

بررسی برخی خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد هیبریدهای ذرت (*Zea mays L.*) تحت شرایط تنش شوری

مهديه عسکری^{۱*}، علی اکبر مقصودی مود^۱ و وحید رضا صفاری^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۲/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۶/۶)

چکیده

بخش وسیعی از اراضی زیر کشت ذرت در مناطقی قرار گرفته‌اند که به درجات مختلف دچار مشکل شوری هستند. این تحقیق به منظور بررسی اثر سطوح مختلف تنش شوری بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک هیبریدهای مختلف ذرت با انجام دو آزمایش در گلخانه (به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار) و مزرعه (به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار)، در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح شوری آب آبیاری (۲، ۴، ۶ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) و ۷ هیبرید ذرت (SC-301، SC-647، SC-704، SC-404، SC-500، SC-700) و ماکسیم (ماکسیم) بودند. در طول دوره رشد، نمونه‌های برگي اخذ و در آنها صفات فیزیولوژیک مثل فلورسانس کلروفیلی و نشت یونی اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه ذرت در کرت‌های مزرعه نیز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تنش شوری، شاخص کلروفیل بافت‌های برگي و کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II را به دلیل افزایش فلورسانس مبدأ (F_0) و کاهش فلورسانس ماکزیم (F_m) کاهش می‌دهد. از طرف دیگر، با افزایش سطح شوری، میزان نشت یونی زیاد شد. همچنین، در اثر افزایش شوری، عملکرد دانه کاهش یافت. به طوری که بیشترین عملکرد دانه در کرت‌هایی حاصل گردید که کمترین سطح شوری را داشتند. بررسی ضرایب همبستگی نشان داد که پارامترهای F_m و F_0 همبستگی معنی‌داری با تحمل به شوری از لحاظ عملکرد ندارند. در حالی که شاخص F_v/F_m رابطه مثبتی با تحمل به شوری از نظر همبستگی با عملکرد نشان داد. بیشترین شاخص کلروفیل، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، پایداری غشا و عملکرد دانه در هیبرید SC-704 به دست آمد و از این جهات نسبت به سایر هیبریدها از تحمل بیشتری نسبت به شوری برخوردار بود و به عنوان رقم مقاوم به تنش شوری معرفی گردید.

واژه‌های کلیدی: پایداری غشا، فلورسانس کلروفیلی، نشت یونی، عملکرد دانه

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲. گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mahdiye.askary@yahoo.com

مقدمه

امروزه دامنه کاربرد ذرت علاوه بر تغذیه دام و طیور، در تغذیه انسان و در صنعت نیز رو به گسترش می‌باشد. این گیاه به دلیل تنوع، سازگاری و ارزش غذایی فراوان در ردیف بهترین گیاهان زراعی قرار گرفته است. ذرت در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه نسبت به سایر مراحل به شوری مقاوم‌تر بوده، اما به‌طور کلی جزو گیاهان حساس به شوری طبقه‌بندی می‌شود (۲۱). خصوصیات بیوشیمیایی، فیزیولوژیک، آناتومیک و مورفولوژیک گیاهان زراعی به‌طور مستقیم تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرند (۱۴). امروزه فلورسانس کلروفیلی، به‌عنوان یک معیار سنجش برای اندازه‌گیری تأثیر تنش‌های محیطی بر گونه‌های زراعی و تعیین میزان مقاومت آنها در برابر تنش‌های محیطی پیشنهاد شده و می‌تواند نشان دهد که تا چه اندازه این تنش‌ها بر دستگاه فتوسنتزی گیاه صدمه وارد کرده‌اند (۱۶).

به‌طور کلی، راندمان جذب انرژی تابشی توسط برگ گیاهان ۱۰۰٪ نبوده و همواره مقداری انرژی به شکل‌های مختلف تلف می‌شود. مولکول‌های کلروفیل، آنتن‌های جاذب نور را تشکیل می‌دهند و انرژی تابشی جذب شده توسط مولکول کلروفیل در یکی از سه مسیر به جریان انداختن عمل فتوسنتز، پراکنده شدن به‌صورت گرما و بازگشت مجدد به‌صورت انرژی تابشی یعنی فلورسانس کلروفیل مصرف می‌شود که این بازتابش به رنگ صورتی و قابل اندازه‌گیری می‌باشد (۱۸). در حقیقت، مقدار فلورسانس کلروفیل، سالم بودن غشای تیلاکوئید و کارایی نسبی انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I را نشان می‌دهد. وقتی مولکول‌های کوئینون (اولین گیرنده الکترون در فتوسیستم II) در وضعیت اکسید شده هستند (وضعیتی که مرکز واکنش فتوسیستم II فعال بوده و پذیرنده‌های الکترون که به‌ترتیب شامل کوئینون، Q_A و Q_B بوده انرژی را به P_Q و از P_Q به فتوسیستم I انتقال داده و صرف تولید ATP و NADPH می‌کنند)، در این حالت سیستم دارای کمترین فلورسانس (F_0) است. به‌تدریج، با افزایش درجه احیا شدن، فلورسانس افزایش می‌یابد. این فرآیند تا احیای کامل ادامه یافته و مراکز احیای

فتوسیستم II به‌تدریج بسته می‌شوند و انتقال الکترون به فتوسیستم I صورت نمی‌گیرد. در این حالت، فلورسانس کلروفیلی افزایش می‌یابد و مرکز فتوسیستم دارای بیشترین فلورسانس (F_m) است. در واقع، تنش شوری با تأثیر منفی بر ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون باعث می‌شود که سیستم به سرعت به F_m برسد، که نتیجه آن کاهش فلورسانس متغیر خواهد بود. از طرفی، با افزایش شدت نور، سیستم فتوسنتزی انرژی مازاد را از طریق خاموشی غیر فتوشیمیایی و به‌صورت غیرتشنشی از دست می‌دهد. این عمل باعث حفاظت از مراکز واکنش می‌شود (۱ و ۲۲). از این رو، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II به‌صورت نسبت F_v/F_m (نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس ماکزیمم) بیان می‌شود. این نسبت، نشان‌دهنده حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II می‌باشد (۲۲).

