. Research Journal of Seed Science, DOI: 10.3923/rjss.
- Yaldagard, M., Mortazavi, S.A., 2008. Application of ultrasonic Waves as a priming technique for the germination of barley seed. Journal of Plant Physiology. 114 (1), 14-21.