



## ارزیابی اثر پرتوتابی اشعه گاما بر عملکرد و صفات بیوشیمیایی چغندر قند

### (*Beta vulgaris L.*) پاییزه در شرایط تنش شوری\*

## Evaluation of the effect of gamma ray irradiation on yield and biochemical traits of autumn sugar beet (*Beta vulgaris L.*) under salinity stress condition

میثم ناجی<sup>۱</sup>، داوود حبیبی<sup>۲</sup>، مرجان دیانت<sup>۳\*</sup>، وریا ویسانی<sup>۴</sup> و مهدی صادقی شعاع<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳

نوع مقاله: پژوهشی

DOI:10.22092/JSB.2024.364931.1346

م. ناجی، د. حبیبی، م. دیانت، و. ویسانی و م. صادقی شعاع. ۱۴۰۲. ارزیابی اثر پرتوتابی اشعه گاما بر عملکرد و صفات بیوشیمیایی چغندر قند (*Beta vulgaris L.*) پاییزه در شرایط تنش شوری. چغندر قند، ۳۹(۲): ۱۸۰-۱۶۵.

### چکیده

در این تحقیق تغییرات صفات بیوشیمیایی و عملکرد ارقام مختلف چغندر قند پاییزه پس از پرتوتابی با اشعه گاما در شرایط تنش شوری در منطقه جعفریه واقع در استان قم در دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گردید. کرت اصلی شامل آب آبیاری در دو سطح (آب نرمال و آب شور با هدایت الکتریکی ۷۰۰۰ الی ۱۰۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر) و کرت‌های فرعی ترکیبی از ارقام چغندر قند (شریف، آنتک و یودورو) و پرتوتابی با اشعه گاما (شاهد، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ گری) بودند. نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم رویسکو در هر سه رقم تحت تنش شوری کاهش یافت، بیشترین میزان فعالیت رویسکو در شرایط نرمال و در شرایط تنش شوری در رقم یودورو و در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ گری رخ داد. غلظت مالون دی‌آلدئید در رقم یودورو و آنتک با تابش گاما کاهش و در رقم شریف افزایش یافت. در هر سه رقم بیشترین میزان محتوای کلروفیل در سطوح تابش ۱۰۰ و ۲۰۰ گری اشعه گاما با افزایش ۱۶-۱۵ درصدی نسبت به شاهد همراه بود. در شرایط تنش شوری در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ گری بالاترین میانگین عملکرد ریشه مشاهده شد. تنش شوری منجر به کاهش عملکرد قند در ارقام یودورو، آنتک و شریف به ترتیب میزان ۲۶/۷، ۱۷/۵ و ۳۱/۵ درصد گردید. رقم آنتک با کاهش عملکرد قند کمتری نسبت به دو رقم دیگر مواجه گردید. در مجموع رقم آنتک در مقایسه با ارقام دیگر عملکرد و تحمل بالاتری را به شوری نشان دادند و پرتودهی با اشعه گاما بر این تحمل اثر مثبتی داشت.

واژه‌های کلیدی: چغندر قند، دی‌آلدئید، رویسکو، کاتالاز، مالون، محتوای نسبی آب

\* این مقاله مستخرج از پایان‌نامه دانشجویی دکتری تحت عنوان ارزیابی واکنش کمی و کیفی ارقام مختلف چغندر قند پاییزه (*Beta vulgaris*) به پرتوتابی اشعه گاما در شرایط تنش شوری در منطقه جعفریه قم می‌باشد

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

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

۳- دانشیار دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. \* نویسنده مسئول ma\_dyanat@yahoo.com

۴- استادیار دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۵- استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.



## مقدمه

چغندر قند (*Beta vulgaris* L) یک گیاه علفی، دو لپه‌ای، گلیکوفیت و سه کربنه ( $C_3$ ) از خانواده تاج خروسیان (*Amaranthaceae*) است (Watson and Dallwitz 1992). این گیاه زراعی دومین محصول مهم قندی پس از نیشکر (*Saccharum officinarum*) است که حدود ۳۰ درصد از تولید شکر جهان را به خود اختصاص داده است (Iqbal and Saleem 2015). شکر مصرفی انسان از چغندر قند و نیشکر در جهان به دست می‌آید و چغندر قند به عنوان یک محصول نسبتاً مقاوم به شوری شناخته شده است (Katerji et al. 2000; Yang et al. 2012).