تنش‌های محیطی، از قبیل تنش شوری، با تأثیر بر فتوسیستم II باعث کاهش این نسبت می‌گردند. از آنجایی که آسیب‌پذیرترین بخش دستگاه فتوسنتزی گیاه در برابر صدمات ناشی از نور، فتوسیستم II می‌باشد، به همین دلیل در اغلب گیاهان صدمات وارده بر فتوسیستم II اولین نشانه بروز تنش در برگ است. بنابراین، فتوسیستم II نقش مهمی در پاسخ فتوسنتزی به عوامل محیطی در گیاهان عالی بازی می‌کند (۳). گزارش شده که F_v/F_m همبستگی مثبتی با عملکرد تحت شرایط تنش دارد (۱۶). هم‌چنین، گزارش شده که ارقام متحمل به شوری نسبت F_v/F_m بزرگ‌تری نسبت به ارقام حساس دارند (۲۴). هم‌چنین، تحت شرایط تنش شوری، مقدار کلروفیل در گیاهان حساس به شوری مانند گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی، نخود و لوبیا کاهش می‌یابد. اما در گیاهان متحمل به شوری مانند ارزن مرواریدی، خردل، جو و گندم، مقدار کلروفیل افزایش می‌یابد (۲). به‌طور کلی، عملکرد بسیاری از گونه‌ها در شرایط تنش شوری کاهش می‌یابد که اغلب به‌دلیل کاهش ظرفیت فتوسنتزی است. یکی از دلایل این کاهش فتوسنتز، کاهش میزان کلروفیل است (۸). هم‌چنین، تنش شوری باعث افزایش نشت یونی می‌گردد. دلیل این افزایش، می‌تواند تولید گونه‌های فعال

شده (با هدایت الکتریکی $1/021$ دسی‌زیمنس بر متر) اضافه شد. هر واحد آزمایشی دارای ۴ گلدان در هر تکرار بود و در هر گلدان ۴ بذر کشت گردید. جهت تأمین عناصر غذایی، محلول غذایی حاوی 10% نیتروژن، 1% آهن، 8% فسفر، 4% پتاسیم، $1/0\%$ روی و $5/0\%$ مس همراه با آبیاری به گلدان‌ها اضافه گردید. مقدار کلرور سدیم لازم برای تیمارهای مختلف بعد از کسر شوری خاک، در آب مقطر حل و به گلدان‌ها اضافه گردید. کمترین سطح شوری، که مجموع شوری خاک ($1/021$) و شوری آب ($0/979$) برابر ۲ دسی‌زیمنس بر متر بود، به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد و در طول دوره رشد فقط با آب مقطر آبیاری گردید. قبل از اعمال تیمارها، مقادیر درصد رطوبت اشیاع (SP) و ظرفیت زراعی (FC) خاک اندازه‌گیری شدند که به‌ترتیب برابر با ۲۲ و ۱۷ درصد بودند. سپس مقدار نمک لازم برای تهیه محلول با هدایت الکتریکی مختلف از رابطه $y = 640 \times EC$ به‌دست آمد. در این رابطه، y مقدار نمک لازم برای یک لیتر آب مقطر و EC هدایت الکتریکی مورد نظر می‌باشند. بعد از اعمال تنش، گلدان‌ها روزانه با ترازوی با دقت $0/5$ گرم توزین و با اضافه نمودن آب مقطر، رطوبت خاک آنها در حد ظرفیت زراعی حفظ گردید. این عمل تا زمان نمونه‌گیری از بوته‌ها انجام شد. فاکتورهای مربوط به گلخانه شامل نشت و پایداری غشا، فلورسانس کلروفیلی و شاخص کلروفیل بودند و عملکرد دانه از مزرعه به‌دست آمد.

نشت یونی و پایداری غشا

برای این منظور، از روش کایا و همکاران (۱۰) استفاده گردید. سی روز پس از اعمال تنش، از هر بوته یک برگ در موقعیت یکسان جدا و سپس قطعات دایره‌ای توسط سوراخ کن کاغذ جدا و روی کاغذ صافی واتمن موجود جهت حذف نمک‌ها و الکترولیت‌های روی سطح و در محل برش با آب مقطر شستشو گردیدند. سپس، نمونه‌ها را داخل لوله‌های درب‌دار حاوی ۵ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده و به‌مدت ۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس، هدایت الکتریکی اولیه محلول در تماس

اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو باشد. گونه‌های فعال اکسیژن منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تغییر در نفوذپذیری غشا (نشت یونی) و خسارت به سلول می‌گردند که در نتیجه آن غشای سلولی پاره شده و باعث افزایش نشت یونی به بیرون از سلول می‌شود (۱۷).

هدف از انجام این آزمایش، بررسی اثر تنش شوری بر پارامترهای فلورسانس کلروفیلی، شاخص کلروفیل، میزان نشت یونی، پایداری غشا و عملکرد دانه هفت هیبرید ذرت و بررسی روابط بین عملکرد دانه با هر یک از صفات مورد بررسی بود. از آنجایی که میزان کلروفیل در برگ و شاخص‌های کلروفیلی تعیین‌کننده میزان فتوسنتز در گیاه می‌باشند، به همین دلیل، یکی از اهداف اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیلی و مشخص کردن میزان کارایی فتوسنتزی آنها تحت شرایط تنش بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت دو آزمایش در دانشگاه شهید باهنر کرمان اجرا گردید. در مرحله اول، یک آزمایش در شرایط کنترل شده در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان با دمای حداکثر 30 ± 2 و حداقل 18 ± 2 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 40% به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح شوری آب آبیاری (۲، ۴، ۶ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) و هفت هیبرید ذرت (SC-700، SC-500، SC-404، SC-704، SC-647، SC-301 و ماکسیم) بودند که به‌صورت تصادفی توزیع شدند. بذرها قبل از کاشت با قارچ‌کش ویتاواکس ضدعفونی و از هر هیبرید پنج بذر در یک ظرف جداگانه که دو عدد کاغذ خشک‌کن در کف آن قرار داده شده بود، قرار گرفت. به هر ظرف مقدار 10 میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و در محیط تاریک آزمایشگاه با دمای 27 درجه سلسیوس به‌مدت دو روز قرار گرفتند. پس از جوانه‌زنی، گیاهچه‌های حاصل به محیط اصلی آزمایش که گلدان‌هایی به ارتفاع 13 و قطر دهانه $9/5$ سانتی‌متر بودند منتقل گردیدند. به هر گلدان 620 گرم ماسه بادی شسته

