J. of Nucl Sci. and Tech.
79, 2017, 93-104

مجله‌ی علوم و فنون هسته‌ای
۷۹، ۱۳۹۶، ۹۳-۱۰۴

Sci. and Tech. note
یادداشت علمی و فنی

بررسی تأثیر پرتوتابی لیزر بر روی صفات جوانه‌زنی جو در محیط‌های شور در مرحله‌ی جوانه‌زنی

سیداحمد سادات نوری*[1]، فاطمه امینی[1]، بهروز فوقی[1]، زهرا حمیدی[1]، نیر اعظم خوش خلق سیما[2]
۱. گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، صندوق پستی: ۲۳۹۱۶۵۳۷۵۵، تهران ـ ایران
۲. پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، صندوق پستی: ۳۱۳۵۹-۳۳۱۵۱، تهران ـ ایران

چکیده: به منظور بررسی اثر پرتوتابی لیزر در تحمل به شوری گیاه جو در مرحله‌ی جوانه‌زنی، در گذشته در کشور به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شده است. عوامل مورد بررسی شامل چهار ژنوتیپ جو (ریحان، افضل، فجر ۳۰ و نصرت) دو سطح پرتوتابی لیزر (بدون تابش و با تابش لیزر به طول موج ۷۸۰ nm به مدت ۱۵ min) و ۵ سطح شوری (۰، ۸۰، ۱۶۰، ۲۴۰ و ۳۲۰ mM از کلرید سدیم) بودند. در این آزمایش در صفات جوانه‌زنی (طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، طول کلئوپتیل، تعداد ریشه‌های بذری، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه و بنیه‌ی بذر)، در سطوح شوری و پرتوتابی در بین ارقام مورد بررسی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. با افزایش سطح شوری، از میزان مهم‌ترین صفت جوانه‌زنی که شاخص بنیه‌ی بذر بود، در ارقام مورد مطالعه کم شد. پرتوتابی لیزر در این صفت به ترتیب باعث افزایش ۳۹، ۶۳ و ۴۶٪ در ارقام افضل، ریحان و فجر ۳۰ شد. به طور کلی، با توجه به تأثیرات مثبت لیزر بر فاکتورهای مورد بررسی چنین به نظر می‌آید که پرتوتابی لیزر می‌تواند تیماری مؤثر برای بالا بردن میزان تحمل گیاه نسبت به تنش شوری باشد.

کلیدواژه‌ها: پرتوتابی لیزر، تنش شوری، جو، جوانه‌زنی

Evaluation of the Effect of Laser Irradiation on Germination of Barley in Saline Condition at the Germination Stage

S.A. Sadat Noori*[1], F. Amini[1], B. Foghi[1], Z. Hamidi[1], N.A. Khoshkholgh Sima[2]
1. College of Aburayhan, University of Tehran, P.O.Box: 2391653755, Tehran – Iran
2. Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), P.O.Box: 33151-31359, Tehran – Iran

Abstract: To evaluate the effect of laser irradiation on the salinity tolerance in barley (*hordeum vulgare* L.) in the germination phase and seedling, a three- replicate experiment with CRD in a factorial arrangement experimental type has been previously conducted in Iran. Experimental factors were four barley genotypes (Reihan, Afzal, Fajr30 and Nosrat), two radiation levels (no laser and laser irradiation at 780 nm wavelength for 15 minutes) and five levels of salinity (0, 80, 160, 240 and 320 mM of sodium chloride). In this research, in the germination parameters (root length, shoot length, coleoptile length, root number, germination percentage, mean germination time, dry weight of seedling, seed vigor, and germination rate), all genotypes were significantly affected by increasing the salinity and laser irradiation ($P<0.01$). There was a reduction in the seed vigor (the most important germination parameter) by increasing the salinity level. The laser pre-treatment caused an increase of 39, 63, 46 and 100 percent in Afzal, Reihan, fajr 30 and Nosrat genotypes, respectively. The overall result showed a positive effect of the laser irradiation on the investigated traits.

Keywords: ***Barley, Germination, Laser Irradiation, Salinity Stress***

*email: noori@ut.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۴/۱۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۹/۱۶

۱. مقدمه

قسمت عمده‌ی مناطق ایران، به دلیل بالا بودن مقدار تبخیر و تعرق و پایین بودن میزان بارش‌های جوی، در زمره‌ی مناطق خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شوند و یکی از مشکلات این مناطق، شوری خاک آن‌هاست. بر طبق آمار موجود، سطح کل خاک‌های شور در ایران حدود ۴۴ میلیون هکتار تخمین زده می‌شود که حدود ۳۰٪ مساحت دشت‌ها و متجاوز از ۵۰٪ اراضی تحت کشت کشور آبی است [۱]. اهمیت بهره‌گیری از این اراضی در تولید محصول ایجاب می‌کند تا علاوه بر اقداماتی که در زمینه‌ی معرفی ارقام متحمل یا مقاوم به شوری صورت گرفته است، فعالیت‌های جهت‌دار و کامل‌تری در زمینه‌ی اصلاح ارقام برای این قبیل اراضی انجام شود.

جو به علت سازگاری وسیع اکولوژی، در غذای انسان و دام، و استفاده در صنایع مالت‌سازی و تخمیری مورد توجه قرار گرفته است. جو با داشتن ۸ تا ۱۲٪ پروتئین، ۶۴٪ نشاسته، پخت آسان، کیفیت بالا و هم‌چنین قیمت ارزان، یک منبع مهم انرژی‌زا در انسان و دام است. شوری باعث کمبود آب، سمیت یونی و کمبود مواد مغذی می‌شود و منجر به آسیب مولکولی، کاهش رشد و عملکرد و حتی مرگ گیاه می‌شود [۲]. اگرچه تنش در تمام مراحل رشدی گیاه می‌تواند رخ دهد، اما با توجه به این‌که استقرار اولیه‌ی گیاه در عملکرد نهایی تأثیر زیادی دارد، تنش در مرحله‌ی گیاهچه‌ای برای گیاه می‌تواند بسیار زیان‌آور باشد [۳]. سرعت زیاد تجمع نمک در سلول‌های در حال نمو، از دلایل حساسیت گیاه به شوری در این مرحله است [۴]. مطالعات گوناگون نشان داده است که درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها با افزایش شوری کاهش می‌یابد [۵].

پیش‌تیمار بذر، راهکاری است که به واسطه‌ی آن، بذرها پس از قرار گرفتن در بستر خود و مواجهه با شرایط محیطی به لحاظ فیزیولوژیک و بیوشیمیایی آمادگی جوانه‌زنی را به دست می‌آورند [۶]. یکی از روش‌های پیش‌تیمار، به کارگیری لیزر به عنوان یک فناوری نوین برای ایجاد تحمل در برابر عامل محدودکننده‌ی شوری است. لیزر یک منبع انرژی سالم اکولوژیکی است که ضامن ایجاد عملکرد بالا و عدم آلودگی محیط است [۷]. تأثیر لیزر بر درصد جوانه‌زنی و بقای بذرها و کلیه‌ی مراحل رشد و نمو و عملکرد، برای گیاهان بسیاری مانند گندم دوروم بهاره [۸]، جو [۹]، ذرت [۱۰]، سویا [۱۱] و کلزا [۱۲] گزارش شده است.

