

## بررسی تأثیر اشعه لیزر بر مقاومت به شوری روی برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی جو

فاطمه امینی<sup>۱</sup>، سید احمد سادات نوری<sup>۱\*</sup>، بهروز فوقی<sup>۱</sup>، زهرا حمیدی<sup>۱</sup> و نیر اعظم خوش خلق سیما<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران

<sup>۲</sup> عضو هیئت علمی، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۰۳، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۷/۰۳)

### چکیده

به منظور بررسی اثر پرتوتابی لیزر در مقاومت به شوری در گیاه جو، تحقیقی در آزمایشگاه زراعت ابوریحان دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۰ به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل چهار ژنوتیپ جو (ریحان، افضل، فجر ۳۰ و نصرت)، دو سطح پرتوتابی لیزر (بدون تابش لیزر و با طول موج ۷۸۰ نانومتر به مدت ۱۵ دقیقه) و پنج سطح شوری (صفر، ۸۰، ۱۶۰، ۲۴۰، ۳۲۰ میلی مولار کلرید سدیم) بودند. صفات فیزیولوژیک (غلظت یونهای سدیم و پتاسیم، نسبت یون پتاسیم به سدیم و محتوای پرولین) و صفات بیوشیمیایی (میزان فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و محتوای آدنوزین تری فسفات)، در سطوح شوری و پرتوتابی در بین ارقام مورد بررسی تفاوت معنی داری مشاهده شد. با افزایش شوری از میزان فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز، محتوای آدنوزین تری فسفات و نسبت پتاسیم به سدیم کاسته شد به طوری که میزان کاهش در تیمار بدون پرتوتابی در سطح شوری ۱۶۰ میلی مولار نسبت به تیمارهای شاهد (شوری صفر میلی مولار) در ارقام افضل، ریحان و فجر ۳۰، برای محتوای آدنوزین تری فسفات ۲۸، ۳۰ و ۱۸ درصد و برای نسبت پتاسیم به سدیم ۸۰، ۸۲ و ۸۶ درصد بود. در این سطح شوری در تیمار بدون پرتوتابی، رقم نصرت از بین رفت. پیش تیمار لیزر موجب افزایش محتوای آدنوزین تری فسفات و نسبت پتاسیم به سدیم شد به طوری که در سطح شوری ۱۶۰ میلی مولار، میزان افزایش محتوای آدنوزین تری فسفات برای ارقام افضل، ریحان، فجر ۳۰ و نصرت، به ترتیب ۱۲/۸، ۶/۹، ۸/۲ و ۱۰۰ درصد و برای نسبت پتاسیم به سدیم ۶۶/۶، ۴۷/۸، ۲۹/۲ و ۱۰۰ درصد بود. به طور کلی، با توجه به تأثیرات مثبت لیزر بر فاکتورهای مورد بررسی چنین به نظر می آید که پرتوتابی لیزر می تواند تیماری موثر جهت بالا بردن میزان تحمل گیاه نسبت به تنش شوری باشد.

کلمات کلیدی: آلفا آمیلاز، پرتوتابی لیزر، پرولین، تنش شوری

### مقدمه

خشک و نیمه خشک باشد از بقیه غلات سردسیری محصول بیشتری تولید می کند (تاج بخش و همکاران، ۱۳۷۸). کشت جو بیشتر برای تولید دانه آن می باشد که در تغذیه دام و صنایع تخمیری و در برخی ممالک مثل مراکش و تونس در تغذیه انسان مورد استفاده قرار می گیرد. در کشور ما دومین غله بعد از گندم شمرده می شود (تاج بخش و همکاران، ۱۳۷۸).

جو اولین غله ای است که مورد کشت انسان قرار گرفته و تا چند قرن قبل غله منحصر به فردی بود تا این که رفته رفته گندم از اهمیت بیشتری برخوردار شده و جایگزین آن گردید. جو محصولی است که دامنه سازگاری آن بسیار وسیع است و هرگاه رطوبت و بارندگی یک عامل محدود کننده تولید در مناطق

بیماری‌ها، تأثیر بر فعالیت آلفا آمیلاز، میزان تجمع رادیکال‌های آزاد، از بین بردن خواب بذرها؛ سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه زنی، انرژی جوانه‌زنی شده و همچنین هماهنگی در جوانه‌زنی را بالا برده، تأثیر بر سیستم تنفسی، فعالیت فتوسنتزی و محتوای کلروفیل و مقدار کلروفیل گیاهچه‌های حاصل از بذره‌های تابش دیده دارد (Vasilovsky, 1988).

تأثیر مثبت پیش تیمار لیزر برای عملکرد گیاهان مختلف توسط Gladyszewska و همکاران (۱۹۹۸) بررسی شد. نتایج حاصل از آزمایشات آنها افزایش عملکرد ۱۰ تا ۱۵ درصد برای ذرت، ۲۰ تا ۳۰ درصد در گندم بهاره، ۲۰ تا ۲۵ درصد در جو بهاره، ۱۰ تا ۳۰ درصد در چغندر قند و ۱۰ تا ۱۵ درصد برای براسیکا، تحت تیمار لیزر بود. حتی بهبود در کیفیت محصولات گیاهان تحت تابش نیز مشاهده شد. برای مثال، محتوای پروتئین در بذور گندم بهاره تحت لیزر هلیوم-نئون، ۱۲ تا ۱۴ درصد افزایش و میزان قند استخراج شده در ریشه چغندر قند ۱۵ تا ۱۷ درصد، افزایش یافت.

در میان گیاهان زراعی گندم و جو جزء غلاتی هستند که بیشترین تحقیقات لیزری بر آنها صورت گرفته است. در سال ۲۰۰۰ طی تحقیق کاملی که توسط Rybinski انجام شد تأثیر مثبت لیزر بر خصوصیات جو بهاره ثابت شد. در این آزمایش تأثیر لیزر برای چهار نسل متمادی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در نسل اول دوزهای پایین لیزر باعث افزایش اثرات زیستی در صفات مورد بررسی از جمله تعداد بذور و وزن بذور به مقدار ۳۰ درصد شد. اما دوزهای بالا باعث کاهش در ارزش صفات در مقایسه با شاهد گردید. در نسل دوم لیزر با دوز بالا بر افزایش محتوای کلروفیل به مقدار ۳۱ درصد تا ۷۷ درصد و بر میزان موتاسیون صفات اثر گذاشت که صفات تغییر کرده برای بررسی در نسل چهارم انتخاب شدند. این صفات اثرات مطلوبی بر عملکرد جو بهاره داشتند. نتایج به طور کلی بیانگر تأثیر مثبت لیزر هلیوم-نئون با طول موج ۶۳۲ نانومتر بر فاکتورهای موثر بر افزایش عملکرد جو بهاره را نشان داد. نتایج به دست آمده از تحقیق Rybinski و همکاران (۱۹۹۳) بر جو بهاره نشان دهنده افزایش تحریک زیستی لیزر هلیوم-نئون با