میانگین تلفات محصول در اراضی شور ایران بیش از ۵۰ درصد تخمین زده می‌شود (AGL 2000) که سالانه بیش از یک میلیارد دلار ضرر مالی ایجاد می‌کند (Qureshi et al. 2007). بر اساس داده‌های مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۰ اراضی شور در ایران به بیش از ۳۳ میلیون هکتار افزایش یافته که مساحتی حدود ۲۰ درصد از مجموع اراضی آبی ایران را در برمی‌گیرد. در میان تنش‌های غیرزیستی، شوری همواره رشد، توزیع و تولید گیاهان را محدود می‌کند. بر اساس برآوردهای اخیر، ۱۱۲۸ میلیون هکتار از زمین‌های جهان تحت تأثیر شوری قرار دارند (Akhtar et al. 2015).

در شرایط تنش شوری، تغییراتی در صفات بیوشیمیایی و مورفولوژیکی چغندر قند مشاهده شده است که از جمله آنها می‌توان به تغییر در سطح عناصر غذایی، محتوای پروتئین، سطح برگ، تعداد برگ و غیره اشاره کرد که به نوبه خود بر عملکرد و بهره‌وری این محصول تأثیر می‌گذارد (Kaffka et al. 1999; Taghizadegan et al. 2019). تخریب مولکول‌های کلروفیل یکی دیگر از آسیب‌های تنش اکسیداتیو است (Yasar et al. 2006). تخریب ساختار کلروپلاست و کاهش محتوای کلروفیل

تحت تأثیر افزایش فعالیت کلروفیلاز به دلیل تغییر متابولیسم نیتروژن مرتبط با تولید ترکیباتی مانند پروتئین است که در تنظیم اسمزی نقش دارند (Borzouei et al. 2011). سرعت فتوسنتز در مراحل اولیه رشد در دو رقم چغندر قند مونریک و کاومگاپولی در شرایط تنش خشکی افزایش یافت، اما با گذشت زمان، تغییری در فرآیند تثبیت کربن در رقم مونریک ایجاد نشد، در حالی که این فرآیند در رقم کاومگاپولی، به طور قابل توجهی کاهش یافت (Heuer and Plaut 1989). فرخنده و همکاران (Farkhondeh et al. 2012) نشان دادند که با افزایش غلظت نمک، محتوی نسبی آب در چغندر قند کاهش یافت. در مقابل، جمیل و همکاران (Jamil et al. 2007) گزارش کردند که با افزایش شوری تغییری در محتوی نسبی آب مشاهده نشد. به دلیل خشکی فیزیولوژیکی ناشی از تنش شوری، کاهش فشار تورژانس و در نتیجه محدود بودن کارایی مصرف آب برای فرآیندهای رشد سلولی باعث کاهش در صفات می‌گردد.

استفاده از روش تغییرات موتاسیون به منظور تنوع بخشیدن به محتویات ژنتیکی با هدف ارتقای صفات کمی و کیفی گیاهان زراعی مورد توجه خاصی قرار گرفته است (Ardakani and Majd 2019). با بررسی اثر اشعه گاما (کبالت-۶۰) بر خصوصیات جوانه‌زنی بذرهای پیاز خوراکی تحت شرایط تنش خشکی، اثر متقابل اشعه گاما و تنش خشکی بر روی صفات درصد جوانه‌زنی در سطح پنج و بنیه بذر در سطح یک درصد معنی‌دار شد. همچنین در این پژوهش دز بهینه جهت افزایش درصد جوانه‌زنی ۲ و ۴ گری و افزایش سایر خصوصیات جوانه‌زنی مورد بررسی دز ۴ گری شناسایی شد. بنابراین استفاده از روش پرتودهی بذرهای پیاز (*Allium cepa*) به وسیله سطوح پایین اشعه گاما می‌تواند روش مناسبی جهت تخفیف اثرات تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی و بنیه بذر گیاه پیاز باشد (Mutevali et al. 2014).

دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ انجام شد. آزمایش به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. کرت اصلی شامل آب آبیاری در دو سطح (آب نرمال و آب شور با هدایت الکتریکی (EC) ۷۰۰۰ الی ۱۰۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر) و کرت‌های فرعی ترکیبی از ارقام چغندر قند (شریف، آنتک و یودورو) و پرتوتابی با اشعه گاما (شاهد، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ گری) بودند. آب نرمال از کانال آبیاری (تأمین شده از سد ساوه با هدایت الکتریکی ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر) و آب شور از چاه آب موجود در منطقه (با هدایت الکتریکی ۷۰۰۰ الی ۱۰۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر با توجه به اندازه‌گیری‌های مستمر انجام شده) تأمین گردید. پرتوتابی در مرکز تحقیقات کشاورزی هسته‌ای کرج از چشمه کبالت ۶۰ توسط دستگاه گاماسل انجام شد.

جهت تهیه بستر کاشت نسبت به شخم عمیق اقدام شد، در ادامه عملیات کشاورزی زمین نسبت به اجرای شخم سبک، دیسک و لولر اقدام گردید. کودهای پایه بر اساس آزمایش خاک اعمال شد و تاریخ کاشت اوایل آبان ماه بود و کشت به صورت دستی و در عمق ۲-۳ سانتی‌متری صورت گرفت که پس از استقرار بوته‌ها (۸-۶ برگی) تنک شد. هر کرت شامل پنج خط کاشت به طول شش متر و فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد، فاصله بوته‌ها روی خط کاشت ۲۰ سانتی‌متر بود. کود نیتروژنه در دو قسمت یک نوبت پس از تنک و وجین و استقرار کامل بوته‌ها (مرحله ۶ برگی) و مرحله دوم حدود سه ماه بعد از کشت در مزرعه مورد استفاده قرار گرفت. مقدار کل مصرف کود نیتروژنه ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره بود. همچنین همزمان با کاشت ۱۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل به زمین داده شد و همراه دیسک در عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک قرار گرفت. تاریخ کشت در سال اول ۵ آبان ماه و در سال دوم ۸

استفاده از پرتو گاما روی بذرهای اسپرس (*Onobrychis sativa*) با دمای ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ گری نشان داد درصد گیاهان یک‌روزه و یا رشد نکرده پایین است و سرعت جوانه‌زنی دارای کاهش قابل توجهی است (Mohajer et al. 2012). تحقیقات زیادی مبنی بر تأثیر مثبت پرتوگاما بر گیاهان گزارش شده است که نتایج تحقیق ملکی و دهمنی (Melki and Dahmani 2009) روی گیاه گندم (Triticum aestivum) با شدت ۲۰ گری بود. کاربرد اشعه گاما در گیاه نخود (*Cicer arietinum*) منجر به افزایش تعداد غلاف (Karim et al. 2008) و در گیاه کنجد (*Sesamum indicum*) منجر به افزایش تعداد کپسول (Diouf et al. 2010) شده است.

در دهه‌های اخیر، فن‌آوری هسته‌ای، رشد چشم‌گیری داشته و در ابعاد مختلف زندگی انسان، مورد استفاده قرار گرفته است. کشاورزی نیز همچون سایر ابعاد حیات بشری، از این فن‌آوری بی‌بهره نبوده است. امروزه از فن‌آوری هسته‌ای در بخش‌های مختلف کشاورزی، استفاده می‌شود، به طوری که کاربرد این فن‌آوری منجر به وقوع انقلابی در کشاورزی شده است. تولید گیاهان مقاوم به شوری، به منظور افزایش سطح زیرکشت در زمین‌های شور و خشک، یکی از مهم‌ترین دست‌یافته‌های اصلاح ژنتیکی با استفاده از پرتوتابی هسته‌ای است که هم‌اکنون روی گیاهان زراعی در حال انجام است. هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر پرتوتابی گاما روی صفات بیوشیمیایی و عملکرد چغندر قند در مواجهه با تنش شوری بوده است.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی واکنش صفات بیوشیمیایی و عملکرد سه رقم مختلف چغندر قند پاییزه به پرتوتابی اشعه گاما در شرایط تنش شوری در منطقه جعفریه قم واقع در استان قم و در