گلادیس وسکا و همکاران [۱۳] تأثیر مثبت پیش‌تیمار لیزر را در عملکرد گیاهان مختلف بررسی کردند. نتایج حاصل از آزمایش‌های آن‌ها، افزایش عملکرد ۱۰ تا ۱۵٪ برای ذرت، ۲۰ تا ۳۰٪ در گندم بهاره، ۲۰ تا ۲۵٪ در جو بهاره، ۱۰ تا ۳۰٪ در چغندر قند و ۱۰ تا ۱۵٪ برای کلم، تحت تیمار لیزر است. حتی کیفیت محصولات این گیاهان نیز تحت تابش، بهتر از گیاهان شاهد است. در میان گیاهان زراعی، گندم و جو، از جمله غلاتی هستند که بیش‌ترین پژوهش‌های لیزری بر آن‌ها صورت گرفته است. در پژوهش دروزد و همکاران [۱۴] بعد از کاربرد لیزر بر بذرهای گندم بهاره، افزایش معنی‌داری در صفات مورفولوژیکی مورد بررسی (طول گیاه، تعداد پنجه‌ها، طول سنبله، تراکم سنبله، تعداد سنبلچه‌ها در هر خوشه، عملکرد گیاه و عملکرد خوشه شامل تعداد دانه و وزن هزار دانه) مشاهده کردند. نتایج به دست آمده از پژوهش ریبینسکی [۱۵] در مورد تأثیر لیزر هلیم- نئون تحت طول موج ۶۳۲ nm بر جو بهاره، نشان‌دهنده‌ی این مطلب است که افزایش تحریک زیستی لیزر بر گیاه، باعث افزایش سطح نزدیک‌ترین برگ به سنبله و برگ‌های ماقبل آخر آن می‌شود. در مطالعه‌ی پودلئونی [۱۶] تابش لیزر باعث افزایش در مقدار تجمع ماده‌ی خشک شد. در مورد تأثیر لیزر مادون قرمز در دزهای مختلف (۰، ۱، ۳، ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۱۸۰، ۶۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۸۰۰s تابش) بر جوانه‌زنی گندم پژوهش انجام شده است [۱۷]. برای هر ۴ رقم گندم مورد آزمایش، پرتوتابی لیزر باعث افزایش درصد جوانه‌زنی بذر شده است. بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی برای دزهای ۱، ۶۰ و ۱۲۰۰s گزارش شد. به طور کلی، بعد از گذشت ۳ روز از کاشت، بذری که برای ۱۲۰s مورد تابش قرار گرفته بودند، جوانه‌زنی آن‌ها به ۹۳٪ رسید. این پژوهش بیان‌کننده‌ی تأثیر مثبت لیزر مادون قرمز بر درصد جوانه‌زنی ارقام گندم است. هم‌چنین برخی از ارقام گندم تحت تابش این لیزر به صد در صد جوانه‌زنی فقط با گذشت ۳ روز از کاشت رسیدند. هم‌چنین تیمار لیزر در گندم باعث افزایش پتانسیل جوانه‌زنی در چهارمین روز پس از کشت می‌شود که بی‌تردید نشان‌دهنده‌ی تأثیر مثبت لیزر بر بذر تیمار شده‌ی گندم است. نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری درصد جوانه‌زنی در روز

هفتم نشان‌دهنده‌ی تضمین تأثیر مثبت لیزر است. به طور کلی پتانسیل جوانه‌زنی گندم با لیزر به مقدار بالای ۹۹٪ رسیده است، که این مقدار بسیار رضایت‌بخش است [۱۷].

این پژوهش با هدف تعیین اثر لیزر بر تغییرات مورفولوژی گیاه جو در مرحله جوانه‌زنی در شرایط شوری انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در مرحله‌ی جوانه‌زنی، در سال ۱۳۹۱ در آزمایشگاه‌های گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات پردیس ابوریحان دانشگاه تهران واقع در شهر پاکدشت که در ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی تهران با عرض جغرافیایی ^{o}۲۸٫۳۳ شمالی، طول جغرافیایی ^{o}۱۵٫۴۴ و با ارتفاع ۱۱۸۰ m از سطح دریا واقع شده است، انجام شد. این آزمایش در قالب آزمایش فاکتوریل ۵×۲×۴ (پنج سطح شوری، دو تیمار لیزر و چهار رقم گیاه جو)، بر پایه‌ی طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۱ اجرا شد. در این پژوهش، ماده‌ی ژنتیکی و تیمارهای آزمایش عبارت بودند از:

بذر جو رقم‌های فجر ۳۰، نصرت، ریحان و افضل از مؤسسه‌ی تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد. تنش شوری با اضافه کردن مقادیر مختلف نمک به آب معمولی (تیمار شاهد)، اعمال شد. غلظت‌های مختلف نمک شامل پنج سطح صفر (شاهد)، ۸۰، ۱۶۰، ۲۴۰ و ۳۲۰ mM/g نمک NaCl بودند که در شرایط آزمایشگاهی به محیط پتری دیش‌ها اضافه شدند. ابتدا با دستگاه اسپکتروفوتومتر، مقدار بازگشت نور در تعدادی بذر سنجیده شد و با توجه به میزان انعکاس نور، طیف جذبی بذر جو مشخص شد. بیش‌ترین میزان جذب در محدوده‌ی ۷۸۰ nm بود. لیزر مورد استفاده، لیزر دیودی نیمه‌رسانا، قرمز رنگ، با طول موج ۷۸۰ nm با توان خروجی ۱۵۰ mW و در محدوده‌ی نزدیک مادون قرمز بود. بذرها در آزمایشگاه لیزر واقع در پژوهشکده‌ی لیزر دانشگاه شهید بهشتی، با اشعه لیزر پرتوتابی شدند. در این پژوهش دز لیزر به صورت مدت زمان تابش لیزر در نظر گرفته شد و بذرها به مدت ۱۵min دقیقه تحت تابش لیزر قرار گرفتند.

هر واحد آزمایشی شامل یک پتری دیش یک‌بار مصرف حاوی یک برگ کاغذ واتمن و به میزان ۱۰ml از محلول تیمار مورد نظر شوری بود. بذر قبل از قرار گرفتن در ظروف، به منظور ضدعفونی شدن، به مدت ۳min در محلول هیپوکلریت سدیم ۰٫۵٪ نگه داشته شدند. سپس سه مرتبه با آب مقطر شسته شدند. کاغذهای واتمن قبلاً در اتوکلاو به مدت ۲۰min استریل شدند. در داخل هر پتری یک کاغذ صافی استریل قرار داده شد و به هر پتری دیش مقدار ۱۰ml آب مقطر یا محلول‌های موردنظر، بسته به تیمار آن، افزوده شد. سپس در داخل هر پتری، تعداد ۲۰ بذر سالم و هم‌اندازه قرار گرفت. پس از بسته شدن ظروف با پارافیلم، پتری دیش‌ها در اتاقک رشد با رطوبت ۶۵٪ و در دمای ۲۲°C به هنگام روز و ۲۰°C به هنگام شب و در شرایط نوری ۱۶h روز و ۸h شب (ISTA 2003) قرار داده شدند. بذرهایی که طول ریشه‌چه‌ی آن‌ها حداقل ۲mm یا بیش‌تر بود جوانه زده تلقی شدند. شمارش بذر جوانه زده به صورت روزانه و در ساعت معینی انجام شد، به طوری که در ۳ روز اول هر ۱۲h تعداد بذرهای جوانه زده شمارش شدند و از روز سوم به بعد هر ۲۴h شمارش انجام گرفت. در روز آخر، صفاتی مانند تعداد ریشه‌چه، طول ریشه‌چه، طول کلئوپتیل و طول ساقه‌چه برای بذرهای جوانه زده در هر پتری اندازه‌گیری شد. بعد از اندازه‌گیری، ریشه‌چه‌ها و ساقه‌چه‌های مربوط به هر رقم از بذر جدا، و به مدت ۴۸h در آون در دمای ۷۰°C به منظور اندازه‌گیری وزن خشک آن‌ها قرار داده شد. وزن خشک گیاه چه با ترازوی دیجیتال با دقت ۰٫۰۰۱ اندازه‌گیری شدند. براساس اطلاعات حاصل از شمارش بذر جوانه زده در هر روز تا پایان روز هشتم، فاکتورهای درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر، میانگین زمان جوانه‌زنی و روز تا ۵۰٪ جوانه‌زنی محاسبه شد. نحوه‌ی محاسبه‌ی برخی از صفات به شرح زیر است.