در گیاهانی که با بذر تکثیر می‌شوند، مرحله جوانه‌زنی به خاطر تأثیر غیر مستقیم بر روی تراکم گیاهان بسیار مهم و حساس می‌باشد. یونهای موجود در خاک یا آب زراعی می‌توانند در این مرحله به صورت تحریک کننده، باز دارنده و یا خنثی کننده در جوانه‌زنی عمل کنند. نخست شوری با کاهش پتانسیل اسمزی محیط موجب کاهش جذب آب توسط بذر شده و در مرحله بعد سمیت یونی و تغییر فعالیت‌های آنزیمی را به دنبال دارد. یکی از مهمترین اثرات افزایش شوری در محیط افزایش غلظت سدیم در داخل گیاه است. سدیم در محیط خارج از ریشه و همچنین در داخل گیاه بیشترین تغییرات را در تغذیه معدنی گیاه به وجود می‌آورد. اگر ظرفیت تبادل بافت خاک بیش از ۴۰ تا ۵۰ درصد با سدیم اشباع شود اختلالات تغذیه‌ای ایجاد می‌گردد. افزایش سدیم باعث کاهش کاتیون‌های دیگر در گیاه و به هم زدن تعادل کاتیونی گیاه می‌شود. این افزایش همچنین باعث کاهش کلسیم، منیزیم و پتاسیم در گیاه می‌شود. هنگام مواجهه با تنش اسمزی، گیاهان طیف وسیعی از پاسخ را در سطح ملکولی، سلولی و کل گیاه ارائه می‌دهند. برای مثال این پاسخ‌ها شامل تغییرات مورفولوژیکی و تکوینی مانند بازداشتن رشد ریشه و تقویت رشد ساقه، تعدیل انتقال یونی شامل جذب و دفع یونها و تغییرات متابولیکی مثل متابولیسم کربن و سنتز محلول‌های تعدیل کننده و اسمولیت‌ها می‌باشد. مکانیسم‌های متداول پیشنهاد شده شامل تنظیم اسمزی در گیاهان متحمل به شوری، تجمع محلول‌های سازگار و همگن در سیتوپلاسم تقسیم بندی یونها در واکوئل‌ها و همچنین مقاومت ژنتیکی به شوری می‌باشد (ولکمار و همکاران، ۱۹۹۸).

در سال ۲۰۰۸ مطالعه‌ای توسط می و همکاران بر نحوه جذب آب در طی جوانه زنی ذرت انجام شد. نتایج به دست آمده از آزمایش آنها نشان داد با افزایش جذب آب در بذر، میزان فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز بالا می‌رود. با افزایش فعالیت این آنزیم، سرعت تبدیل نشاسته به قندهای محلول افزایش می‌یابد و موجب افزایش سرعت جوانه زنی می‌گردد.

گزارشات علمی نشان می‌دهد استفاده از لیزر موجب افزایش پتانسیل انرژی بذور، تسریع بلوغ، افزایش مقاومت به

داخل هر پتری تعداد ۲۰ بذر سالم و هم اندازه قرار گرفت. پس از بسته شدن ظروف با پارافیلیم، پتری دیش‌ها در اتاقک رشد با رطوبت ۶۵ درصد و در دمای ۲۲ درجه سانتیگراد برای روز و ۲۰ درجه سانتیگراد برای شب و در شرایط نوری ۱۶ ساعت روز و هشت ساعت شب به مدت ۲۱ روز قرار داده شدند.

برای اندازه گیری میزان یونهای سدیم و پتاسیم از نمونه‌های وزن خشک استفاده شد. بدین منظور ۰/۰۱ گرم از هر نمونه توزین شده و آسیاب گردید. نمونه‌های پودر شده با ۵ میلی لیتر اسید نیتریک ۰/۵ مولار به صورت محلول در آورده شده و به لوله‌های مدرج ۱۵ میلی لیتری منتقل گردیدند و به مدت ۲ ساعت در حمام آب گرم ۸۵ درجه سانتی گراد گذاشته شد و سپس برای مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند. نمونه‌ها پس از صاف شدن، جهت اندازه‌گیری با روش فلیم فتومتر استفاده شدند. نمونه‌ها در طول موج ۵۸۹ نانومتر قرائت شدند. برای به دست آوردن ساقچه‌ها و ریشه‌چه‌های مربوط به این ارقام جو به منظور بررسی میزان آندوزین تری فسفات و اندازه‌گیری محتوای پرولین، تعداد ۱۰ بذر از هر رقم و برای هر تیمار در لیوان‌های یک بار مصرف پر شده با پرلیت، قرار داده شدند. در طی مدت آزمایش، واحدهای آزمایشی با سطوح شوری مربوطه آبیاری شدند. پس از آزمایشی توسط محلول غذایی هوگلند با غلظت ۱/۴ سبب شدن، گیاهچه‌ها تنک شدند و در هر لیوان پنج گیاه نگهداری شد. پس از گذشت ۲۱ روز برگ‌های مربوط به هر رقم، هر تیمار و هر تکرار جدا شده و در فریزر ۸۰- درجه سانتیگراد قرار گرفتند.

برای سنجش میزان انرژی بافت گیاهی، ابتدا بافر فسفات (۸ گرم NaCl، ۰/۲ گرم  $KH_2PO_4$  و ۰/۶ گرم  $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ ) را تهیه می‌کنیم. سپس حجم محلول آماده شده از ترکیب موارد فوق را توسط آب مقطر به یک لیتر می‌رسانیم. یک گرم از بافت برگ را توسط ازت مایع خرد کرده و ۷ میلی لیتر بافر فسفات را به آن اضافه می‌کنیم. پس از سانتریفیوژ کردن ترکیب مورد نظر، ۱ میلی لیتر از آن را برداشته و به لومینومتر تزریق می‌کنیم. لومینومتر قادر به اندازه‌گیری محتوای ATP موجود در نمونه، بر اساس مقدار نور لومینسانس متصاعد شده می‌باشد.

طول موج ۶۳۲ نانومتر بر گیاه از طریق افزایش سطح برگ نزدیک‌ترین برگ به سنبله و برگ‌های ماقبل آخر آن شد.

این مطالعه با هدف تعیین اثر لیزر بر برخی صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی درگیر در تحمل به تنش شوری در جو در مرحله جوانه‌زنی اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در آزمایشگاه‌های گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات پردیس ابوریحان دانشگاه تهران انجام شد. آزمایش فاکتوریل  $4 \times 2 \times 5$  به صورت پنج سطح شوری (صفر، ۸۰، ۱۶۰، ۲۴۰، ۳۲۰ میلی مول بر گرم)، دو تیمار لیزر (شاهد و ۱۵ دقیقه تابش لیزر دیودی نیمه رسانا قرمز رنگ با طول موج ۷۸۰ نانومتر) و چهار رقم جو (فجر ۳۰، نصرت، ریحان و افضل از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر) بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۱ اجرا گردید. جهت اعمال تیمار لیزر ابتدا توسط دستگاه اسپکتوفوتومتر مقدار بازگشت نور در تعدادی بذر سنجیده شد و با توجه به میزان انعکاس نور، طیف جذبی بذور جو مشخص شد. بیشترین میزان جذب در محدوده ۷۸۰ نانومتر بود. لیزر مورد استفاده، لیزر دیودی نیمه رسانا، قرمز رنگ، با طول موج ۷۸۰ نانومتر با توان خروجی ۱۵۰ میلی وات و در محدوده نزدیک مادون قرمز بود. بذور در آزمایشگاه لیزر واقع در پژوهشکده لیزر دانشگاه شهید بهشتی، توسط اشعه لیزر مورد پرتوتابی قرار گرفتند.