آدنوزین تری فسفات (ATP)، ۵ میلی مول کراتین فسفات، ۵۲ واحد فسفوکرآتین کیناز، ۱۲ واحد فسفوگلیسرات کیناز، ۱۱ واحد کلیسرآلدئید ۳-فسفات دهیدروژناز اضافه شده و به مدت ۶۰ ثانیه در ۳۷ درجه سانتی گراد انکوبه شد. کاهش جذب نوری در ۳۴۰ نانومتر) مربوط به اکسیداسیون نیکوتین آمید آدنین دی نوکلوتید منهای جذب نوری همان محلول در ۴۰۰ نانومتر (مربوط به کربوکسیلاسیون آنزیم رویسکو) اندازه گیری شد. همین واکنش یک بار دیگر با آنزیم استاندارد میزان فعالیت نمونه استخراجی بر حسب میکرومول بر ثانیه بر متر مربع ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) بیان شد.

اندازه گیری میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز توسط روش میسرا و فریدوریچ (Misra and Fridorich 1972) میزان تغییرات این آنزیم تعیین شد. جهت محاسبه این صفت تعداد پنج عدد برگ جوان در مرحله رشد کامل در هنگام صبح برداشت شد. سعی بر آن بود که برگ‌ها کاملاً جوان و گسترده باشند، برگ‌ها داخل نایلون اتیک گذاری شده، قرار گرفت و سپس در تانک نیتروژن مایع قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل و میزان تغییرات این آنزیم تعیین شد. ابتدا محلول بافر تریس (حاوی فسفات دی سدیک، اسیدیت ۷/۲) به همراه ۱/۳ میلی مول اتیلن دی امین تترا استیک اسید (EDTA) و ۰/۱ میلی مول به عنوان سوپرا استفاده شد، سپس محلول تهیه شده را به آن اضافه کرده، تغییرات جذب نوری حاصله از اکسید اکسیژن اپی نفرین، به عنوان فعالیت آنزیمی ارزیابی شده و از آنزیم استاندارد و خالص جهت استاندارد نمودن نتایج استفاده گردید که واحد آن قادر به اکسیداسیون نیم میلی مول اپی نفرین در یک دقیقه است.

جهت محاسبه میزان فعالیت آنزیم کاتالاز از برگ‌های جوان و توسعه یافته در انتهای رشد استفاده شد و سپس توسط روش پاگلیا و ولنتاین (Paglia and Valentine 1987) میزان تغییرات آنزیم تعیین گردید. برای این منظور نمونه برگ‌ها پس از شستشو با آب مقطر بلافاصله در محلول بافر فسفات تریس ۰/۱۶

آبان ماه بود. همچنین تاریخ برداشت در سال اول ۱۹ تیرماه و در سال دوم ۱۴ تیرماه بود.

نمونه‌های ریشه از هر کرت پس از حذف نیم متر از بالا و پایین هر کرت و از خطوط میانی به مساحت چهار مترمربع برداشت شد و برای تعیین صفات کمی و کیفی به آزمایشگاه خمیرگیری مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند واقع در کمال شهر کرج، ایستگاه تحقیقاتی مرحوم مهندس مطهری ارسال شد.

برای تعیین محصول ریشه به مساحت چهار مترمربع از خطوط میانی هر کرت پس از حذف ۵۰ سانتی متر از بالا و پایین هر خط برداشت شد. عملکرد قند (تن در هکتار) از حاصل ضرب محصول ریشه در مقدار قند (شکر قابل استحصال) به دست آمد. این مؤلفه از مهم‌ترین فاکتورهای کمی و کیفی محسوب شده و برآیند کلی محصول ریشه، درصد قند و ناخالصی‌ها است (Cooke and Scott 1993).