- درصد جوانه‌زنی [۱۸]:

$$G_P=(Ng/N_t)\times 100 \qquad (1)$$

G_P: (درصد جوانه‌زنی)

Ng: تعداد کل بذرهای جوانه‌زده

N_t: تعداد کل بذرهای مورد ارزیابی

- بنیه بذر با استفاده از فرمول زیر به دست می‌آید [۱۹]:

$$SVI=(RL+SL)\times GP \qquad (2)$$

که در آن RL و SL به ترتیب طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و GP درصد جوانه‌زنی است.

- میانگین مدت جوانه‌زنی از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود که در آن MGT میانگین زمان جوانه‌زنی (روز)، D زمان در واحد روز از زمان کاشت بذرها، و n تعداد بذرهای جوانه زده در روز است [۱۸]:

$$MGT=\Sigma Dn/\Sigma n \qquad (۳)$$

مفروضات تجزیه‌ی واریانس بررسی، و سپس به منظور انجام تجزیه‌ی واریانس داده‌ها در آزمایش فاکتوریل، بر پایه‌ی طرح کاملاً تصادفی و مقایسه‌ی میانگین داده‌ها، از آزمون چنددامنه‌ای دانکن از نرم‌افزار آماری SAS استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel 2010 استفاده شد.

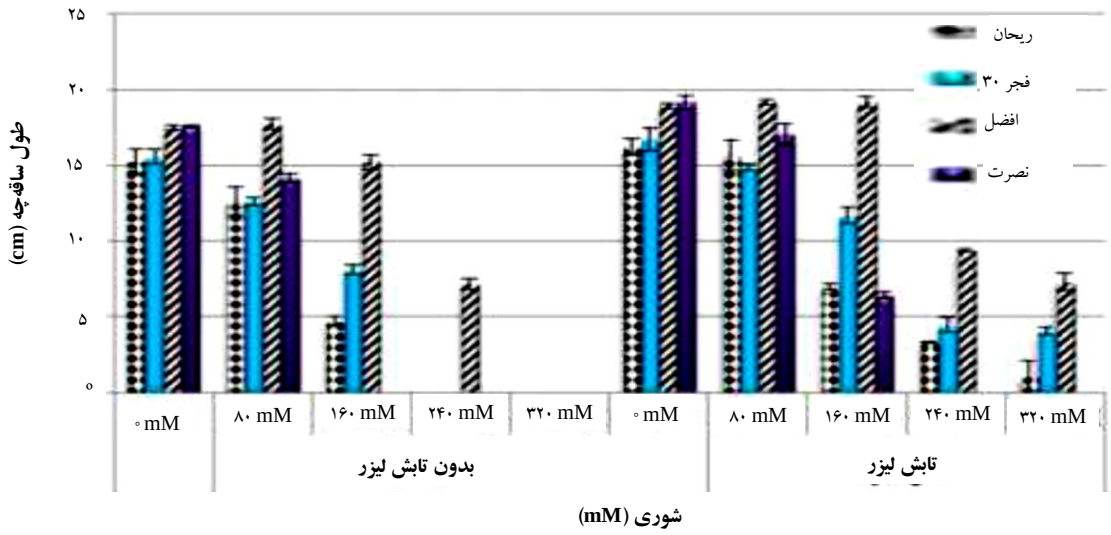
۳. نتایج و بحث

۱.۳ تأثیر سطوح مختلف شوری و پرتوتابی لیزر بر صفات جوانه‌زنی گیاه جو

اثر اصلی شوری، لیزر، ژنوتیپ و آثار متقابل دوگانه و سه‌گانه‌ی آن‌ها در تمامی صفات مورد بررسی در مرحله‌ی جوانه‌زنی معنی‌دار شد.

۲.۳ طول ساقه‌چه

با افزایش تیمار شوری در گیاهان مورد آزمایش، کاهش طول ساقه‌چه مشاهده شد (شکل ۱). واکنش ارقام مختلف در سطوح مختلف تیمارهای شوری متفاوت بود. در شرایط عدم پرتوتابی در سطح شوری ۸۰ mM، طول ساقه‌چه در رقم افضل نسبت به حالت کنترل تفاوت معنی‌داری نداشت و حتی طول آن کمی هم افزایش یافت، در حالی که در سایر ارقام در این سطح شوری، کاهش معنی‌دار بود (شکل ۱). در شوری ۱۶۰ mM کاهش معنی‌داری در طول ساقه‌چه‌ی تمام ارقام مشاهده شد و در بین چهار رقمی که آزمایش شدند، فقط رقم افضل در سطح شوری ۲۴۰ mM کلرید سدیم جوانه زد و میانگین طول ساقه‌چه آن ۷٫۱۹ cm بود. در شوری ۳۲۰ mM، رقم افضل هم قادر به جوانه‌زنی نبود. پیش‌تیمار لیزر سبب افزایش تحمل به شوری در ساقه‌چه‌ی ارقام مورد آزمایش شد. روند کاهش طول ساقه‌چه با افزایش شوری در تیمارهای پرتوتابی لیزر به طور معنی‌داری کندتر از تیمارهای بدون تابش لیزر بود به طوری که در ارقام افضل و ریحان، در سطح شوری ۸۰ mM تفاوت معنی‌داری با شوری صفر دیده نشد. در تیمارهای پرتوتابی لیزر، ارقام ریحان، فجر ۳۰ و افضل، توانایی جوانه‌زنی و تولید گیاهچه را تا آخرین سطح شوری به کار رفته (۳۲۰ mM کلرید سدیم) حفظ کردند و این مسئله نشان‌دهنده‌ی اثر مثبت تابش لیزر با طول موج ۷۸۰nm بر افزایش مقاومت گیاه جو به شوری بود.

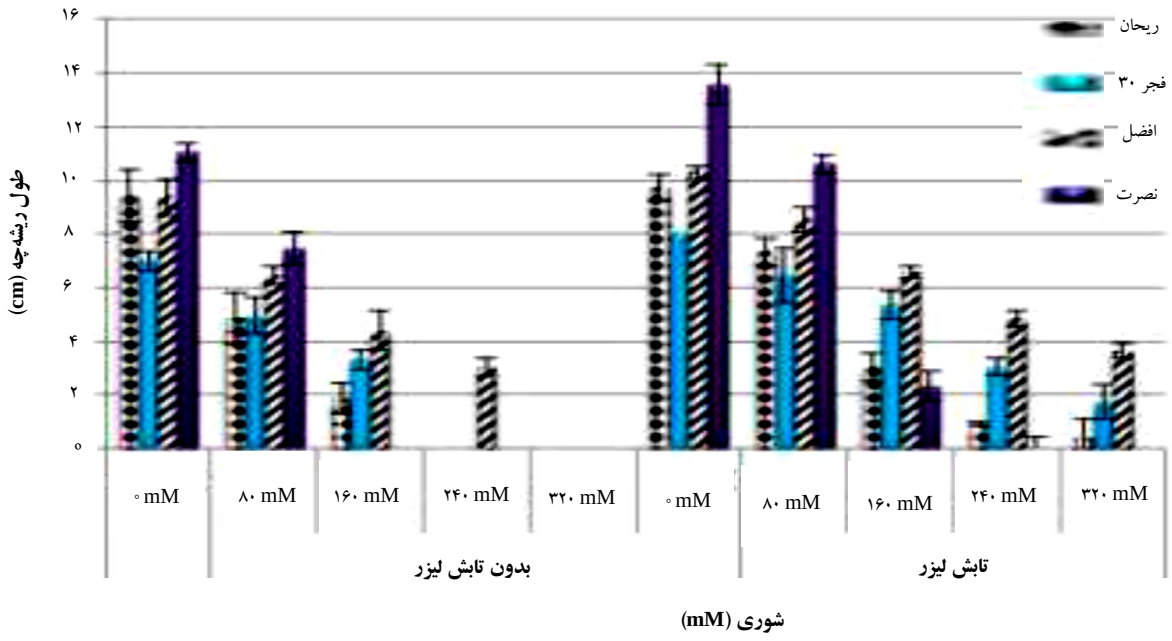


شکل ۱. میانگین طول ساقه‌چه در چهار ژنوتیپ جو در سطوح مختلف شوری (نمک کلرید سدیم) در شرایط تابش و عدم تابش لیزر در مرحله‌ی جوانه‌زنی.