هر واحد آزمایشی شامل یک پتری دیش یکبار مصرف به قطر ۱۰ سانتیمتر و ارتفاع ۱/۵ سانتیمتر حاوی یک برگ کاغذ واتمن و به میزان ۱۰ میلی لیتر از محلول تیمار مورد نظر شوری بود. بذور قبل از قرار گرفتن در ظروف، به منظور ضد عفونی شدن، به مدت سه دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد نگه داشته شدند. سپس سه مرتبه با آب مقطر شسته شدند. کاغذهای واتمن قبلاً در اتوکلاو به مدت ۲۰ دقیقه استریل شدند. در داخل هر پتری یک کاغذ صافی استریل قرار داده شد و به هر پتری دیش مقدار ۱۰ میلی لیتر آب مقطر یا محلولهای مورد نظر بسته به تیمار مربوطه افزوده شد. سپس در

یخچال دار با شتاب ۱۰۰۰g قرار گرفتند. فاز رویی به عنوان منبع آنزیمی تا زمان سنجش آمیلاز در یخچال ۴ درجه سانتیگراد نگهداری شد. فعالیت آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز بر اساس روش Caraway (۱۹۵۹) تعیین شد. مخلوط واکنش شامل ۰/۵ ml عصاره آنزیمی و ۰/۵ ml محلول نشاسته (۲۰ میلی گرم در ۱ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم با  $\text{pH}=7$ ) بود. پس از انکوباسیون به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب ۳۷ درجه سانتیگراد با استفاده از ۱ میلی لیتر اسید هیدروکلریک ۰/۱ نرمال واکنش متوقف شده و در ادامه ۱ میلی لیتر از محلول ید ۰/۰۱ مول بر لیتر به آن اضافه شد. حجم مخلوط نهایتاً با اضافه کردن آب مقطر به ۱۰ میلی لیتر رسانده شد. جذب اسپکتروفتومتر در ۶۶۰ نانومتر خوانده شد و با نمونه شاهد (محلول نشاسته با ید بدون افزودن آنزیم) مقایسه شد. میزان جذب نمونه با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

میزان جذب رنگ توسط شاهد - میزان جذب رنگ توسط نمونه = میزان جذب

جهت انجام تجزیه واریانس داده‌ها در طرح فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین توسط آزمون چند دامنه ای دانکن از نرم افزار آماری SAS استفاده گردید. جهت رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel 2010 استفاده شد.

### نتایج و بحث

**تأثیر سطوح مختلف شوری و پرتوتابی لیزر بر میزان تجمع پرولین در اندامهای هوایی گیاه جو:** نتایج این مطالعه نشان داد هر سه تیمار اعمال شده (لیزر، شوری و ژنوتیپ) دارای تأثیر معنی داری بر محتوای پرولین بودند (جدول ۱). با افزایش شوری محتوای پرولین برگ‌ها افزایش یافت به طوری که در سطوح شوری بالاتر، عصاره برگ‌ها دارای مقدار پرولین بیشتری نسبت به نمونه‌های شاهد بودند (جدول ۲).

بیشترین میزان تجمع پرولین مربوط به رقم افضل در تیمار لیزر و در سطح شوری ۳۲۰ میلی مولار بود. در همین سطح شوری در حالت شاهد (عدم پرتوتابی لیزر) گیاهان در اثر تنش از بین رفتند. در تیمار عدم پرتوتابی و در سطح شوری ۱۶۰

استخراج و سنجش محتوای پرولین از بافت گیاهی بر پایه روش Blits و همکاران (۱۹۹۰) انجام شد. بدین منظور ۰/۲ گرم ماده گیاهی را با هاون له کرده و درون یک فالكون ۱۵ میلی لیتری می‌ریزیم. سپس ۱۰ میلی لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد را به آن اضافه کرده و تیوب را ۱۰ دقیقه درون حمام آب یخ قرار می‌دهیم. تیوب‌ها را با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتیگراد سانتریفیوژ می‌کنیم تا مواد اضافی از محلول جدا گردد. مقدار ۲ میلی لیتر از روشنآور ناشی از سانتریفیوژ را درون تیوب ۱۵ میلی لیتر جدید ریخته و ۲ میلی لیتر اسید ناین هایدین و ۲ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال به آن افزوده و سپس خوب مخلوط می‌نماییم. همزمان ۲ میلی لیتر از استانداردهای صفر، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ میلی گرم در لیتر پرولین را درون تیوب‌هایی جدید ریخته و ۲ میلی لیتر اسید ناین هایدین و ۲ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال به آن افزوده و سپس خوب مخلوط می‌نماییم. نمونه‌های اصلی و استاندارد را در حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت حرارت داده و سپس درون حمام آب یخ قرار می‌دهیم تا کاملاً سرد شده و واکنش متوقف گردد. چهار میلی لیتر تولوئن به محلول اضافه نموده و آن را به مدت ۲۰ ثانیه با دستگاه ورتکس به هم می‌زنیم. آنگاه مقدار جذب را در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت می‌کنیم و با استفاده از معادله منحنی، مقدار پرولین هر نمونه را به دست می‌آوریم.

همچنین برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز از هر رقم برای هر تیمار و هر تکرار، تعداد ۲۰ عدد بذر در پتری دیش قرار گرفت. سپس به هر پتری دیش ۱۰ میلی لیتر آب مقطر یا محلول‌های مورد نظر بسته به تیمار مربوطه افزوده شد و در ژرمیناتور با دمای ۱۷ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. برداشت بذرها در دو مرحله، یکی پس از ۲۴ ساعت و دیگری پس از ۴۸ ساعت برای استخراج عصاره آنزیمی انجام شد. جهت استخراج آنزیم، ۰/۷۵ گرم از پودر حاصل از کوبیدن بذرها در هاون با ۴ میلی لیتر بافر استخراج (بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی مولار با  $\text{pH}=7$ ) مخلوط شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در سانتریفیوژ

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژی و بیوشیمیایی چهار ژنوتیپ جو تحت تاثیر تایش و عدم تابش لیزر در سطوح مختلف شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					نسبت پتاسیم به سدیم	آلفا آمیلاز ۲۴ ساعت	آلفا آمیلاز ۴۸ ساعت	آدنوزین تری فسفات
		پتاسیم	سدیم	پرولین	پتاسیم	سدیم				
لیزر	۱	۱۱۷۸۵**	۱۰۲/۲۷**	۲۲۴۸۱/۷۱**	۱۲۰/۸۰۸**	۳/۳۹**	۷/۵۷**	۳۹۹۳۷۹۷۹۳۴**		
ژنوتیپ	۳	۳۷۶۳**	۶۲/۵۴**	۹۸۰۳/۴۸**	۶۶۶/۵۵**	۲/۰۶**	۸/۶۴**	۲۱۵۸۴۳۲۸۷۵**		
شوری	۴	۱۸۱۹**	۱۰۴/۸۶**	۵۶۵۲۴/۶۸**	۱۹۰۵/۱۹**	۱۲/۵۰**	۱۱/۲۱**	۸۶۸۱۵۶۲۲۰۲**		
لیزر × ژنوتیپ	۳	۱۴۹۴**	۱۸/۲۹**	۲۰۹۸/۷۰**	۲۷۰/۳۳**	۰/۲۱**	۰/۰۷**	۱۹۸۱۷۲۳۱۱**		
لیزر × شوری	۴	۲۵۳۳**	۱۲۱/۰۴**	۴۲۴/۲۰**	۲۱۹/۴۱**	۰/۴۰**	۰/۱۹**	۵۸۰۳۰۳۷۱۸**		
ژنوتیپ × شوری	۱۲	۸۶۶۹۹**	۳۶/۶۹**	۱۲۸۵۰/۲۳**	۱۶۷/۹۹**	۰/۴۴**	۰/۱۴**	۳۴۹۰۳۷۷۱۶**		
ژنوتیپ × شوری × لیزر	۱۲	۹۴۵۰/۲۳**	۴۱/۴۸**	۲۰۳/۲۷**	۸۲/۴۹**	۰/۱۵**	۰/۰۷**	۲۷۱۷۳۳۶۹۵**		
اشتباه آزمایشی	۸۰	۹۰/۴۹	۰/۱۴	۲۳/۶۰	۲/۵۵	۰/۰۰۴	۰/۰۲	۳۴۴۵۲۲۵		
ضریب تغییرات	-	۶۵/۴۵	۵/۷۸	۹/۰۰	۲۰/۱۰	۶/۴۰	۹/۳۰	۵/۴۲		