شوری در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان با موقعیت جغرافیایی ۳۰ درجه شمالی و طول ۵۷ درجه شرقی با ارتفاع ۱۷۵۴ متر از سطح دریا در سال ۱۳۹۰ به صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام گردید. کاشت در تاریخ ۳ خرداد در عمق ۵ سانتی‌متری انجام گرفت. کرت‌های اصلی آزمایش شامل چهار سطح شوری آب آبیاری (۲، ۴، ۶ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) و کرت‌های فرعی شامل هفت رقم ذرت بودند. فاصله بین کرت‌های اصلی ۳ متر و فاصله بین تکرارها ۲ متر در نظر گرفته شد. سپس، با توجه به نتایج آنالیز خاک، کودهای پایه شامل نیتروژن از منبع اوره و سوپرفسفات تریپل به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار به خاک اضافه شد. بعد از کاربرد کودها، هدایت الکتریکی عصاره یک به یک خاک و آب آبیاری با دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد که به ترتیب برابر با ۰/۹۹۶ dS/m و ۱/۰۰۴ dS/m بود.

اعمال تنش در مرحله گیاهچه (۴ برگی) و از طریق آب آبیاری به این صورت انجام گرفت که ابتدا مقدار محلول نمک کلرید سدیم لازم برای اعمال تیمارهای با EC‌های مختلف از روی اطلاعاتی مثل وزن خاک اشباع، وزن مخصوص خاک، عمق توسعه ریشه، ظرفیت زراعی و کسر مقدار EC آب آبیاری و EC خاک مورد نظر محاسبه گردید. سپس در مخازن مختلف، محلول‌های نمکی با EC‌های متفاوت تهیه و در زمان آبیاری مزرعه، این محلول‌ها جایگزین آب آبیاری شدند. در واقع، مقادیر مورد نیاز آب، که مجموعاً در هر نوبت آبیاری یک مترمکعب به ازای هر کرت اصلی بود، از مخازن مدرج توسط شیلنگ وارد کرت‌های اصلی که هر کدام دارای ۷ کرت فرعی (ارقام مختلف) بود می‌گردید. در پایان دوره رسیدگی، از هر ردیف کاشت سه بوته برای هر هیبرید برداشت گردید. در این آزمایش، طول دوره رسیدگی هیبریدهای SC در منطقه مورد تحقیق به‌طور متوسط یک هفته کمتر از ماکسیما بود و با توجه به این‌که آبیاری در مزرعه هر هفت روز یک بار توسط سطوح مختلف آب شور انجام می‌گرفت، در آخرین نوبت آبیاری

با نمونه‌ها (EC₁) اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها سپس در دمای ۲۰- درجه سلسیوس منجمد شدند و بعد از آن در دمای اتاق نگهداری شدند. عمل یخ زدن و ذوب کردن نمونه‌ها چند بار تکرار گردید تا سلول‌ها پاره شده و محتویات آنها به محلول بیرونی آزاد گردد. در نهایت، هدایت الکتریکی نهایی (EC₂) قرائت گردید. میزان نشت یونی (EL) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$EL = \frac{EC_1}{EC_2} \times 100 \quad [1]$$

پایداری غشا (Membrane stability, MS) از رابطه زیر محاسبه گردید. این پارامتر عکس نشت یونی غشا می‌باشد.

$$MS = (1 - \frac{EC_1}{EC_2}) \times 100 \quad [2]$$

فلورسانس کلروفیلی

اندازه‌گیری روی آخرین برگ کاملاً توسعه یافته در یک بوته از هر گلدان انجام شد. برگ‌هایی انتخاب شدند که وضعیت مشابهی از هر نظر داشتند. پارامترهای فلورسانس کلروفیل با استفاده از فلورومتر Junior-pam اندازه‌گیری شدند. برای این منظور، قسمتی از برگ مورد نظر به مدت ۳۰ دقیقه توسط فویل آلومینیوم پوشیده و به تاریکی عادت داده شدند. سپس، با تابش Act. Light، به برگ، مقادیر F_v/F_m ، F_m ، F_o و F_v/F_m به دست آمد. در مورد هر نمونه، اندازه‌گیری ۵ بار تکرار گردید.

شاخص کلروفیل (SPAD)

شاخص کلروفیل نیز به وسیله کلروفیل متر دستی (SPAD-502) اندازه‌گیری و ثبت شد. اندازه‌گیری کلروفیل در هر گلدان روی دو نمونه و از همان برگ‌هایی انجام شد که فلورسانس آنها اندازه‌گیری شده بود.