در مطالعه‌ای که سادات‌نوری و مک‌نلی انجام داده‌اند [۲۰]، افزایش شوری سبب کاهش معنی‌داری در طول ساقه‌چه و ریشه‌چه گیاه گندم دوروم شد. خوش خلق سیما و همکاران [۲۱] بیان کردند که طول ساقه‌ی رقم افضل در سطوح شوری ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰mM کلرید سدیم به ترتیب ۶، ۷٫۲۵، ۴٫۵۳٪ کاهش یافت. کاهش در ارتفاع گیاه دلایل گوناگون دارد. در ادامه‌ی تأثیر تنش بر بافت گیاهی، سلول‌ها کلاً انعطاف‌پذیری خود را از دست می‌دهند و طویل شدن سلول و در نتیجه رشد گیاه متوقف می‌شود [۲۲]. کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در محلول کلرید سدیم احتمالاً به دلیل سمیّت یون‌ها و آثار منفی آن‌ها روی غشاء سلولی است. این نتایج نشان می‌دهد که در مورد ریشه‌چه، و ساقه‌چه، سمیّت یون‌های سدیم و کلر مهم‌تر از آثار دیگر شوری نظیر کاهش پتانسیل اسمزی محیط است که برای جوانه زدن دانه‌ها مهم‌ترند [۲۳]. در این رابطه کرامر و هلت [۲۴] بیان کرده‌اند که سلول‌های در حال تقسیم به دلیل این‌که هنوز واکوئلی نشده‌اند و نمی‌توانند به راحتی یون‌ها را در داخل سلول بخش‌بندی کنند و نیز به غلظت‌های غیرمتناسب یون‌ها حساس‌اند، بنابراین از رشد آن‌ها جلوگیری می‌شود.

۳.۳ طول ریشه‌چه

در تیمارهای بدون پرتوتابی در سطح شوری ۱۶۰ mM کلرید سدیم، رقم افضل، بیش‌ترین طول ریشه‌چه را در مقایسه با سایر ارقام داشت. رقم افضل در سطح شوری ۲۴۰mM کلرید سدیم هم‌چنان توانایی جوانه‌زنی خود را حفظ کرد و میانگین طول ریشه‌چه‌ی آن ۲۰٫۳ cm بود. در رقم افضل، افزایش ۵٫۳۷ درصدی در طول ریشه‌چه در تیمار لیزر نمک ۲۴۰ mM مشاهده شد. یعنی لیزر باعث افزایش ۳۲ درصدی طول ریشه‌چه در این تیمار شد (شکل ۲). در تیمارهای پرتوتابی لیزر هر چهار رقم در تمامی سطوح شوری به طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای بدون پرتوتابی طول ریشه‌چه بیش‌تری داشتند و روند کاهش طول ریشه‌چه در تیمارهای پرتوتابی لیزر به طور معنی‌داری کندتر از تیمارهای بدون تابش لیزر بود. در اثر پرتوتابی لیزر، میزان افزایش طول ریشه‌چه در سطح شوری ۱۶۰ mM نمک کلرید سدیم در ارقام ریحان، فجر، افضل و نصرت به ترتیب ۳۸، ۷٫۳۷، ۳۳ و ۱۰۰٪ نسبت به شاهد بدون تیمار خود بود (شکل ۲).



شکل ۲. میانگین طول ریشه‌چه در چهار ژنوتیپ جو در سطوح مختلف شوری (نمک کلرید سدیم) در شرایط تابش و عدم تابش لیزر در مرحله‌ی جوانه‌زنی.

۴.۳ طول کلئوپتیل

در هر چهار ژنوتیپ، اثر شوری و اثر تابش لیزر در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱). یعنی همان‌گونه که در جدول مقایسه‌ی میانگین‌ها دیده شد، در اثر تنش اسمزی طول کلئوپتیل به طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۳). ژنوتیپ نصرت در سطح شوری ۰ mM و تیمار لیزر، بیش‌ترین طول کلئوپتیل را داشت که ۴٫۱۷cm در هر گیاه‌چه، و کم‌ترین آن در ژنوتیپ ریحان در سطح شوری ۳۲۰mM و تیمار لیزر مشاهده شد که ۰٫۵۸cm بود. کاهش طول کلئوپتیل در اثر تنش شوری در ژنوتیپ‌های فجر ۳۰، افضل و نصرت شیب کمی داشت. بذری که تحت تیمار لیزر قرار گرفتند، در تمامی سطوح شوری، طول کلئوپتیل بیش‌تری نسبت به حالت عدم تابش لیزر داشتند که این افزایش در محیط تنش صفت مطلوبی به شمار می‌آید. از آن‌جا که جوانه‌زنی سریع‌تر بذر باعث جذب سریع‌تر آب با بذر شد و طول ریشه‌چه‌ها افزایش یافت. این افزایش طول ریشه‌چه باعث جذب بیش‌تر آب برای انجام بهتر مراحل متابولیکی و استفاده‌ی بیش‌تر از ذخیره‌ی غذایی بذر شد و در نتیجه رشد کلئوپتیل بیش‌تر شد. صفت جوانه‌زنی تحت تأثیر محتوای انرژی است که پرتوتابی لیزر باعث القاء انرژی بیش‌تر و توانایی بالا برای افزایش طول کولئوپتیل می‌شود [۲۵].

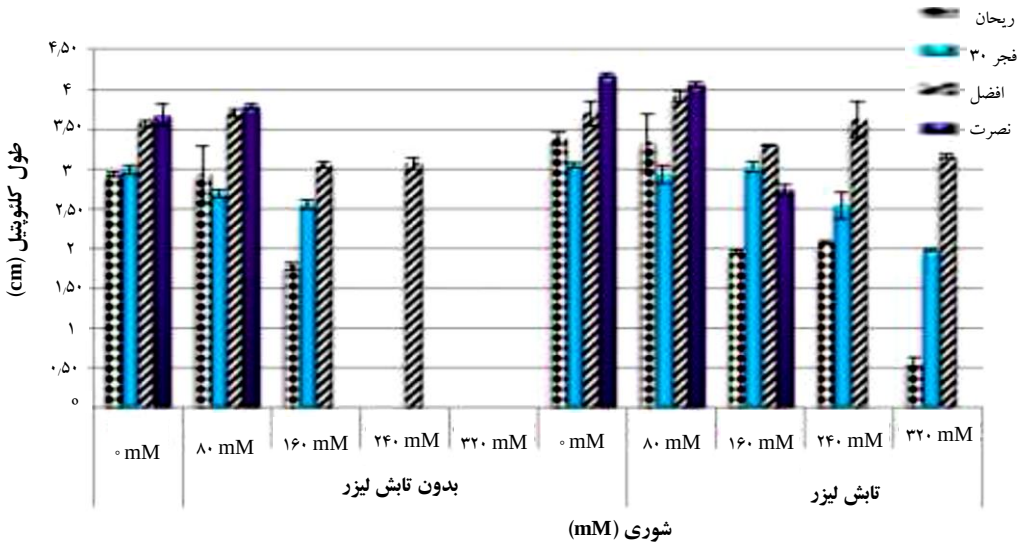
۵.۳ تعداد ریشه‌های بذری

بین ژنوتیپ‌ها از نظر این صفت، تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۱). هم‌چنین سطوح مختلف شوری و پرتوتابی اثر معنی‌داری بر تعداد ریشه‌های بذری داشتند. با توجه به جدول مقایسه‌ی میانگین‌ها (شکل ۴)، ژنوتیپ ریحان در تیمار عدم پرتوتابی و سطح شوری ۸۰ mM و هم‌چنین در تیمار پرتوتابی و سطح شوری ۱۶۰mM با تعداد ۲٫۴ ریشه‌چه به ازای هر گیاه‌چه دارای کم‌ترین تعداد ریشه‌های بذری بود. بیش‌ترین تعداد ریشه‌های بذری مربوط به ژنوتیپ فجر ۳۰ در تیمار پرتوتابی و سطح شوری ۳۲۰mM برابر ۵۰٫۶ بود. در بیش‌تر ژنوتیپ‌ها با افزایش سطح شوری، تعداد ریشه‌چه به ازای هر گیاه‌چه افزایش یافت. بیش‌ترین افزایش مربوط به ژنوتیپ فجر ۳۰ در شرایط پرتوتابی بود.