\*\* معنی داری در سطح ۰/۰۱

جدول ۲- مقایسه میانگین محتوای پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر) برگ های ۴ ژنوتیپ جو تحت تاثیر تابش های مختلف لیزر در سطوح مختلف شوری

ارقام مورد آزمایش	ریحان	فجر ۳۰	افضل	نصرت
تیمار کلرید سدیم (میلی مولار)	۰ mM	۳/۲۶ <sup>h</sup>	۵/۰۶ <sup>h</sup>	۳/۲۶ <sup>h</sup>
	۸۰ mM	۵/۴۸ <sup>gh</sup>	۷/۹۶ <sup>gh</sup>	۳/۴۳ <sup>h</sup>
بدون تابش	۱۶۰ mM	۶/۴۹ <sup>gh</sup>	۱۲/۱۸ <sup>efgh</sup>	۰/۰۰ <sup>h</sup>
لیزر	۲۴۰ mM	۰/۰۰ <sup>h</sup>	۳۱/۴۶ <sup>de</sup>	۰/۰۰ <sup>h</sup>
	۳۲۰ mM	۰/۰۰ <sup>h</sup>	۰/۰۰ <sup>h</sup>	۰/۰۰ <sup>h</sup>
	۰ mM	۷/۲۳ <sup>gh</sup>	۶/۱۴ <sup>gh</sup>	۳/۹۴ <sup>h</sup>
	۸۰ mM	۱۴/۵۷ <sup>efgh</sup>	۱۸/۲۹ <sup>efgh</sup>	۹/۸۶ <sup>fgh</sup>
تابش لیزر	۱۶۰ mM	۲۴/۲۰ <sup>defg</sup>	۲۹/۱۴ <sup>de</sup>	۱۵/۲۵ <sup>efgh</sup>
	۲۴۰ mM	۳۹/۷۸ <sup>cd</sup>	۶۲/۸۷ <sup>b</sup>	۰/۰۰ <sup>h</sup>
	۳۲۰ mM	۲۹/۶۵ <sup>de</sup>	۱۰۱/۸۸ <sup>a</sup>	۰/۰۰ <sup>h</sup>

حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی دار می باشند.

جوانه زنی نسبت به سایر ژنوتیپ ها برتری داشت و میزان تحمل بیشتری در شرایط تنش شوری نسبت به سایر ژنوتیپ ها از خود نشان داد، میزان تجمع پرولین بیشتری در هر سطح شوری در مقایسه با سایر ارقام داشت. پس از رقم افضل، ارقام ریحان و

میلی مولار رقم افضل با  $12/18 \mu\text{mol/gfw}$  بیشترین میزان پرولین را در میان ارقام مورد بررسی داشت. پس از آن ارقام ریحان و فجر ۳۰ قرار داشتند. در این سطح شوری، رقم نصرت از بین رفت (جدول ۲). ژنوتیپ افضل که از لحاظ صفات

رقم افضل کمترین میزان سدیم را داشت. همانگونه که در جدول ۳ مشاهده شد، پیش تیمار لیزر اثر منفی بر افزایش یون سدیم در تمام ارقام و تمام سطوح شوری داشت. میزان کاهش غلظت سدیم در سطح شوری ۱۶۰ میلی مولار در ارقام ریحان، فجر و افضل به ترتیب ۲۸/۶، ۱۷/۱، ۲۸/۷ درصد بود. روند افزایش میزان یون سدیم با افزایش سطوح شوری منطبق با میزان مقاومت ارقام بود. این روند در رقم افضل کندتر از سایر ارقام بود و نشان‌دهنده تحمل بیشتر این رقم نسبت به شوری بود. به نظر می‌رسد رقم افضل قادر به انتقال این مقدار یون به واکنش‌های درون برگ بود.

خوش خلق سیما و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی که بر ارقام جو تحت تنش شوری انجام دادند مشاهده کردند که میزان جذب سدیم در رقم افضل در شوری ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی مولار نمک کلرید سدیم در مقایسه با کنترل به میزان ۷، ۲۱ و ۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک افزوده شد. یکی از مهمترین اثرات شوری در محیط رشدی به صورت افزایش غلظت سدیم در داخل گیاه بروز می‌نماید. طبق نتایج Green در سال ۱۹۸۶ سدیم در محیط خارج از ریشه و همچنین در داخل گیاه بیشترین تغییرات را در تغذیه معدنی گیاه به وجود می‌آورد. در مطالعه Sadat Noori و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده شد که با افزایش سطح شوری میزان غلظت سدیم در بافت برگ گندم افزایش یافت. اگر چه افزایش سدیم در برخی از گیاهان برای رشد و نمو مورد نیاز است ولی غلظت بالای کلرید سدیم یک عامل محدود کننده برای رشد گیاهی است (Blum و همکاران ۲۰۰۶). پتانسیل اسمزی پایین محلول خاک و غلظت بالای املاح موجود در خاک که عامل سمیت یونها به علت افزایش یونهای سدیم و کلر در خاک و جذب بیش از حد مورد نیاز گیاه هستند به طور بالقوه برای گیاهان زیان آور می‌باشند. در مطالعه Sadeghi (۲۰۱۱) گزارش کرد که میزان پتاسیم بیشتر و سدیم کمتری را در برگهای رقم متحمل جو تجمع پیدا کرد.

#### غلظت پتاسیم در گیاهچه و تغییرات آن در سطوح مختلف

**شوری و تابش لیزر:** بررسی روند تغییرات پتاسیم نشان داد این یون در همه ارقام تحت تنش شوری کاهش یافت. همانگونه که

فجر ۳۰ قرار داشتند. رقم نصرت کمترین میزان پرولین را در خود داشت که نشان دهنده عدم قدرت تطبیق با شرایط تنش و حساس بودن این رقم به تنش شوری است. با توجه به جدول تجزیه واریانس مشاهده شد که لیزر تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد بر افزایش سطح پرولین داشت. پرتوتابی لیزر باعث افزایش محتوای پرولین نسبت به گیاهان شاهد شد.

در این مطالعه اثرات متقابل شوری در لیزر، شوری در ژنوتیپ و ژنوتیپ در لیزر در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. وجود اثر متقابل در بین سطوح شوری، لیزر و ژنوتیپ نشان داد که میزان تجمع پرولین در برگهای ژنوتیپهای مختلف جو واکنش متفاوتی را در گیاهان تحت تنش به وسیله تجمع یک یا چند ماده آلی با وزن مولکولی کم که اسمولیت‌های همساز نامیده می‌شوند تنظیم اسمزی را تجربه می‌کند (Sai Ram et al., 2002). آنها موادی هستند که نقش خشی را در شرایط تنش بازی می‌کنند. پوستینی و سی و سه مرده (۱۳۸۰) گزارش کردند که در گندم، تنش شوری باعث افزایش معنی دار غلظت پرولین شد. بنابر مطالعات صورت گرفته توسط خوش خلق سیما و همکاران (۲۰۱۲) با افزایش سطح شوری، میزان پرولین در دو رقم جو افزایش یافت به طوری که با افزایش میزان شوری نمک کلرید سدیم به ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی مولار، میزان افزایش پرولین در رقم افضل در مقایسه با کنترل به ترتیب ۵/۹، ۱۷۱ و ۳۹۴ میلی گرم بر گرم بود. نتایج بررسی (Sadat Noori و همکاران ۲۰۱۱) بر گیاه گندم نان تحت نشان داد میزان محتوای پرولین در اثر پیش تیمار لیزر به طور معنی داری افزایش یافت. در تحقیقی که توسط Yan و همکاران (۲۰۰۹) انجام گرفت مشخص شد که لیزر هلیوم - نئون باعث افزایش قابل توجه میزان تجمع پرولین در گیاهان در معرض شده که باعث افزایش مقاومت گیاه می‌شود.