سنجش فعالیت رویسکو بر اساس روش لیلی و همکاران (Lilley et al. 1974) که بعدها توسط شارکی و همکاران (Sharkey et al. 1991) تغییر یافته، انجام شد. برای این منظور مقدار ۱/۵ گرم برگ تازه در محلول استخراج شامل ۱۰۰ میلی مول بیسین هیپروکسید سدیم (Bicin-NaOH) با اسیدیت (pH) برابر با ۷/۸، ۱۰ میلی مول کلرور منیزیم، ۱۰ میلی مول بتامرکاپتوتانول و دو درصد پلی وینیل پلی پیرولیدون هموزن شد. سپس در ۱۸۰۰۰ دور به مدت دو دقیقه سانتریفیوژ شده و محلول روئی جهت سنجش فعالیت اندازه گیری شد. بدین منظور ۲۵۰ میکرولیتر از این عصاره به یک سی سی محلول واکنش شامل ۱۰۰ میلی مول بیسین با اسیدیت ۸/۲، ۲۰ میلی مول کلرید منیزیم، ۱۰ میلی مول کربنات منوسدیم، ۱۰ میلی مول کلروپتاسیم، یک میلی مول ریبولوز بیس فسفات، ۰/۲ میلی مول نیکوتین آمید آدنین دی نوکلوتید (NADH)، ۵ میلی مول

سنجش نیترات ردوکتاز به روش کالری متری اندازه گیری شد (Litchfield 1967). فعالیت آنزیم بر حسب میکرومول نیترات ( $\text{NO}_2^-$ ) آزاد شده در گرم وزن بافت بر ساعت مشخص شد (Jones and Shard 1973). بدین منظور نیم گرم بافت برگ گیاه در انتهای رشد در بافر تریس با اسیدیتیه برابر ۸/۸ حاوی اتیلن دی امین تترا استیک اسید (۰/۱ مول) هموزن شد و در ۲۰۰۰ دور به مدت پنج دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس از محلول بالایی ۰/۲ میلی لیتر برداشت و به محلول کار، حاوی ۱۰۰ میکرومول نیترات پتاسیم میکرومول تیکوتین آمید آدنین دی نوکلوتید (NADH) در حجم کلی ۲/۲ میلی لیتر با اسیدیتیه برابر ۷/۵ اضافه شد. پس از ۱۵ دقیقه واکنش آنزیمی با قرار دادن مجموعه داخل آب جوش متوقف شد. میزان نیترات آزاد شده کاتالیز آنزیمی به روش کالری متری (Litchfield 1967) و فعالیت آنزیم بر حسب میکرومول نیترات آزاد شده در گرم وزن بافت بر ساعت مشخص شد (Jones and Shard 1973).

سنجش محتوی کلروفیل بر اساس روش لیگتن تاهلر (Lichtenthaler 1987) انجام گرفت. براین اساس ۰/۵ گرم برگ تازه در انتهای رشد که قبلاً از مواد و غبارهای زائد توسط آب مقطر پاک شده بود به همراه ۰/۵ گرم کربنات سدیم درون یک هاون چینی مخلوط گردید. سپس روی آن ۱۰ میلی لیتر استن خالص (۱۰۰ درصد) به تدریج اضافه شد این مخلوط توسط صافی صاف گردید و پس از انتقال به لوله آزمایش بلافاصله با دور ۲۵۰۰ و به مدت دو دقیقه سانتریفیوژ شد و عصاره یکنواختی به دست آمد. ۰/۵ میلی لیتر از این محلول رونی با ۴/۵ میلی لیتر استن ۸۰ درصد مخلوط شد و به داخل دستگاه اسپکتروفتومتر نوری منتقل گردید. میزان جذب آن در طول موج ۶۶۳/۲ و ۶۴۶/۸ نانو متر قرائت شد. اعداد حاصله از جذب نوری در فرمول گذاشته شد و مقدار کلروفیل ها به تفکیک بر حسب میلی گرم بر