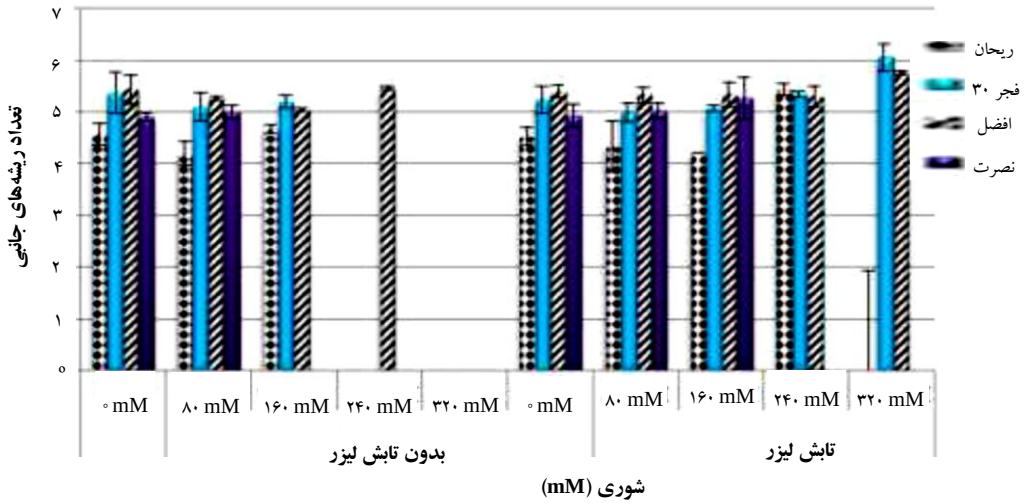
جدول ۱. تجزیه‌ی واریانس صفات جوانه‌زنی چهار ژنوتیپ جو تحت تأثیر تابش و عدم تابش لیزر در سطوح مختلف شوری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	طول کلئوپتیل	تعداد ریشه‌های بذری	درصد جوانه‌زنی	میانگین مدت جوانه‌زنی	وزن خشک گیاهچه	بنیه‌ی بذر
لیزر	۱	۲۱۳٫۴۷**	۸۸٫۰۱**	۲۱٫۱۱**	۵۶٫۱۱**	۹۸۶۰٫۴۱**	۴٫۹۴**	۰٫۰۴۱۴**	۴۷۵۳۰۵۰٫۳**
ژنوتیپ	۳	۲۱۵٫۷۰**	۲۳٫۶۰**	۱۰٫۲۷**	۳۲٫۳۶**	۴۱۱۸٫۵۵**	۲٫۴۰**	۰٫۰۱۴۶**	۱۷۸۳۰۵۰٫۶**
شوری	۴	۱۱۸۹٫۲۵**	۳۶۴٫۷۱**	۳۴٫۸۸**	۵۷٫۸۶**	۳۱۰۴۳٫۷۴**	۵٫۲۰**	۰٫۰۹۶۶**	۲۷۱۸۹۶۶۸٫۷**
لیزر × ژنوتیپ	۳	۲٫۶۸**	۱٫۵۸**	۰٫۱۹*	۲٫۳۷**	۳۱۷٫۶۰**	۰٫۴۶**	۰٫۰۰۱۲**	۹۳۵۳۰٫۵**
لیزر × شوری	۴	۶٫۱۹**	۱٫۰۷**	۱٫۷۶**	۱۱٫۹۱**	۲۹۵٫۵۹**	۲٫۴۱**	۰٫۰۰۰۸**	۳۳۶۲۱۱٫۴**
ژنوتیپ × شوری	۱۲	۳۵٫۱۱**	۱۴٫۱۴**	۲٫۸۵**	۶٫۱۸**	۶۸۴٫۷۹**	۱٫۰۰**	۰٫۰۰۳۸**	۴۱۰۹۸۱٫۲**
لیزر × ژنوتیپ × شوری	۱۲	۶٫۰۹**	۱٫۷۵**	۱٫۸۴**	۱۰٫۲۵**	۲۹۶٫۲۸**	۱٫۰۱**	۰٫۰۰۱۹**	۳۷۲۸۲٫۴**
اشتباه آزمایشی	۸۰	۰٫۵۷	۰٫۲۲۰۱	۰٫۰۵۷۳	۰٫۰۲	۱۱٫۲۰	۰٫۰۷	۰٫۰۰۰۲	۵۶۰۰٫۹
ضریب تغییرات		۸٫۲۳	۱۰٫۳۷	۱۰٫۶۱	۴٫۴۹	۶٫۵۳	۷۳۰۲۱	۱۷٫۳۹	۶٫۹۴

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ است.



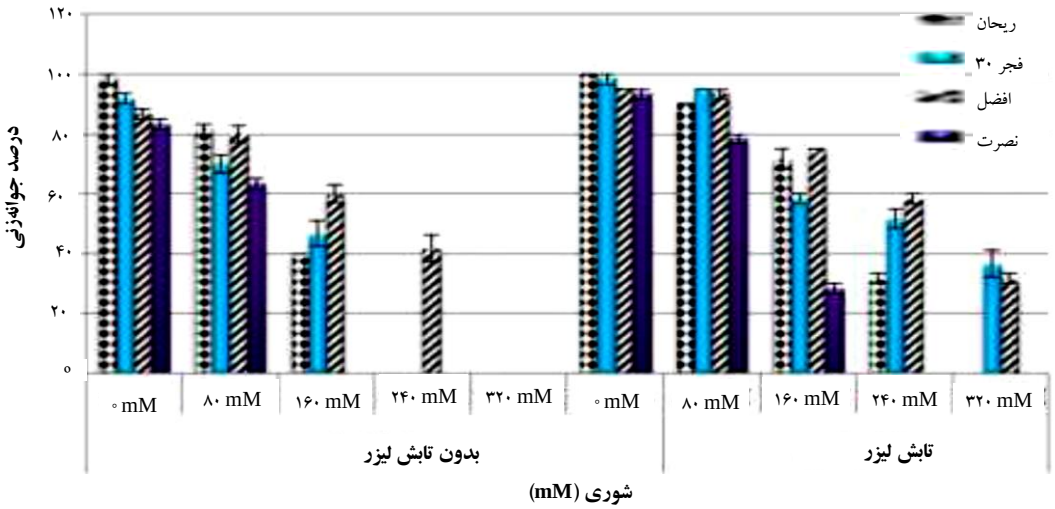
شکل ۳. میانگین طول کلئوپتیل در چهار ژنوتیپ جو در سطوح مختلف شوری (نمک کلرید سدیم) در شرایط تابش و عدم تابش لیزر در مرحله‌ی جوانه‌زنی.



شکل ۴. میانگین تعداد ریشه‌های بذری در چهار ژنوتیپ جو در سطوح مختلف شوری (نمک کلرید سدیم) در شرایط تابش و عدم تابش لیزر در مرحله‌ی جوانه‌زنی.