#### غلظت سدیم در گیاهچه و تغییرات آن در سطوح مختلف

**شوری و تابش لیزر:** تفاوت بین ارقام، تنش شوری، تابش لیزر و اثرات متقابل آنها در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۱). در این تحقیق، با افزایش شوری میزان یون سدیم در همه ارقام افزایش یافت. در سطح شوری صفر میلی مولار

جدول ۳- مقایسه میانگین میزان یون سدیم (میلی گرم بر گرم وزن خشک) ۴ ژنوتیپ جو تحت تأثیر تابش‌های مختلف لیزر در سطوح مختلف شوری

ارقام مورد آزمایش	ریحان	فجر ۳۰	افضل	نصرت
تیمار کلرید سدیم (میلی مولار)				
۰ mM	۷/۳۶ <sup>jk</sup>	۸/۸۱ <sup>efgh</sup>	۶/۴۷ <sup>l</sup>	۸/۱۱ <sup>i</sup>
۸۰ mM	۹/۳۳ <sup>ef</sup>	۱۰/۱۷ <sup>d</sup>	۷/۹۷ <sup>ij</sup>	۱۱/۲۵ <sup>bc</sup>
۱۶۰ mM	۱۱/۱۶ <sup>bc</sup>	۱۲/۰۵ <sup>a</sup>	۱۰/۳۱ <sup>d</sup>	۰/۰۰
۲۴۰ mM	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۱/۷۷ <sup>ab</sup>	۰/۰۰
۳۲۰ mM	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
بدون تابش				
۰ mM	۶/۲۸ <sup>l</sup>	۶/۴۲ <sup>l</sup>	۳/۲۳ <sup>n</sup>	۶/۳۳ <sup>i</sup>
۸۰ mM	۶/۸۴ <sup>kl</sup>	۸/۲۵ <sup>hi</sup>	۵/۳۹ <sup>m</sup>	۹/۱۹ <sup>efg</sup>
۱۶۰ mM	۸/۶۷ <sup>i</sup>	۱۰/۲۲ <sup>d</sup>	۸/۰۲ <sup>ij</sup>	۱۰/۸۸ <sup>cd</sup>
۲۴۰ mM	۹/۳۸ <sup>fghi</sup>	۱۰/۸۳ <sup>cd</sup>	۸/۵۳ <sup>ghi</sup>	۰/۰۰
۳۲۰ mM	۱۰/۵۵ <sup>cd</sup>	۱۲/۰۸ <sup>a</sup>	۱۰/۵۹ <sup>cd</sup>	۰/۰۰

حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می باشد

جدول ۴- مقایسه میانگین میزان یون پتاسیم (میلی گرم بر گرم وزن خشک) چهار ژنوتیپ جو تحت تأثیر تابش‌های لیزر در سطوح مختلف شوری

ارقام مورد آزمایش	ریحان	فجر ۳۰	افضل	نصرت
تیمار کلرید سدیم (میلی مولار)				
۰ mM	۹۸/۷۵ <sup>f</sup>	۷۷/۵۰ <sup>h</sup>	۱۲۶/۲۵ <sup>d</sup>	۱۱۵/۰۰ <sup>e</sup>
۸۰ mM	۱۵۲/۰۰ <sup>I</sup>	۱۵۰/۰۰ <sup>I</sup>	۹۳/۰۰ <sup>f</sup>	۷۴/۰۰ <sup>h</sup>
۱۶۰ mM	۱۳۵/۲۵ <sup>jk</sup>	۲۷/۷۵ <sup>I</sup>	۳۹/۷۵ <sup>j</sup>	۰/۰۰
۲۴۰ mM	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۶/۵۰ <sup>m</sup>	۰/۰۰
۳۲۰ mM	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
بدون تابش				
۰ mM	۱۲۲/۵۰ <sup>de</sup>	۱۰۱/۲۵ <sup>f</sup>	۲۰۳/۷۵ <sup>a</sup>	۱۴۰/۰۰ <sup>c</sup>
۸۰ mM	۸۰/۰۰ <sup>h</sup>	۷۷/۰۰ <sup>h</sup>	۱۵۳/۰۰ <sup>b</sup>	۹۱/۰۰ <sup>g</sup>
۱۶۰ mM	۱۴۲/۰۰ <sup>j</sup>	۴۱/۲۵ <sup>j</sup>	۹۲/۲۵ <sup>g</sup>	۲۸/۰۰ <sup>I</sup>
۲۴۰ mM	۳۶/۷۵ <sup>jk</sup>	۲۷/۷۵ <sup>I</sup>	۵۴/۷۵ <sup>i</sup>	۰/۰۰
۳۲۰ mM	۱۴/۵۰ <sup>m</sup>	۱۷/۰۰ <sup>m</sup>	۳۰/۵۰ <sup>kl</sup>	۰/۰۰

حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می باشد

در جدول ۴ دیده شد، شیب کاهش غلظت پتاسیم در رقم افضل کمتر از بقیه ارقام بود. پس از آن، رقم ریحان شیب کمتری در کاهش غلظت پتاسیم نشان داد. شیب کاهش غلظت پتاسیم در دو رقم فجر ۳۰ و نصرت تقریباً یکنواخت بود. در حالت عدم پرتوتابی در شوری صفر میلی مولار رقم افضل با ۱۲۶/۲۵ پتاسیم دارای بیشترین میزان پتاسیم نسبت به سایر ارقام در

در جدول ۴ دیده شد، شیب کاهش غلظت پتاسیم در رقم افضل کمتر از بقیه ارقام بود. پس از آن، رقم ریحان شیب کمتری در کاهش غلظت پتاسیم نشان داد. شیب کاهش غلظت پتاسیم در دو رقم فجر ۳۰ و نصرت تقریباً یکنواخت بود. در حالت عدم پرتوتابی در شوری صفر میلی مولار رقم افضل با ۱۲۶/۲۵ پتاسیم دارای بیشترین میزان پتاسیم نسبت به سایر ارقام در

جذب پتاسیم را کاهش می‌دهد. در مطالعات فیزیولوژیکی Bachmann و همکاران (۲۰۰۳) نشان داده شده که سمیت سدیم تنها به دلیل غلظت بالای آن در سیتوسول نبوده، بلکه می‌تواند به دلیل به هم زدن دامنه زیستی پتاسیم به علت توانایی رقابت بر سر جایگاه اتصال پتاسیم باشد، از این رو حفظ نسبت بالای پتاسیم به سدیم در برخی گونه‌ها نظیر جو و پنبه که غلظت‌های بالایی از سدیم را تجمع می‌دهند مهم‌تر از پایین نگاه داشتن تنها غلظت سدیم می‌باشد.