مول با اسیدیتیه ۷/۵ وارد، خرد و هموزن شد. سپس حجم مشابه بافر حاوی دیجیتونین آنزیم هضم کننده دیواره اضافه نموده تا فرآیند هضم غشاء و دیواره های سلولی صورت گیرد. در آخر میزان ۰/۵ میلی لیتر از محلول هموزن برای سنجش پروتئین توسط روش لوری (lowry 1951) برداشته شد و مقدار پروتئین آن بر حسب میلی گرم بر میلی لیتر تعیین گردید. در باقی مانده محلول استخراجی فوق مقدار هریک از آنزیم ها به روش خاصی تعیین شد. در این روش شدت حذف آب اکسیژنه به عنوان سوبسترا ارزیابی شد. بافر زمینه برای انجام کار حاوی ۰/۱۷ میلی مول فسفات دی سدیک با اسیدیتیه ۷/۵ به همراه ۰/۱۵ مول اتیلن دی امین تترا استیک اسید ، ۰/۱۱ میلی مول کلرید منیزیم در نظر گرفته خواهد شد. واحد فعالیت آنزیم کاتالاز معادل نسبت تبدیل آب اکسیژنه در مدت یک دقیقه به هنگام پیشرفت واکنش درجه اول در نظر گرفته شد.

سنجش مالون دی آلدئید با روش اوهاکوا و همکاران (Ohkawa *et al.* 1979) انجام شد. بدین منظور ۰/۲ گرم بافت برگ گیاهی در انتهای رشد به قطعات کوچک تقسیم و با هموزنایزر در دو میلی لیتر محلول تری کلرواستیک اسید پنج درصد در مجاورت یخ هموزن شد. سپس در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ و محلول بالایی برداشت شد. نیم میلی لیتر از این محلول با نیم میلی لیتر از محلول تیو باربیتوریک اسید و تری کلرواستیک ۲۰ درصد مخلوط و در ۹۶ درجه سانتی گراد به مدت ۲۵ دقیقه انکوبه شد. سپس در شرایط سرد در ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت پنج دقیقه سانتریفیوژ شد. جذب محلول روئی در ۵۳۲ نانومتر اندازه گیری شد. از محلول تیوباربیتوریک اسید و تری کلرواستیک ۲۰ درصد به عنوان شاهد استفاده شد. مقدار مالون دی آلدئید با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد.

همگنی واریانس خطای آزمایشات در سطح یک درصد رد نشد. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. جهت انجام تجزیه‌های آماری از نرم‌افزار SAS استفاده شد.

## نتایج و بحث

### فعالیت آنزیم روبیسکو

اثر متقابل سه گانه شوری × پرتودهی گاما × رقم بر میزان فعالیت روبیسکو، معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ، جدول ۱). فعالیت آنزیم روبیسکو در هر سه رقم تحت تنش شوری کاهش یافت اما در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش شوری رقم یودورو و پس از آن آنتک بالاترین فعالیت روبیسکو را نشان دادند (جدول ۲).

لیتر براساس رابطه ۱ و ۲ محاسبه شد (A: میزان جذب در طول موج است.). هر آزمایش سه بار تکرار شد.

$$(1) \quad a = (12.25 A663.2 - 2.79 A646.8) \text{ کلروفیل}$$

$$(2) \quad b = (21.21 A646.8 - 5.1 A663.2) \text{ کلروفیل}$$

جهت محاسبه محتوی نسبی آب برگ از پنج عدد برگ جوان و کاملاً توسعه یافته در انتهای رشد استفاده شد. بعد از جدا نمودن برگ‌ها از گیاه، بلافاصله نمونه‌ها در محیط آزمایشگاهی با ترازوی بادقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند و از روش ترنر و جوند (Turner and Jund 1991) محتوی نسبی آب برگ بر اساس رابطه ۳ زیر محاسبه گردید:

$$\text{محتوی نسبی آب} = (\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن تر برگ}) / (\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن تورژسانس برگ}) \times 100$$