۶.۳ درصد جوانه‌زنی

نتایج جدول تجزیه‌ی واریانس (جدول ۱) نشان داد که آثار اصلی رقم، شوری و لیزر و نیز آثار متقابل دوگانه و سه‌گانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شدند. طبق شکل ۵، با افزایش غلظت کلرید سدیم، درصد جوانه‌زنی به طور قابل توجهی کاهش یافت. به طوری که در سطح ۰ mM بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی مشاهده شد و در سطح شوری شوری ۳۲۰mM در اکثر تیمارها درصد جوانه‌زنی صفر بود. رقم ریحان در شوری ۰ mM و بدون تابش لیزر با ۳۳٫۹۸٪ جوانه‌زنی دارای بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی بود. در همین حالت، رقم نصرت با ۳۳٫۸۳٪ جوانه‌زنی دارای کم‌ترین میزان درصد جوانه‌زنی بود. با افزایش سطح شوری، رقم نصرت در حالت عدم پرتوتابی توانایی جوانه‌زنی را فقط تا شوری ۸۰mM حفظ کرد، در حالی که در سطح شوری ۱۶۰mM کلرید سدیم، رقم افضل با ۶۰٪ جوانه‌زنی، نسبت به سایر ارقام، تحمل بیش‌تری نسبت به شوری داشت. در شوری ۲۴۰ mM در حالت عدم پرتوتابی، فقط ژنوتیپ افضل جوانه زد. در تیمار تابش لیزر رقم ریحان به ۱۰۰٪ جوانه‌زنی رسید، رقم نصرت در سطح شوری ۱۶۰mM جوانه زد و ارقام فجر و افضل تا آخرین سطح شوری اعمال شده (۳۲۰mM) جوانه زدند. وازیلوسکی [۲۶] از آثار کلی لیزر بر جوانه‌زنی بذر، افزایش ۲۰ تا ۳۵٪ مقدار جوانه‌زنی بذر گیاهان زراعی را بیان می‌کند. ابوالسعود و همکارانش [۲۷] گزارش کردند که برای هر ۴ رقم گندم مورد آزمایش، پرتوتابی لیزر باعث افزایش درصد جوانه‌زنی بذر شد. هم‌چنین دو رقم از ارقام مورد بررسی گندم،

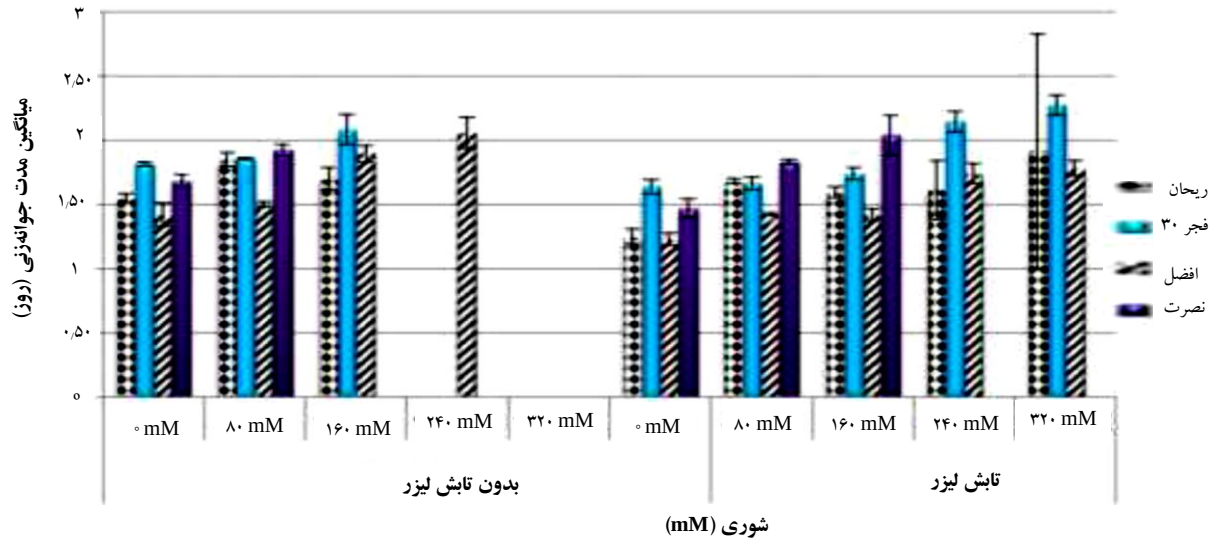


شکل ۵. میانگین درصد جوانه‌زنی در چهار ژنوتیپ جو در سطوح مختلف شوری (نمک کلرید سدیم) در شرایط تابش و عدم تابش لیزر در مرحله‌ی جوانه‌زنی.

به ۱۰۰٪ جوانه‌زنی تنها با گذشت ۳ روز از کاشت رسیدند. آن‌ها بیان کردند که پیش‌تیمار لیزر می‌تواند متابولیسم‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاهان را تسریع کند. هرناندز و همکاران [۲۸] نیز تأثیر لیزرهای مختلف بر افزایش ظرفیت جوانه‌زنی بذر گندم را تأیید کردند. اختلال در جوانه‌زنی بذر گیاهان مختلف در شرایط تنش شوری پدیده‌ی واضحی است که به دفعات بیان شده است. تنش‌های اسمزی و شوری، مسئول تأخیر در جوانه‌زنی و تخریب استقرار گیاه‌چه‌ها هستند [۲۹]. در مرحله‌ی جوانه‌زنی که به عقیده بسیاری از پژوهشگران حساس‌ترین مرحله به تنش شوری محسوب می‌شود، تحمل گیاه فقط از روی زنده ماندن جوانه‌ها و یا به اصطلاح درصد سبز شدن بذر سنجیده می‌شود. در حقیقت مهم‌ترین خصوصیاتی که در مورد بذر بررسی می‌شود، توانایی بذر در جوانه‌زنی و حفظ قدرت ماندگاری آن است. مطالعاتی که در مورد اثر لیزر بر بذر صورت گرفته است، نشان‌دهنده‌ی تأثیر مثبت آن بر جوانه‌زنی و حفظ قدرت ماندگاری آن است [۳۰]. همان‌گونه که بیان شد، در پژوهش حاضر، اثر تابش لیزر بر درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد که دلیل آن می‌تواند تأثیر لیزر بر فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی بذر تحت تابش باشد. میچنکو وهرناندز [۳۱] مشاهده کردند که پیش‌تیمار گندم نان با لیزر دیودی با طول موج ۹۸۰nm و توان ۱۵ mW/cm^2 به مدت ۲۰s، موجب افزایش درصد جوانه‌زنی از ۸۳٪ در تیمار کنترل به ۹۱٪ شد.

۷.۳ میانگین مدت جوانه‌زنی

در همه ارقام، میانگین مدت جوانه‌زنی با افزایش سطح شوری افزایش معنی‌داری داشت (جدول ۱). در حالت عدم پرتوتابی لیزر در سطح شوری ۰ mM، رقم افضل با متوسط ۴۲٫۱ روز دارای کم‌ترین میانگین مدت جوانه‌زنی در بین ارقام مورد آزمایش بود. با افزایش سطح شوری در تمام ارقام، میانگین مدت جوانه‌زنی افزوده شد و در تمامی سطوح شوری، رقم افضل- کم‌ترین میانگین مدت جوانه‌زنی را داشت. در تیمار تابش لیزر، همه‌ی ارقام و در تمام سطوح شوری نسبت به تیمار عدم پرتوتابی، میانگین مدت جوانه‌زنی کم‌تری داشتند (شکل ۶) و این مسئله منجر به یکنواختی بیش‌تر جوانه‌زنی شد. متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی یکی از پارامترهای کیفیت بذر است که در آن، بذر با کیفیت بالا در مدت زمان کم‌تری به حداکثر مقدار جوانه‌زنی می‌رسند. رشیدا و همکاران [۳۲] مشاهده کردند که در اثر پیش‌تیمار گیاه آفتابگردان با لیزر هلیم- نئون، میانگین مدت جوانه‌زنی به طور معنی‌داری کم شد و بهترین پاسخ در پرتوتابی با انرژی ۳۰۰ و ۵۰۰mJ دیده شد. لین و همکاران [۳۳] بیان کردند که افزایش شوری موجب افزایش معنی‌دار میانگین مدت جوانه‌زنی در گندم نان شد.