**تأثیر سطوح مختلف شوری و پرتوتابی لیزر بر میزان فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز:** در این آزمایش با افزایش شوری میزان فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز به طور معنی‌داری کاهش یافت به طوری که بیشترین میزان فعالیت آلفا آمیلاز در شوری صفر میلی مولار بود. نتایج حاصل از مقایسه تغییرات فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز تحت تنش شوری نشان داد که رقم افضل همیشه بر سایر ارقام برتری داشت. در اندازه گیری ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت در شوری صفر میلی مولار رقم افضل دارای بیشترین میزان فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز بود و این برتری را در تمامی سطوح شوری حفظ کرد (جدول ۶ و ۷). با افزایش زمان از ۲۴ ساعت به ۴۸ ساعت میزان فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز افزایش یافت. با افزایش زمان، میزان جذب آب بیشتر شد و بالطبع میزان فعالیت این آنزیم افزایش یافت. آنزیم آلفا آمیلاز یکی از فاکتورهای مهم در پیش برد فرآیند جوانه‌زنی بوده و کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز تحت تأثیر تنش شوری سبب کاهش متابولیسم ذخایر غذایی بذر و در نتیجه کاهش رشد و طول گیاهچه گیاهان می‌شود. در مطالعه‌ای که توسط Dkhill و Denden (۲۰۱۰) به روی بذر گیاه *belmoschus esculentus* انجام شد، تنش شوری سبب کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و جوانه زنی بذر شد. کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز تحت تأثیر تنش شوری یکی از دلایل کاهش جوانه زنی و رشد گیاهچه است. همچنین تاخیر در جوانه زنی و ظهور گیاهچه لویا چشم بلبلی در شرایط تنش شوری ناشی از کاهش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در مطالعه Rover و همکاران (۱۹۹۸) مشاهده شد. در مطالعه Burda و همکاران (۲۰۰۵) مشخص شد که اثرات محرک زیستی لیزر

این بررسی بود. با افزایش سطح شوری به ۸۰ میلی مولار رقم افضل با ۹۳ mg/gdw همچنان بیشترین میزان پتاسیم را داشت. طبق نتایج Pervaz و همکاران (۲۰۰۸) علت کاهش جذب پتاسیم در شرایط تنش شوری، انتقال کاتیونهای  $K^+$  و  $Na^+$  با یک پروتئین مشترک است که  $Na^+$  برای شارش به درون سلول با  $K^+$  رقابت می‌نماید. در غلظت‌های کم پتاسیم محیط، سیستم‌های پرتوتابی جذب انتخابی یون پتاسیم برخلاف شیب هدایت الکتریکی مورد نیاز است (Welsh و همکاران، ۲۰۰۰). طبق تحقیق Wasilousky (۱۹۸۸) مشخص شده است که فعالسازی گیاه توسط لیزر، نتیجه افزایش پتانسیل انرژی سلولی است و باعث تحریک و افزایش فعالیت فیتوکروم‌ها، فیتوهورمون‌ها و سیستم تخمیری گیاه می‌شود که خود منجر به تحریکات بیوشیمیایی و فرآیندهای فیزیکی گیاه خواهد شد. تحریک گیاه توسط لیزر باعث تسریع فتوسنتز، تنفس و تقویت و رهبری واکنش‌های بیوسنتزی شد. بنابراین سنتز رنگدانه‌های گیاهی، کربوهیدرات‌ها، ویتامین‌ها و سایر متابولیت‌ها بهبود یافت.

**نسبت پتاسیم به سدیم:** با افزایش سطح شوری میزان نسبت پتاسیم به سدیم در همه ارقام مورد آزمایش کاهش یافت. با توجه به جدول ۵ در حالت عدم پرتوتابی لیزر، بیشترین نسبت پتاسیم به سدیم در رقم افضل سطح شوری صفر میلی مولار و برابر ۱۹/۵۹ بود و کمترین آن مربوط به رقم فجر ۳۰ بود. در تیمار شوری ۱۶۰ میلی مولار این نسبت در رقم افضل برابر ۳/۸۶ و در رقم ریحان ۲/۴۲ و در رقم فجر ۳۰، ۲/۹۲ بود. بالاتر بودن نسبت پتاسیم به سدیم در رقم افضل در همه تیمارها نشان‌دهنده متحمل بودن این رقم نسبت به شرایط تنش شوری بود. رقم افضل با بالا نگه داشتن این نسبت، توانست اثرات مخرب نمک را تحمل کند.

طبق مطالعات Green (۱۹۸۶) شوری ممکن است از طریق به هم زدن تعادل یونی و اثر روی تغذیه، رشد گیاه را محدود کند. یکی دیگر از دلایل ممانعت از رشد گیاه در اثر کلرید سدیم، مشکلاتی است که در جذب مواد معدنی دیگر در رقابت با یون سدیم به وجود می‌آید. در شوری‌های کم ممکن است واقعاً جذب سدیم افزایش یابد ولی در شوری‌های بالا، سدیم



جدول ۵- مقایسه ی نسبت پتاسیم به سدیم در چهار زنوتیپ جو تحت تاثیر تابش های مختلف لیزر در سطوح مختلف شوری

ارقام مورد آزمایش	ریحان	فجر ۳۰	افضل	نصرت
تیمار کلرید سدیم (میلی مولار)				
۰ mM	de ۴۸/۱۳	gh ۸/۷۹	c ۱۹/۵۹	de ۱۴/۱۸
۸۰ mM	ij ۳۶/۵	ij ۵/۱۲	ef ۱۱/۷۳	hi ۶/۵۷
۱۶۰ mM	ijkl ۲/۴۹	ijkl ۲/۹۲	kl ۱/۴۰	۰/۰۰
۲۴۰ mM	۰/۰۰	۰/۰۰	ijk ۳/۸۶	۱۰/۰۰
۳۲۰ mM	۱۰,۰۰	۰/۰۰	kl ۱/۴	۱۰/۰۰
بدون تابش				
۰ mM	c ۱۹/۵۳	d ۱۵/۷۹	a ۶۳/۹۰	c ۲۲/۲۰
۸۰ mM	efg ۱۱/۳۰	fg ۹/۷۰	b ۲۸/۴۲	fg ۹/۹۲
۱۶۰ mM	ij ۴/۷۷	ijk ۴/۱۳	efg ۱۱/۵۵	ijkl ۲/۵۸
۲۴۰ mM	ijk ۳/۹۲	ijkl ۲/۵۶	hi ۶/۴۵	۰/۰۰
۳۲۰ mM	kl ۱/۶۱	kl ۱/۲۰	ijkl ۲/۸۸	۰/۰۰
تابش لیزر				

حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی دار می باشد

جدول ۶ - میانگین فعالیت آلفا آمیلاز (میلی گرم بر گرم بر دقیقه) در بذر چهار ژنوتیپ جو تحت تاثیر تابش های مختلف لیزر در سطوح مختلف شوری (۲۴ ساعت)

ارقام مورد آزمایش	ریحان	فجر ۳۰	افضل	نصرت
تیمار کلرید سدیم (میلی مولار)				
۰ mM	efg ۱/۲۷	gh ۱/۱۸	d ۱/۵۶	jk ۰/۹۶
۸۰ mM	efg ۱/۲۵	jk ۰/۹۷	e ۱/۳۶	mn ۰/۷۱
۱۶۰ mM	kl ۰/۸۹	mn ۰/۷۳	ij ۱/۰۵	op ۰/۴۴
۲۴۰ mM	lm ۰/۷۷	op ۰/۴۵	jk ۰/۹۶	p ۰/۳۷
۳۲۰ mM	op ۰/۴۷	op ۰/۴۵	kl ۰/۸۵	p ۰/۳۵
بدون تابش				
۰ mM	b ۱/۸۵	bc ۱/۷۵	a ۱/۹۶	efg ۱/۲۵
۸۰ mM	c ۱/۶۹	c ۱/۶۸	bc ۱/۷۴	hi ۱/۰۹
۱۶۰ mM	fg ۱/۲۲	gh ۱/۲۰	ef ۱/۳۴	mn ۰/۶۸
۲۴۰ mM	kl ۰/۸۶	kl ۰/۸۷	gh ۱/۱۷	o ۰/۵۳
۳۲۰ mM	mn ۰/۶۶	n ۰/۶۴	ghi ۱/۱۵	op ۰/۴۵
تابش لیزر				

حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی دار می باشد

لگومینه، افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز بود. می توان این وقایع را این گونه تفسیر کرد که لیزر به علت میدان الکترومغناطیسی و انرژی گرمایی که مولکول های سلول را تحت تاثیر قرار می دهند باعث افزایش فعالیت آنزیم و واکنشگرهای واسطه آنزیم می شود.