آزمایش مزرعه‌ای

آزمایشی با هفت هیبرید ذرت شامل SC-500، SC-700، SC-404، SC-704، SC-647، SC-301 و ماکسیما و چهار سطح

جدول ۱. مقادیر میانگین مربعات تجزیه واریانس داده‌های مربوط به میزان نشت یونی، پایداری غشا، کلروفیل و پارامترهای فلورسانس (صفات مربوط به آزمایش گلخانه)

پارامترهای فلورسانس کلروفیل					شاخص کلروفیل	درجه آزادی	منابع تغییر
پایداری غشا	نشت یونی	F_v/F_m	F_m	F_0			
۵۵/۷۳*	۵۵/۷۳*	۰/۰۰۰۸۸*	۳۷۱۴/۰۳ns	۳۰/۰۸*	۵/۳۷ ns	۲	تکرار
۳۹۸/۶۶**	۳۹۷/۶۵**	۰/۰۱۱**	۳۵۲۷۴۱/۳۲**	۳۰۳/۵۲**	۸۹۰/۴۷**	۳	شوری
۸۷۸/۰۶**	۸۷۸/۰۶**	۰/۰۰۳۱**	۳۲۶۵۷/۲۱**	۲۰۹۵۴/۲۳**	۲۸/۶۳**	۶	هیبرید
۵/۴۱ ns	۵/۴۰ ns	۰/۰۰۰۱۲ ns	۴۴۸۶۷/۹۶**	۱/۶۲ ns	۱۲/۵۹**	۱۸	هیبرید×شوری
۱۲/۸	۱۲/۸	۰/۰۰۰۲۱	۸۱۷۶/۹۸	۸/۱۴	۲/۲۱	۵۴	خطا
						۸۳	خطای کل

ns، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

داشته است. هم‌چنین، اثر هیبرید بر میزان نشت یونی نیز بسیار معنی‌دار بود. در حالی که اثر متقابل شوری در هیبرید معنی‌دار نبود (جدول ۱). کمترین میزان نشت یونی (۶۵/۸۵) مربوط به کمترین سطح شوری و بیشترین میزان (۷۶/۰۵) مربوط به بیشترین سطح شوری بود (جدول ۲). هیبریدهای ماکسیما و SC-704 به ترتیب بیشترین و کمترین میزان نشت یونی از برگ را دارا بودند (جدول ۳). به‌طورکلی، شاخص نشت یونی با افزایش شوری افزایش پیدا کرد. شاخص پایداری غشا نیز تحت تأثیر شوری قرار گرفت. به‌طوری‌که بیشترین میزان مربوط به کمترین سطح شوری و کمترین در شرایط تنش شدید مشاهده گردید (جدول ۲). از طرف دیگر، هیبرید SC-704 بیشترین میزان پایداری غشا (۳۸/۶۷) را دارا بود (جدول ۳). نفوذپذیری بیشتر غشای سلولی در نتیجه تنش‌های محیطی، افزایش نشت محلول‌های سلولی مانند پتاسیم، آمینواسیدها، کربوهیدرات‌ها و در مجموع، الکترولیت‌های مختلف، به خارج از سلول را در پی دارد (۱۰، ۱۵ و ۲۳). کوکورو و همکاران (۶) در تحقیقات خود مشاهده کردند که غلظت زیاد نمک در محیط کشت باعث ایجاد تغییراتی در غشای سلولی گیاه می‌شود و علاوه بر این، میزان تراوش یونی غشای سلولی نیز به همین تغییرات ایجاد شده بستگی دارد. کایا

ماکسیما از آب کشاورزی و غیر شور استفاده گردید تا اختلافی بین مقادیر دریافتی کلرور سدیم بین هیبریدهای مورد مطالعه ایجاد نگردد. ضرایب همبستگی بین مقادیر عملکرد هیبریدها و شاخص‌های فیزیولوژیک مربوطه آنها نیز محاسبه و معنی‌دار بودن آنها مورد آزمون قرار گرفت. عملکرد دانه پس از حذف ردیف‌های حاشیه و ۵/۰ متر از ابتدا و انتهای هر کرت با برداشت از خطوط میانی تعیین و سپس به هکتار تعمیم داده شد. داده‌ها مورد تجزیه واریانس، در آزمایش اول (گلخانه) طبق مدل فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و برای آزمایش دوم (مزرعه) طبق مدل کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفتند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و ترسیم نمودارها از نرم‌افزارهای SPSS و Excel استفاده گردید. مقایسه میانگین‌های به‌دست آمده برای هر صفت نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

آزمایش گلخانه‌ای

نشت یونی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که شوری بر میزان تراوش یونی غشا در برگ ذرت اثر معنی‌داری در سطح ۱٪

جدول ۲. مقادیر میانگین نشت یونی، پایداری غشا، کلروفیل، پارامترهای فلورسانس کلروفیل (صفات مربوط به گلخانه) و عملکرد دانه (صفت مربوط به مزرعه) هیبریدهای ذرت رشد یافته در سطوح مختلف شوری

مزرعه	پارامترهای فلورسانس کلروفیل					شاخص کلروفیل (mg/ml)	غلظت نمک (dS/m)
	عملکرد دانه (kg/ha)	پایداری غشا	نشت یونی	F_v/F_m	F_m		
۱۰۶۱۸/۸ a	۳۴/۱۴ a	۶۵/۸۵d	۰/۸۱ a	۲۵۴۹/۴۳ a	۶۵۰/۴۷d	۳۳/۶۳ a	S0
۸۵۷۱/۶b	۳۱/۵۲b	۶۸/۴۷ c	۰/۷۸ b	۲۴۶۶/۳۸b	۶۵۳/۱۴ c	۲۶/۳۵ b	S1
۶۹۸۰/۹ c	۲۸/۹۱ c	۷۱/۰۹ b	۰/۷۶ bc	۲۳۵۸/۳۸c	۶۵۶/۱۴ ab	۲۲/۲۸ c	S2
۵۷۵۰/۶ d	۲۳/۹۴d	۷۶/۰۵ a	۰/۷۴d	۲۲۵۱/۳۸d	۶۵۹/۲۸a	۱۸/۴ d	S3

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند. S0 تا S3 معادل سطح شوری ۲ تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر برای شرایط گلخانه و مزرعه می‌باشند.