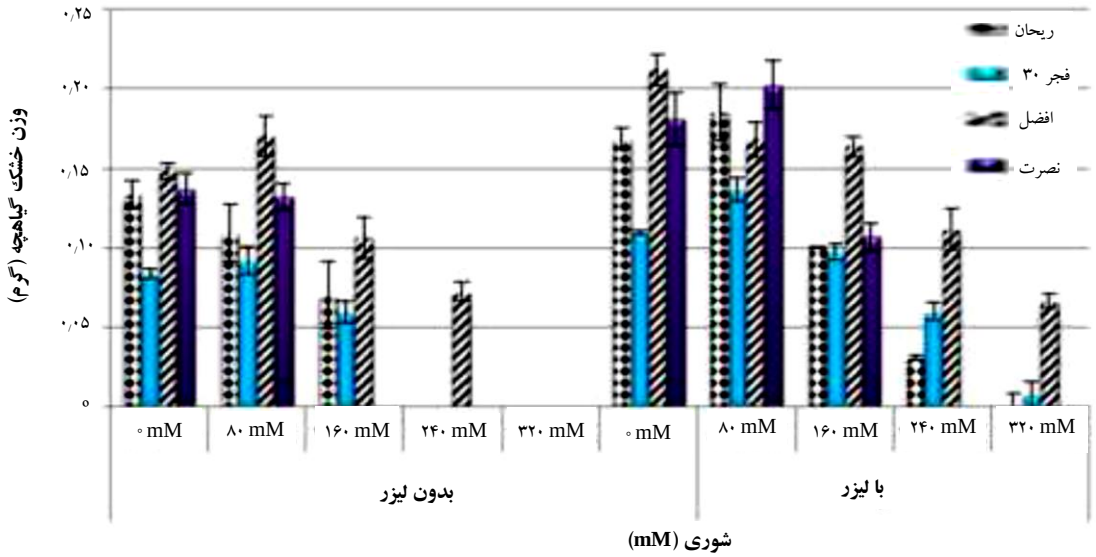
شکل ۶. میانگین مدت جوانه‌زنی در چهار ژنوتیپ جو در سطوح مختلف شوری (نمک کلرید سدیم) در شرایط تابش و عدم تابش لیزر در مرحله‌ی جوانه‌زنی.

۸.۳ وزن خشک گیاه‌چه

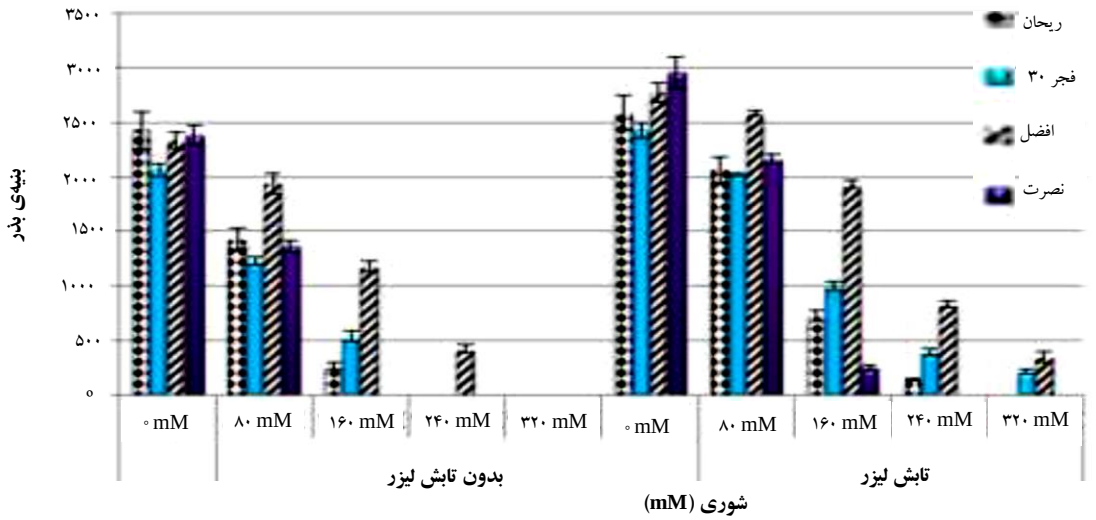
در اثر تنش شوری، وزن خشک گیاه‌چه‌ها به طور معنی‌داری کم شد. در تمامی ارقام به جز نصرت در سطح شوری ۸۰ mM، وزن خشک افزایش یافت و پس از آن کاهش نشان داد (شکل ۷). ولی در سطوح تنش بالاتر، محدود شدن رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه باعث کاهش وزن خشک شد. در بین ارقام مورد بررسی، رقم افضل در تمامی سطوح شوری، وزن خشک بیش‌تری داشت. در تیمار پرتوتابی لیزر، در همه ارقام و همه سطوح شوری، افزایش وزن خشک مشاهده شد. در این حالت، به طور متوسط رقم ریحان ۵٫۳۸٪، رقم فجر ۳۰، ۲٫۵۹٪، رقم افضل ۲٫۴۰٪ و رقم نصرت ۸٫۳۱٪ افزایش وزن خشک در اثر پیش‌تیمار لیزر نشان دادند. پیش‌تیمار لیزر در سطح شوری ۲۴۰mM در رقم افضل سبب افزایش ۵٫۳۵ درصدی وزن خشک نسبت به تیمار بدون پیش‌تیمار لیزر شد. بدیهی است که این کاهش وزن خشک ارتباط مستقیمی با کاهش فعالیت‌های متابولیسم گیاه داشته است.

۹.۳ بنیه‌ی بذر

هر سه عامل شوری، لیزر و ژنوتیپ روی بنیه‌ی بذر اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ داشت (جدول ۱). هم‌چنین آثار متقابل دوگانه و سه‌گانه در مورد این صفت هم معنی‌دار شدند. با افزایش سطح شوری، ارقام ریحان، نصرت و فجر با شیب زیادی، بنیه‌ی بذر را از دست دادند ولی رقم افضل پایدارتر از بقیه بود، به طوری که در سطح شوری ۱۶۰mM با ۱۱۷۵٫۱۸، بیش‌ترین بنیه‌ی بذر را در بین ارقام مورد آزمایش داشت که نشان‌دهنده‌ی متحمل بودن آن به شوری بود. از آن‌جا که در حالت عدم تابش لیزر و سطح شوری ۰ mM، رقم ریحان بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی و بیش‌ترین طول گیاه‌چه را داشت، دارای بیش‌ترین بنیه‌ی بذر در این شرایط بود. با توجه به شکل ۸ مشاهده می‌شود که تیمار تابش لیزر در همه ارقام و سطوح شوری اثر مثبتی بر بنیه‌ی بذر داشت. بنیه‌ی بذر تابعی از طول کل گیاه‌چه و درصد جوانه‌زنی و یکی از صفات مهم بذر در شرایط تنش است. به طور کلی در پژوهش‌های بسیاری که در زمینه‌ی بررسی تأثیر لیزر صورت گرفته است، لیزر به عنوان پیش‌تیماری مؤثر شناخته می‌شود که باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی، سرعت رشد جوانه‌های سبز شده، رشد گیاه، نرخ جوانه‌زنی، شاخص قدرت بذر و غیره، حتی تحت شرایط نامطلوب محیطی می‌شود [۳۴].



شکل ۷. میانگین وزن خشک گیاهچه در چهار ژنوتیپ جو در سطوح مختلف شوری (نمک کلرید سدیم) در شرایط تابش و عدم تابش لیزر در مرحله‌ی جوانه‌زنی.



شکل ۸. میانگین بنیه‌ی بذر در چهار ژنوتیپ جو در سطوح مختلف شوری (نمک کلرید سدیم) در شرایط تابش و عدم تابش لیزر در مرحله‌ی جوانه‌زنی.

نتایج این پژوهش نشان‌دهنده‌ی تأثیرگذاری تنش شوری بر تمامی صفات جوانه‌زنی ارقام جو مورد بررسی در مرحله‌ی جوانه‌زنی و گیاه‌چه‌ای بود، به طوری که افزایش شوری موجب کاهش درصد جوانه‌زنی، وزن خشک گیاه‌چه، بنیه‌بذر، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، و افزایش میانگین مدت جوانه‌زنی شد. هم‌چنین پیش‌تیمار لیزر موجب افزایش تحمل ارقام مورد آزمایش به تنش شوری شد، به طوری که سبب تغییر مثبت صفات مورد بررسی در جهت افزایش تحمل به تنش شوری شد. در بین ارقام مورد بررسی، رقم افضل بیش‌ترین میزان تحمل و رقم نصرت حساس‌ترین رقم را نسبت به سایر ارقام در این آزمایش نشان داد.