می تواند فعالیت آنزیم ها را افزایش دهد، مکانیزم های فیزیولوژیکی گیاهان را تسریع کند و در نتیجه رشد گیاهان تحت استرس را افزایش دهد. طی تحقیق Durkova (۱۹۹۳) و، یکی از دلایل تاثیر مثبت لیزر بر عملکرد گیاهانی چون گندم و

جدول ۷- میانگین فعالیت آلفا آمیلاز (میلی گرم بر گرم بر دقیقه) در بذر چهار ژنوتیپ جو تحت تاثیر تابش‌های مختلف لیزر در سطوح مختلف شوری (۴۸ ساعت)

ارقام مورد آزمایش	ریحان	فجر ۳۰	افضل	نصرت
تیمار کلرید سدیم (میلی مولار)				
۰ mM	cdef ۲/۵۴	efg ۲/۳۰	bcd ۲/۶۱	ijkl ۱/۵۵
۸۰ mM	cdef ۲/۵۳	h ۱/۸۷	cdef ۲/۵۲	pqr ۰/۹۵
۱۶۰ mM	ijkl ۱/۵۵	klm ۱/۳۵	g ۲/۱۵	rs ۰/۶۸
۲۴۰ mM	lmno ۱/۲۶	nop ۱/۰۵	klj ۱/۴۸	rs ۰/۶۴
۳۲۰ mM	qrs ۰/۷۴	qrs ۰/۶۹	klmn ۱/۳۲	rs ۰/۴۷
۰ mM	a ۳/۲۳	bc ۲/۷۹	a ۳/۴۰	defg ۲/۳۶
۸۰ mM	b ۲/۸۳	cdef ۲/۵۱	a ۳/۲۹	hi ۱/۷۹
۱۶۰ mM	fg ۲/۲۸	h ۱/۸۹	bcd ۲/۵۹	opq ۰/۹۸
۲۴۰ mM	hij ۱/۷۴	klmn ۱/۳۱	defg ۲/۴۱	qrs ۰/۷۴
۳۲۰ mM	mno ۱/۱۵	pqr ۰/۸۹	ijk ۱/۵۶	rs ۰/۵۶

حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می باشد

جدول ۸- مقایسه میانگین محتوای آدنوزین تری فسفات چهار ژنوتیپ جو تحت تاثیر تابش‌های مختلف لیزر در سطوح مختلف شوری

ارقام مورد آزمایش	ریحان	فجر ۳۰	افضل	نصرت
تیمار کلرید سدیم (میلی مولار)				
۰ mM	a ۲۵۵۹/۰۰	fg ۴۷۵۵/۰۰	b ۵۶۳۲۷/۳۳	bc ۵۵۱۵۳/۳۳
۸۰ mM	ef ۴۶۷۹۶/۳۳	ijkl ۱۶۱۴/۶۷	cde ۵۲۷۵۶/۳۳	hi ۴۳۹۲۸/۳۳
۱۶۰ mM	ijkl ۴۰۵۱۹/۰۰	il ۳۸۸۲۶/۰۰	ijkl ۴۰۵۷۱/۰۰	۰/۰۰
۲۴۰ mM	۰/۰۰	۰/۰۰	ml ۳۶۱۴۷/۳۳	۰/۰۰
۳۲۰ mM	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۰ mM	a ۳۰۴۲/۰۰	def ۵۰۵۱۹/۳۳	a ۶۱۸۵۹/۰۰	a ۵۹۹۸۶/۳۳
۸۰ mM	bcd ۵۳۳۶۰/۰۰	fg ۴۸۷۰۲/۳۳	bc ۵۵۹۶۱/۳۳	kl ۳۹۸۸۸/۰۰
۱۶۰ mM	ijk ۴۳۵۱۸/۰۰	ijk ۴۲۲/۳۳	gh ۴۶۵۰۵/۳۳	p ۲۵۵۱۰/۶۷
۲۴۰ mM	mn ۳۵۶۷۴/۶۷	lmn ۳۸۳۱۴/۳	ijkl ۴۰۱۷۲/۶۷	۰/۰۰
۳۲۰ mM	o ۲۹۹۳۹/۶۷	n ۳۵۲۹۳/۰۰	o ۳۱۹۶۹/۶۷	۰/۰۰

حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار می باشد

دارای بیشترین میزان ATP در بافت برگگی بود. ارقام افضل، فجر ۳۰ و نصرت، به ترتیب در رده بعدی قرار داشتند (جدول ۸). با افزایش شوری به سطح ۸۰ میلی مولار رقم افضل بیشترین مقدار ATP را داشت. در شوری ۱۶۰ میلی مولار، میزان کاهش غلظت ATP نسبت به سطح شوری ۸۰ میلی مولار، در رقم

تأثیر سطوح مختلف شوری و پرتوتابی لیزر بر محتوای آدنوزین تری فسفات (ATP): نتایج تجزیه واریانس محتوای آدنوزین تری فسفات در جدول ۱ نشان داده شده است. با افزایش تنش شوری میزان انرژی گیاه کاهش معنی داری داشت. در تیمار عدم پرتوتابی در شوری صفر میلی مولار رقم ریحان

تحت تابش قرار گرفته بودند ۱/۷۵ برابر میزان ATP در نمونه های کنترل بودند.

مطالعه Hamblin و Demidova (۲۰۰۶) نشان داد که در اثر تابش لیزر سیتوکرومها متاثر شده و سبب فعالیت ردوکس در زنجیره تنفسی سلول می شود و سبب افزایش تولید ATP شده که نهایتاً منجر به فعالیت آنزیم  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase و دیگر حامل های یونی می شود. میتوکندریها با جذب رادیکالهای اکسیژن، مولکول آدنوزین دی فسفات در طی فسفریلاسیون تبدیل به آدنوزی تری فسفات شده و با افزایش میزان پروتونها باعث افزایش فعالیت پمپهای  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  و ATPase و پمپ  $\text{Na}^+/\text{Ca}^+$  شود. تنظیم حرکت یونها از غشا پلاسما برای تحمل شوری در گیاه به وسیله گرا دیانت الکتروشیمیایی که توسط  $\text{H}^+$ -ATPase در غشا پلاسمایی تامین می شود، انجام می گیرد.

#### نتیجه گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان دهنده تأثیرگذاری تنش شوری بر تمامی صفات مورد مطالعه ارقام جو در مرحله جوانه زنی و گیاهچه ای بود. به طوریکه افزایش شوری موجب کاهش غلظت یون پتاسیم، نسبت پتاسیم به سدیم، فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و محتوای مولکول آدنوزین تری فسفات و افزایش غلظت یون سدیم و پرولین شد. همچنین پیش تیمار لیزر موجب افزایش تحمل ارقام مورد آزمایش به تنش شوری گردید. به طوریکه سبب تغییر مثبت صفات مورد بررسی در جهت افزایش تحمل به تنش شوری شد. در بین ارقام مورد بررسی، رقم افضل در تیمار تابش لیزر بیشترین میزان تحمل را نسبت به سایر ارقام نشان داد و رقم نصرت حساسترین رقم در این آزمایش بود.