جدول ۳. مقایسه میانگین کلروفیل، پارامترهای فلورسانس کلروفیل، نشت یونی، پایداری غشا (صفات مربوط به گلخانه) و عملکرد دانه (صفت مربوط به مزرعه) در هفت هیبرید ذرت

مزرعه	پارامترهای فلورسانس کلروفیل					شاخص کلروفیل (mg/ml)	رقم
	عملکرد دانه (kg/ha)	پایداری غشا	نشت یونی	F_v/F_m	F_m		
۸۱۸۱ ab	۳۷/۰۸ a	۶۲/۹۱d	۰/۷۶ b	۲۴۹۳/۷ b	۶۷۳/۵ d	۲۳/۱۹d	SC-700
۸۰۶۹ ab	۳۲/۵۱ b	۶۷/۴۸ c	۰/۷۴ c	۲۰۹۹/۵ d	۵۹۸/۳۳f	۲۴/۸۵c	SC-500
۷۸۴۲ b	۲۴/۲۱ c	۷۵/۷۹ b	۰/۷۷ b	۲۳۴۲/۲۵c	۶۹۲/۶۷a	۲۳/۳۱ d	SC-404
۸۵۵۸a	۳۸/۶۷a	۶۱/۳۲d	۰/۷۹a	۲۴۳۳/۴۲b	۶۸۵/۲۵b	۲۷/۳۱a	SC-704
۷۵۶۱b	۳۵/۹۵a	۶۴/۰۵ d	۰/۷۷ b	۲۳۹۶/۶۷c	۶۶۲/۰۸e	۲۵/۲۸c	SC-647
۸۱۱۴ab	۲۷/۴۷ c	۷۷/۵۲b	۰/۷۸ a	۲۶۸۲/۱۷ a	۶۷۹/۳۳ c	۲۶/۶۱ab	SC-301
۷۵۳۶b	۱۶/۴۹d	۸۳/۵۰ a	۰/۷۷ b	۲۳۹۶c	۵۹۲/۱۶g	۲۵/۵۹bc	Maxima

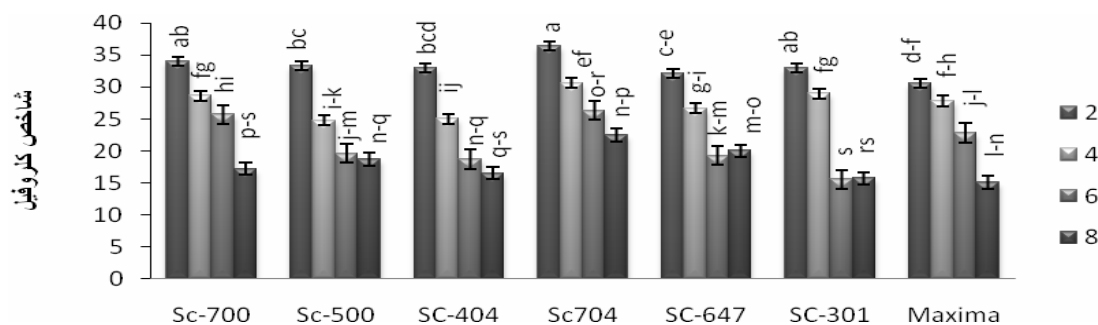
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

متقابل هیبرید در شوری در سطح ۱٪ بر شاخص کلروفیل است. بررسی مقادیر میانگین کلروفیل در تیمارهای مختلف شوری نشان می‌دهد که با افزایش این سطوح، مقادیر قرائت شده SPAD عدد کوچکتری را نشان می‌دهد که حاکی از کاهش شاخص کلروفیل با افزایش سطح شوری است (شکل ۱). بیشترین شاخص کلروفیل (میانگین ۳۶/۴) در هیبرید SC-704 و سپس در هیبرید SC-301 (میانگین ۳۳/۰۳) به‌دست آمد (شکل ۱). نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با

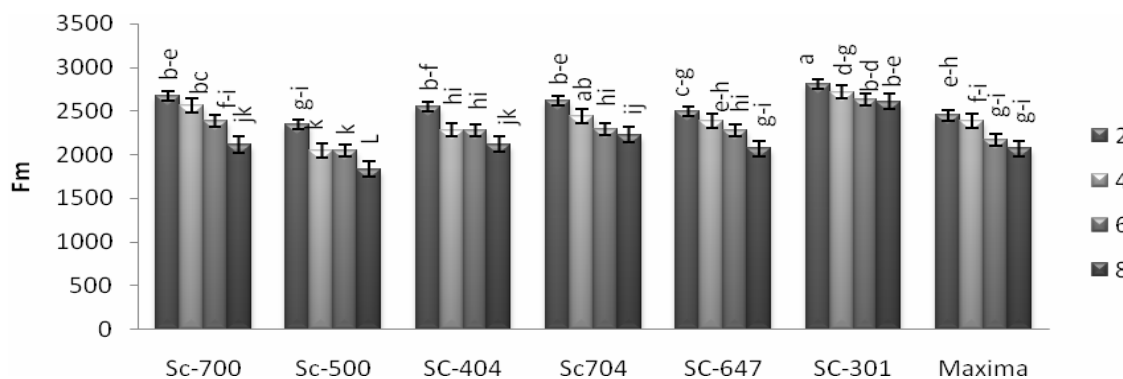
و همکاران (۱۰ و ۱۱) گزارش کردند که شوری زیاد باعث آسیب زدن به قابلیت تراوش یونی و افزایش نشت یونی می‌گردد. افزایش نشت یونی در پاسخ به تنش شوری در گیاهانی چون آفتابگردان توسط شی و سنگ (۲۶) و در برنج توسط لوتس و همکاران (۱۳) نیز گزارش شده است.