مراجع

[1] M. Afuni, R. Mojtaba, F. Nourbakhsh, Saline and sodic soils and amendments books-Publication of Ardakan (1997) 48-62.

[2] H.X. Zhang, J.N. Hodson, J.W. Williams, E. Blumwald, Engineering salt tolerant Brassica plants: Characterization of yield and seed oil quality in transgenic plants with increased vacuolar sodium accumulation, *PNAS.* **98** (2001) 12832–12836.

[3] M. Rauf, M. Munir, M. Hassan, M. Ahmad, M. Afzal, Performance of wheat genotypes under osmotic stress at germination and early seedling growth stage, *Afr. J. Agric. Res.* **6** (2007) 971-975.

[4] A. Farokhi, S. Galeshi, Evaluation of effect of salinity and seed size on germination, conversation of seed reserves and seedling growth soybean (*Glycin max* L.). *Iran J. Agric. Sci*. **36** (2005) 1233-1241.

[5] H. Irannejad, Z. Javanmardi, M. Golbashy, M. Zarabi, Effect of drought stress on germination and early seedling growth in flax cultivars (*Linum usitatissimum* L). 1st congress of oil crops. University of Isfahan, (2009) 154-156.

[6] S.A.M.A. Abro, R. Abdul Razak, A.A. Mirbaha, Improving yield performance of landrace wheat under salinity stress using on farm seed priming, *Pak. J. Bot.* **41** (2009) 2209-2216.

[7] A.C. Hernandez, P.A. Dominguez, O.A. Cruz, R. Ivanov, C.A. Carballo, B.R. Zepeda, Laser in agriculture, *Int. Agrophys.* **24** (2010) 407-422.

[8] N. Zare, S.A. Sadat Noori, N.A. Khosh kholgh Sima, S.M.M. Mortazavian, Effect of Laser Priming on accumulation of Free Proline in Spring Durum Wheat (*Triticum turgidum* L.) Under Salinity Stress, *International Transaction Journal of Engineering, Management, and Applied Sciences and Technologies*. **5** (2014) 119-130.

[9] W. Rybinski, M. Surma, T. Adamski, The use of laser light for obtaining barley haploids by *Hordeum bulbosum* method (in Polish). *Biotechnologia* **1(52)** (2001) 143-147.

[10] S. Lipski, R. Koper, Emergence, early growth and development of Maize under optimal and chilling conditions as affected by pre-sowing laser irradiation of seeds. IHAR Radzikow, Proceedings Intermational Symposium, (1997) 22.

[11] S. Plesnik, The evaluation of some quantitative traits in M1 generation in soybean after laser emission and ethyleneimine. Genetically et Biologically Molecular, 24 (1993) 105-113.

[12] M. Ashrafijou, S.A. Sadat Noori, A. Izadi darbandi, S. Saghafi, Effect of salinity and radiation on proline accumulation in seeds of canola (*Brassica napus* L). *Plant Soil Environ*. **56** (2010) 312-317.

[13] B. Gladyszewska, B. Kornas-Czuczwar, R. Koper, S. Lipski, Theoretical and practical aspects of pre-sowing laser bio-stimulation of the seeds. *Inzynieria Rolnicza* **2(3)** (1998) 21-29.

[14] D. Drozd, H. Szajsner, E. Laszkiewicz, The utilization of laser bio-stimulation in cultivation of spring Wheat (in Polish). *Biul. IHAR* **211** (1999) 85-90.

[15] W. Rybinski, Influence of laser baems on the variability of traits in spring barley. *Int. Agrophys*. **14** (2000) 227-232.

[16] J. Podleoeny, Effect of laser irradiation on the biochemical changes in seeds and the accumulation of dry matter in the Faba Bean. *Int. Agrophys*. **16** (2002) 146-151.

[17] S. Dinoev, Laser a Controlled Assistant in Agriculture. *Acad. Bulg. Sc.* **56** (2006).

[18] M.A. Al-Mudaris, Notes on various parameters recording the speed of seed germination. *Der Tropenlandwirt* **99** (1998) 147-154.

[19] S.S. Dhanda, G.S. Sethi, R.K. Behl, Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. *J. Agron. Crop Sci*. **190** (2004) 6-12.

[20] S.A. Sadat Noori, T. McNeilly, Assessment of variability in salt tolerance based on seedling growth in Triticum durum. *Genet. Res. Crop Evol.* **47** (2000) 285–291.

[21] N.A. Khosh Kholgh Sima, S. Tale Ahmad, R.A. Alitabar, A. Mottaghi, M. Pessarakli, Interactive effects of salinity and phosphorous nutrition on physiological responses of two barley speceis, *Journal of Plant Nutrition.* **35** (2012) 9, 1411-1428.

[22] R.W. Kingsbury, E. Epstein, R.W. Pearey, Physiological responses to salinity in selected lines of wheat, *Plant Physiol.* **74** (1984) 417-423.

[23] Y.P. Chen, M. Yue, X.L. Wang, Influence of He–Ne laser irradiation on seeds thermodynamic parameters and seedlings growth of *Isatis indogotica*, *Plant Sci*. **168** (2005) 601-606.

[24] S. Kromer, H.W. Heldt, Biochim. Biophys. *Acta* **1057** (1991) 42-50.

[25] D. Drozd, H. Szajsner, Laboratory evaluation of early development phases of spring heat after application of laser radiation. *Biul. IHAR* **204** (1997) 187-190.

[26] G. Vasilevski, By laser to healthier and cheaper food. Raport of Faculty of Agiculture, Skopje (1991) 1-2.

[27] A.M. Abu-Elsaoude, S.T. Tuleukhanov, D.Z. Abdel-Kader, Effect of Infra-red laser on Wheat (*Triticum aestivum* L.) germination. *Int. J. Agric. Res.* **3** (2008) 433-438.

[28] A.C. Hernandez, M. Mezzalama, N. Lozano, O.A. Cruz, E. Martinez, R. Ivanov, A.P. Domínguez, Optical absorption coefficient of laser irradiated wheat seeds determined by photoacoustic spectroscopy. *Eur. Phys. J. Spec. Top.* **153** (2008) 519-522.

[29] M. Al-mansouri, J.M. Kinet, S. Lutts, Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (Triticum durum Desf). *Plant Soil Envir*. **231** (2001) 243-254.

[30] J. Podleoeny, Influence of the pre-sowing seed irradiation with laser light on the formation of morphological features and Faba Bean yields. *J. Prog. in Agric.* **446** (1997) 435-440.

[31] A. Michtchenko, M. Hernández, Photobiostimulation of germination and early growth of wheat seeds (*Triticum aestivum* L.) by a 980nm semiconductor laser, *Rev. Cub. Fis.* **27**(2) (2010) 271-274.

[32] P. Rashida, A. Qasim, M. Ashraf, F. Al-Qurainy, Y. Jamil, M.R. Ahmad, Effects of Different Doses of Low Power Continuous Wave He–Ne Laser Radiation on Some Seed Thermodynamic and Germination Parameters, and Potential Enzymes Involved in Seed Germination of Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *J. Photochem.* **86** (2010) 1050–1055.

[33] J. Lin, X. Li, Z. Zhang, X. Yu, Z. Gao, Y. Wang, J. Wang, Z. Li, C. Mu, Salinity alkalinity tolerance in wheat: Seed germination, early seedling growth, ion relations and solute accumulation. *Afr. J. Agric. Res*. **7** (2012) 467-474.

[34] W.U. Junlin, G. Xuehong, Z. Sheqi, Effect of laser pretreatment on germination and membrane lipid peroxidation of Chinese Pine seeds under drought stress. *Biol. China* **2** (2007) 314-317.