ریحان ۱۲ درصد، در رقم فجر ۳۰، ۷ درصد و در رقم افضل ۲۳ درصد بود. رقم نصرت در این سطح شوری از بین رفت. در شوری ۲۴۰ میلی مولار تنها رقم افضل زنده ماند. در پیش تیمار لیزر میزان ATP در بافت برگگی تمامی ارقام در تمامی سطوح شوری، بالاتر از حالت عدم پرتوتابی بود. بیشتر بودن مقدار ATP در رقم افضل در سطح شوری ۸۰ میلی مولار نشان داد در این سطح شوری، رقم افضل نسبت به سایر ارقام، کمتر تحت تأثیر تنش قرار گرفت و سلولها در حال انجام فرآیندهای عادی خود بودند در حالیکه در سایر ارقام میزان انرژی کاهش بیشتری یافت. میزان کاهش ATP در رقم افضل در سطح شوری ۱۶۰ میلی مولار نسبت به سایر ارقام بیشتر بود که رشد بیشتر این رقم در مقایسه با سایر ارقام مورد آزمایش، در این سطح شوری، توجیه کننده کاهش ATP بود. به این معنی که ارقام ریحان، فجر ۳۰ و نصرت در حال مصرف انرژی در مسیرهای آنابولیکی برای تجمع مواد محافظ اسمزی و مقابله با تنش بودند. بیشتر بودن میزان غلظت ATP در بافت برگگی گیاهانی که تحت پیش تیمار لیزر قرار گرفتند، مطابق با نتایج حاصل از آزمایش جوانه زنی بود و توجیه کننده رشد بیشتر و تحمل بیشتر گیاهانی بود که تحت پیش تیمار لیزر قرار گرفتند. با افزایش سطوح شوری درصد کاهش ATP در رقم افضل بیشتر از سایر ارقام بود، به این معنی که با افزایش سطح شوری، رقم افضل نسبت به سایر ارقام رشد بیشتری داشت و بیشتر از انرژی تولیدی سلول در مسیرهای آنابولیکی استفاده کرد در حالیکه سایر ارقام با کاهش و رکود رشد مواجه شدند.

تحقیق Pastore و Martino (۱۹۹۶) نشان داد که در اثر تابش لیزر هلیوم-نئون، نرخ سنتز ATP به میزان ۱۴۰ درصد افزایش یافت. همچنین میزان ATP در در میتوکندریهایی که

#### منابع

- پوستینی، ک. و سی و سه مرده، ع. (۱۳۸۰). تنش شوری در گندم انتقال انتخابی یونها در واکنش به نسبت پتاسیم و سدیم. مجله علوم کشاورزی. ۳۲: ۶۵-۵۵.
- تاجبخش، م. و صادقی، ا. (۱۳۷۸). تأثیر تنش شوری حاصل از کلرید سدیم بر روی غشاء سلولی و جنین در ارقام حساس و مقاوم جو. مجله نهال و بذر، موسسه تحقیقات وزارت کشاورزی. ۱۵: ۲۶۱-۲۵۱.

خوش خلق سیما، ن. ا.، علی تبار، ر.، اقبالی نژاد، م.، بابازاده، پ. و طالع احمد، س. (۱۳۹۲). تاثیر شوری بر جوانه زنی و آستانه تحمل به شوری جو. پژوهشهای زراعی ایران. ۱۱: ۱۲۰-۱۰۷.

- Bachmann, K., He, Y., Sarver, J. G. and Peng, N. (2003) Characterization of the cytochrome P450 enzymes involved in the in vitro metabolism of ethosuximide by human hepatic microsomal enzymes. *Xenobiotica* 33: 265-276.
- Blits, K. C. and Gallagher, J. L. (1990) Effect of NaCl on lipid content of plasma membranes isolated from roots and cell suspension cultures of the dicot halophyte *Kosteletzkya virginica* (L.) presl. *Plant Cell Reports* 9: 156-159.
- Caraway, W. T. (1959) A stable starch substrate for the determination of amylase in serum and other body fluids. *American Journal Clinical Pathologic* 32: 97-99.
- Dkhil, B. B. and Denden M. (2010) Salt stress induced changes in germination, sugars, starch and enzyme of carbohydrate metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench seeds. *African Journal of Agricultural Research* 5: 1412-1418.
- Durkova, E. (1993) The activity of wheat grains and the effect of laser radiation. *Acta Phytotech* 49: 59-66.
- Gladyszewska, B., Kornas-Czuczwar, B., Koper, R. and Lipski, S. (1998) Theoretical and practical aspects of pre-sowing laser bio-stimulation of the seeds. *Inzynieria Rolnicza* 2: 21-29.
- Green, A. (1986) The insulin-like effect of sodium vanadate on adipocyte glucose transport is mediated at a post-insulin-receptor level. *Biochemical Journal* 238: 663-669.
- Hamblin, M. R. and Demidova, T. N. (2006) Mechanisms of low level light therapy. *Biomedical Optics* 2006, International Society for Optics and Photonics.
- Mei, Y. and Song, S. (2008) Early morphological and physiological events occurring during germination of maize seeds. *Agricultural Science in China* 7: 950-957.
- Pastore, N. and Martino, A. (1996) Stimulation of ATP synthesis via oxidative phosphorylation in wheat mitochondria irradiated with Helium-Neon laser. *IUBMB Life* 39: 149-157.
- Pervaiz, S., Nasim, M., Qureshi, R. H., Aziz, T., Saqib, M., Nawaz, S. and Sahi, S. T. (2008) Growth and ionic composition of salt stressed *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus teretecornis*. *Pakistan Journal of Botany* 40: 799-805.
- Sai Ram, M., Neetu, D., Yogesh, B., Anju, B., Dipti, P., Pauline, T., Sharma, S. K., Sarada, S. K., Ilavazhagan, G., Kumar, D. and Selvamurthy, W. (2002) Cyto-protective and immunomodulating properties of Amla (*Emblica officinalis*) on lymphocytes: an in-vitro study. *Journal of Ethnopharmacology* 81: 5-10.
- Rover, L., Fernandes, J. C., de Oliveira Neto, G., Kubota, L. T., Katekawa, E. and Serrano, S. H. (1998) Study of NADH stability using ultraviolet-visible spectrophotometric analysis and factorial design. *Analytical biochemistry* 260: 50-55.
- Rybinski, W., Patyna, H. and Przewoyny, T. (1993) Mutagenic effect of laser and chemical mutagens in Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Genetica Polonica* 34: 337-343.
- Rybinski, W. (2000) Influence of laser beams on the variability of traits in spring barley. *Int. Agrophysics* 14: 227-232.
- Sadat Noori, S. A., Ferdosizadeh, L., Izadi-Darbandi, A., Mortazavian, M. M. and Saghafi, S. (2011) Effects of salinity and laser radiation on proline accumulation in seeds of spring wheat. *Journal of Plant Physiology and Breeding* 1: 11-20.
- Sadeghi, H. (2011) Use of new barley cultivar to improve salt tolerance and yield in cultivated barley (*Hordeum vulgare* L.). *African Journal of Agricultural Research* 6: 4778-4784.
- Vasilevski, G. (2003) Perspectives of the application of biophysical methods in sustainable agriculture. *Bulgarian Journal of Plant Physiology. Special Issue* 2003, 179- 186.
- Volkmar, K. M., Hu, Y. and Steppuhn, H. (1998) Physiological responses of plants to salinity: a review. *Canadian Journal of Plant Science* 78: 19-27.
- Wasilousky, P. A. (1988) Modular interface for monolithic millimeter wave antenna array, Google Patents.
- Welsh, P. G., Lipton, J., Chapman, G. A. and Podrabsky, T. L. (2000) Relative importance of calcium and magnesium in hardness based modification of copper toxicity. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19: 1624-1631.
- Yan, H., Zhihua, C., Yan, Z., Christopher, N., Jordan, R., Florian, D., Marcel, K. and Antonio, F. (2009) A high-mobility electron-transporting polymer for printed transistors. *Nature* 457: 679-686.
- Yoshida, Y., Kiyosue, T., Nakashima, K., Yamaguchi-Shinozaki, K., and Shinozaki, K. (1997). Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. *Plant and Cell Physiology* 38: 1095-1102.