شاخص کلروفیل

جدول ۱ نشان‌دهنده اثر معنی‌دار شوری، هیبرید و هم‌چنین، اثر



شکل ۱. مقادیر میانگین شاخص کلروفیل ژنوتیپ‌های مختلف ذرت در سطوح مختلف شوری



شکل ۲. مقادیر میانگین F_m ژنوتیپ‌های مختلف ذرت در سطوح مختلف شوری

میزان F_m و F_o

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان از اثر معنی‌دار شوری و هیبرید بر میزان F_o در سطح ۱٪ دارد. اما اثر متقابل هیبرید در شوری بر میزان F_o معنی‌دار نگردید (جدول ۱). بیشترین میزان F_o (۶۵۹/۲۸) از شرایط شوری شدید (۸ dS/m) به‌دست آمد (جدول ۲). هیبرید SC-404 بیشترین میزان F_o (۶۹۲/۶۷) را دارا بود (جدول ۳). همچنین، نتایج نشان داد که شوری اثر معنی‌داری در سطح ۱٪ بر میزان F_m داشته است. اثر هیبرید و اثر متقابل هیبرید در شوری نیز بر میزان این صفت معنی‌دار گردید (جدول ۱). بیشترین میزان F_m (میانگین ۲۶۸۲/۱۷) از کمترین سطح شوری به‌دست آمد و مربوط به هیبرید SC-301 بود (شکل ۲). پس از قرار گرفتن برگ در مقابل نور تابانده شده توسط دستگاه، مراکز احیای فتوسیستم II به‌تدریج بسته می‌شوند. به همین دلیل، در اولین ثانیه تابش نور به برگ، عملکرد فلورسانس کلروفیل افزایش یافته، فلورسانس از مقدار

نتایج حسنی و امیدبگی (۷)، خدادادی و امیدبگی (۱۲) و کایا و همکاران (۹ و ۱۰) مطابقت داشت که گزارش کرده‌اند در اثر شوری، میزان کلروفیل کاهش پیدا می‌کند. یکی از علل این کاهش می‌تواند سست شدن اتصال کلروفیل با پروتئین‌های کلروپلاستی باشد که بستگی به مقدار یون‌ها دارد. تحت تأثیر شوری، میزان یون‌های Cl^- و Na^+ افزایش یافته و در شوری شدید به حد سمیت می‌رسد. متعاقب آن، کاهش جذب عناصر غذایی مانند پتاسیم، کلسیم و منیزیم صورت می‌گیرد که می‌تواند یکی دیگر از دلایل کاهش کلروفیل باشد (۹ و ۱۱). این کاهش می‌تواند باعث ناکارآمدی برگ‌ها در انجام فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد و عملکرد گیاه گردد (۸). نشان داده شده است که در شرایط تنش شدید شوری، کلروفیل‌سازی متوقف می‌گردد (۱۰). از طرف دیگر، برخی از گیاهان در طول تنش، کلروفیل خود را حفظ می‌کنند و برخی دیگر کلروفیل خود را از دست می‌دهند (۲۰).

جدول ۴. تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد دانه در شرایط مزرعه

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه (kg/ha)
تکرار	۲	۲۸۶/۷ ns
شوری	۳	۹۲۹۷۱۲۷۳**
خطای اصلی	۶	۳۵۶۸۶۵
رقم	۶	۱۵۸۵۳۴۹*
شوری × رقم	۱۸	۳۵۶۱۰۷ns
خطای فرعی	۴۸	۱۶۳۹۲۰۸

ns و * و ** به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی دار

کاهش کارایی مصرف فوتون‌ها به وسیله فتوسیستم II مشخص می‌شود و کاهش کارایی فتوسیستم II در دو وضعیت رخ می‌دهد: اول زمانی که برگ‌ها به‌طور ناگهانی در معرض نور شدید قرار می‌گیرند که به مرکز فتوسیستم II صدمه می‌زند و دوم وقتی که در معرض تنش‌های محیطی واقع شوند. در این حالت، کاهش مربوط به افزایش شدید انرژی برانگیخته شده به صورت گرما آزاد می‌گردد (۱۸). هم‌چنین، گزارش شده که ارقام متحمل به شوری و خشکی گیاهان زراعی نسبت F_v/F_m بالاتری نسبت به ارقام حساس دارند. به عبارت دیگر، کارایی سیستم نوری II در ارقام مقاوم بیشتر است (۲۴).

آزمایش مزرعه‌ای

عملکرد دانه

اثر شوری و هیبرید بر عملکرد معنی‌دار، اما اثر متقابل آنها معنی‌دار نبود (جدول ۴). به‌طور کلی، با افزایش شوری، میزان عملکرد دانه کاهش یافت (جدول ۲). از طرف دیگر، بیشترین عملکرد مربوط به هیبرید SC-704 و کمترین مربوط به ماکسیما بود (جدول ۳). روند کاهشی عملکرد دانه با افزایش شوری می‌تواند به دلیل کاهش وزن هزار دانه و اختلال در گرده‌افشانی و مراحل فتوسنتزی گیاه و انتقال مواد به دانه‌ها در شرایط شور باشد (۱۹). این نتایج نشان‌دهنده اهمیت کیفیت

F_0 به حداکثر مقدار خود یعنی F_m افزایش می‌یابد. این افزایش نشان‌دهنده افزایش تدریجی عملکرد فلورسانس و کاهش سرعت واکنش‌های فتوشیمیایی است. سپس، مقدار فلورسانس به تدریج کاهش پیدا می‌کند و دلیل این کاهش می‌تواند مصرف انرژی توسط فتوسیستم II باشد. به همین دلیل است که از F_m به بعد، فلورسانس یک روند نزولی را طی می‌کند (۴).

کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m)

تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده اثر معنی‌دار شوری و هیبرید در سطح ۱٪ بر این صفت بود (جدول ۱). اما اثر متقابل هیبرید در شوری بر میزان F_v/F_m معنی‌دار نگردید. بیشترین میزان F_v/F_m (۰/۸۱) از کمترین سطح شوری به دست آمد (جدول ۲). نتایج نشان می‌دهد که تحت شرایط تنش شوری اختلاف بین F_0 و F_m ، یعنی F_v کاهش پیدا می‌کند و این به دلیل افزایش F_0 و کاهش F_m بوده است. هم‌چنین، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سطوح شوری، نسبت F_v/F_m کاهش می‌یابد (جدول ۲). بیشترین کارایی فتوسیستم II (۰/۷۹) مربوط به هیبرید SC-704 بود (جدول ۳). بالا بودن کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II این هیبرید نشان می‌دهد که مقدار فتوستتزی این هیبرید تحت چنین شرایطی زیاد بوده است که منجر به عملکرد بیشتر در این هیبرید می‌گردد. به‌طور کلی، بازدارندگی نوری با

جدول ۵. مقادیر همبستگی بین پارامترهای فلورسانس کلروفیل، شاخص کلروفیل، پایداری غشا و نشت یونی در گلخانه و عملکرد دانه در

شرایط مزرعه

	سطح شوری	کلروفیل	نشت یونی	پایداری غشا	F _o	F _m	F _v /F _m
نشت یونی	s0	۰/۶۲					
	s1	-۰/۴					
	s2	-۰/۱۷					
	s3	-۰/۶۴					
پایداری غشا	s0	-۰/۶۲	-۱**				
	s1	۰/۴	-۱**				
	s2	۰/۱۷	-۱**				
	s3	۰/۶۴	-۱**				
F _o	s0	۰/۶۳	۰/۳۱	-۰/۳۱			
	s1	-۰/۰۹	۰/۳۱	-۰/۳۱			
	s2	-۰/۲۲	۰/۳۳	-۰/۳۳			
	s3	-۰/۶۳	-۰/۴۳	-۰/۴۳			
F _m	s0	۰/۴۱	-۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۴۲		
	s1	-۰/۶۲	-۰/۲	۰/۲	۰/۱		
	s2	-۰/۱	-۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۴۱		
	s3	۰/۳	-۰/۶۸	۰/۶۸	-۰/۲۴		
F _v /F _m	s0	-۰/۵۳	-۰/۵۱	۰/۱۵	۰/۳۱	۰/۶۹	
	s1	۰/۴۸	-۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۲۹	۰/۱۳	
	s2	۰/۱۱	-۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۱۸	۰/۵۴	
	s3	۰/۲۶	-۰/۵۱	۰/۵۱	-۰/۲۹	۰/۰۷	
عملکرد	s0	-۰/۵۳	۰/۴۲	-۰/۴۲	۰/۲۹	۰/۴۸	-۰/۱۴
	s1	-۰/۳۱	-۰/۴	۰/۴	۰/۴۸	۰/۳۲	۰/۳۵
	s2	۰/۵۸	-۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۵۹	۰/۵۱	۰/۴۵
	s3	۰/۷۸*	-۰/۸۵*	۰/۸۵*	-۰/۴۱	۰/۹**	۰/۹**

گزارش کرده است که شوری باعث کاهش سطح فتوسنتزکننده و کاهش عملکرد می‌گردد. به‌طورکلی، ذرت در مرحله گل‌دهی به کمبود رطوبت و تنش خشکی حساسیت زیادی داشته و بروز اثر شوری به‌صورت خشکی ثانویه باعث از بین رفتن دانه‌های گرده و کاهش شانس باروری گل‌ها می‌گردد و این عمل در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه می‌گردد (۱۹). تعیین عملکرد

آب آبیاری در مراحل مختلف رشدی گیاه بوده و آبیاری با آب شور باعث کاهش عملکرد می‌گردد. نتایج به‌دست آمده در این آزمایش با نتایج کایا و همکاران (۹ و ۱۰) مطابقت دارد. آنها در یک آزمایش مزرعه‌ای تأثیر مقادیر مختلف شوری را روی پنج رقم ذرت بررسی کرده و گزارش نمودند که عملکرد دانه در اثر افزایش شوری کاهش می‌یابد. سیسک و همکاران (۵) نیز

همه سطوح دارای روابط منفی و معنی‌داری بودند و این به‌طور قابل قبولی نشان‌دهنده رابطه عکسی است که بین نشت یونی و پایداری غشا وجود دارد. همچنین، گزارش شده که بهترین و مؤثرترین روش اصلاح عملکرد، شناخت صفات فیزیولوژیک مؤثر بر عملکرد و اختلاف این صفات با عملکرد است (۲۷).

نتیجه‌گیری

از آنجایی که با افزایش سطح شوری، کاهش شاخص کلروفیل قرائت شده توسط SPAD می‌تواند همراه با کاهش فتوسنتز خالص باشد، بنابراین کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II و هم‌چنین میزان عملکرد دانه گیاه ذرت کاهش می‌یابد. به همین دلیل باید شرایطی فراهم آورد که بتوان حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II و عملکرد دانه را داشت. یک راه حل در این رابطه استفاده از ارقامی است که شاخص کلروفیل بزرگ‌تر و کارایی فتوشیمیایی بیشتر و در نهایت عملکرد بیشتری را در شرایط تنش شوری زیاد دارا هستند. مقایسه میانگین هیبریدهای موجود در این پژوهش نشان داد که هیبرید SC-704 بیشترین شاخص کلروفیل، نسبت بالای کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m)، بیشترین میزان عملکرد دانه، کمترین نشت یونی و بیشترین پایداری غشا را در شرایط تنش دارا بود. به همین دلیل نسبت به سایر هیبریدهای موجود در این پژوهش برتری ویژه‌ای را داشت. از این لحاظ، متحمل‌ترین هیبرید شناخته شد. با توجه به این‌که پیری برگ ناشی از تنش شوری، سبب تغییر در نفوذپذیری غشا می‌گردد، لذا نشت یونی غشا به‌عنوان عامل پیش‌بینی‌کننده صدمه وارده بر غشا مد نظر قرار می‌گیرد.

توسط آزمایش مزرعه‌ای و در شرایط طبیعی اقلیمی با توجه به سطوح مختلف شوری در هیبریدهای مورد مطالعه انجام گرفت. زیرا در شرایط گلخانه‌ای، امکان اجرای آن وجود نداشت.

همبستگی شاخص‌های فیزیولوژیک با عملکرد

همان‌گونه که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود، همبستگی شاخص کلروفیل و پایداری غشا با عملکرد یک همبستگی مثبت و معنی‌دار است. به‌طوری‌که در شرایط شوری شدید، این همبستگی مثبت و معنی‌دار و در کمترین مقدار شوری منفی اما غیرمعنی‌دار است. پارامتر F_0 در شرایط کمترین شوری همبستگی مثبت و در شرایط شوری شدید همبستگی منفی با عملکرد دارا بود؛ اما این همبستگی معنی‌دار نبود. دلیل این موضوع می‌تواند افزایش فلورسانس در این حالت و کاهش کارایی فتوسیستم II باشد. پارامتر F_m در همه شرایط شوری دارای همبستگی مثبت و در شرایط شوری شدید این همبستگی مثبت با عملکرد معنی‌دار بود. پارامتر F_v/F_m در شرایط کمترین شوری دارای همبستگی منفی و در شرایط شوری شدید همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دارا بود و با افزایش سطوح شوری این همبستگی مثبت افزایش یافت. دلیل افزایش ممکن است این باشد که پارامتر F_v/F_m در تنش‌های نسبتاً شدید تحت تأثیر قرار گرفته و پدیدار می‌گردد (۲۵). در مورد بقیه پارامترها باید گفت که پارامترهای کلروفیل و F_v/F_m با پارامترهای نشت یونی و F_0 رابطه منفی (به‌ویژه در سطوح شوری شدید) و با پارامتر پایداری غشا رابطه مثبتی دارا بودند. هم‌چنین، F_v/F_m رابطه مثبت و معنی‌داری با پارامتر F_m داشت. رابطه عملکرد با نشت یونی منفی و معنی‌دار، اما با پایداری غشا رابطه مثبت و معنی‌دار بود. پایداری غشا و نشت یونی در

منابع مورد استفاده

1. Amirjan, M. R., A. Iranbakhsh and M. H. Abnosi. 2009. Molecular mechanism of photosynthesis. Arak university, P.o.Box38156.
2. Anjum, F., M. Yaseen, E. Rasool, A. Wahid and S. Anjum. 2003. Water stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). II. Effect on chemical composition and chlorophyll content. *Pakistan Journal of Agricultural Science* 40(1-2): 41-49.
3. Bhardway, R. and G. Singhal. 1981. Effect of water stress on photochemical activity of chloroplasts during greening etiolated barley seedling. *Plant Cell Physiology* 22(2): 155-162.

4. Baker, N. R. and E. Rosenquist. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence improve crop production strategies: An examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany* 55: 607-621.
5. Cicek, N. and H. Cakirlar. 2002. The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 28: 66-74.
6. Cachorro, P., E. Olmos and A. Cerda. 1995. Salinity- induced changes in the structure and ultra structure of bean root. *Cell Plant Biology* 37: 273-283.
7. Hasani, A. and V. R. Omidbagy. 2001. Water stress effects on some morphological, physiological, and metabolic characteristics of *Ocimum basilicum* L. *Journal of Agricultural Science* 2(3): 47-59.
8. Jamil, M., S. Rehman, K. J. Lee, Lee, H. S., kim and E. S. Rha. 2007. Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. *Plant Agricultural Science* 64(2): 111-118.
9. Kaya, C., D. Higgs and H. Kirnak. 2001. The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 27: 47-59.
10. Kaya, C., H. Kirnak, D. Higgs and K. Satali. 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Plant Horticulture* 93: 65-74.
11. Kaya, M. D., G. Okcu, M. Atak and O. Kolsarici. 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.) *European Journal of Agronomy* 24: 291-295.
12. Khodadadi, M. and V. R. Omidbagy. 2003. Sodium chloride stress effect on some physiological characteristics of two varieties onion in Iran. *Journal of Agricultural Science* 4(3): 11 -25.
13. Lutts, S., J. M. Kient and J. Bauharmont. 1996. NaCl induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa*) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany* 78: 389-398.
14. Machanda, G. and N. Garg. 2008. Salinity and its effects on the functional biology of legumes. *Agricultural Plant Physiology* 30: 595-618.
15. Mandhanis, S., S. Madan and V. Sawhney. 2006. Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings. *Biologia Plantarum* 50(2): 227-231.
16. Moffatt, J., M. R. G. Sears and G. Paulsen. 1990. Wheat height temperature tolerance during reproductive growth. I. Evaluation by chlorophyll fluorescence. *Crop Science Plant* 30:881-885.
17. Mohammadkhani, N. and R. Heidari. 2007. Effect of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. *Pakistan Journal of Biological Science* 10 (21): 3835-3840.
18. Mohammad, J., M. Naziri, A. Naziri, D. Shah and H. Jamal. 1996. Wheat yield component as affected by low water stress at different growth stage. *Sarhad Journal of Agriculture* 12: 19-26.
19. Mozafar, A. and J. R. Goodin 1986. Salt tolerance of two different drought-tolerant wheat genotypes during germination and early seedling growth. *Plant and Soil Science* 96: 96(3):303-316.
20. Muller, T., D. Luttwager and P. Lentzsch. 2010. Recovery from drought stress at the shooting stage in oilseed crop (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science* 196(2): 81-89.
21. Noormohamadi, Gh., A. Siadat and A. Kashani. 2009. Cereal Agronomy. Shahid Chamran University Publication, Ahvaz, Iran, 441 p.
22. Paknejad, F., M. Nasri and H. R. Tohidi Moghadam. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *Journal of Biological Science* 7(6):841-847.
23. Qinghua, S., V. Zhiyi, Z. Zhujun, Y. Quansheng and Q. Qiong. 2006. Effect of different treatments of Salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedling of *Cucumis sativa* L. *Plant Growth Regulators* 48: 127-135.
24. Ramiz, B. and F. Morales. 1994. Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in barley. *Plant Physiology* 104: 667-673.
25. Sayed, O. H. 2003. Chlorophyll fluorescence as a tool in cereal research. *Journal Cop research. Photocytetica*, 41(3):321-330.
26. Shi, D. and Y. Sheng. 2004. Effect of various Salt-alkaline mixed stress conditions on sunflower seedling and analysis of their stress factors. *Environmental and Experimental Botany* 49:107-120.
27. Wallace, D. H., J. L. Ozbum and H. M. Munger. 1972. Physiological genetics of crop yield. *Advances in Agronomy. Physiological* 24: 97-146.