پیش از انجام تجزیه واریانس مرکب، به منظور آزمون همگنی واریانس، خطاهای آزمایشی، آزمون بارتلت انجام شد و فرض

جدول ۱ تجزیه واریانس صفات مورد بررسی سه رقم چغندرقدن پاییزه در شرایط متفاوت پرتودهی گاما و شوری

منابع تغییرات	درجه آزادی	روبیسکو	مالون دی آلدئید	کاتالاز	سوپر اکسید دیسموتاز	نیترات ردکتاز	محتوای کلروفیل	محتوای آب	عملکرد ریشه	عملکرد قند
سال	۱	۵۴۶۷/۶**	۱۷۱/۰۵	۱۲/۴۲**	۱/۰۴ <sup>ns</sup>	۱۲۹/۲**	۱۶۱۵۶/۸۸**	۸۶۵/۵۳**	۵۶۱۷/۷**	۲۳/۹**
تکرار (سال)	۴	۵/۱۸ <sup>ns</sup>	۱۵۷/۳ <sup>ns</sup>	۰/۴۹ <sup>ns</sup>	۰/۶۷ <sup>ns</sup>	۲/۹۴ <sup>ns</sup>	۱۷۲/۰۴ <sup>ns</sup>	۶۰/۲۱**	۴۱/۳۳ <sup>ns</sup>	۰/۲۸ <sup>ns</sup>
تنش شوری	۱	۴۲۰۰/۷**	۳۲۴۲/۶**	۷۴/۱۴**	۲۰۰/۶۲**	۴۹۴/۴۵**	۸۳۶۶۴/۳**	۶۵۳۰/۶**	۲۵۱۹۶/۴**	۱۷۸/۶**
خطای کرت اصلی	۴	۳۹/۸۳	۱۰۸/۹۶	۰/۲۶	۰/۷۰	۲/۱۶	۲۱۹/۶	۱۹/۸۱	۳۴/۷۱	۰/۶۵
رقم	۲	۱۷۹/۳**	۱۰۱/۴۳ <sup>ns</sup>	۰/۲۳ <sup>ns</sup>	۲/۲۳ <sup>ns</sup>	۹۸/۰۳**	۱۷۵۰۲۶/۸**	۱۸۰/۳**	۱۰۴۳/۶**	۶۹/۱۳**
پرتودهی گاما	۴	۲۲۸/۰۷**	۱۴۹/۱۷ <sup>ns</sup>	۰/۱۸ <sup>ns</sup>	۱/۷۵ <sup>ns</sup>	۱۶/۶۶*	۳۸۳۳۳/۶**	۴۱۵/۲۱**	۷۰۴/۵**	۰/۵۰ <sup>ns</sup>
رقم × شوری	۲	۷/۱۱ <sup>ns</sup>	۱۶۶/۱۶ <sup>ns</sup>	۰/۴۳ <sup>ns</sup>	۱/۶۹ <sup>ns</sup>	۳/۸۴ <sup>ns</sup>	۳۰۹۲/۳**	۹۴/۵۳**	۲۰۷/۵**	۳/۹۳**
پرتودهی گاما × شوری	۴	۳/۷۳ <sup>ns</sup>	۱۱۷/۱ <sup>ns</sup>	۰/۵۳ <sup>ns</sup>	۲/۴۸ <sup>ns</sup>	۶/۱۳ <sup>ns</sup>	۱۴۷۱/۷۵**	۳۱/۴۱ <sup>ns</sup>	۸۵/۸**	۱/۰۴ <sup>ns</sup>
پرتودهی گاما × رقم	۸	۴۵/۰۶*	۳۳۶/۵*	۰/۷۹**	۲/۷۱ <sup>ns</sup>	۲/۸۴ <sup>ns</sup>	۱۳۴۱/۹۸**	۱۵/۰۵ <sup>ns</sup>	۲۴/۳ <sup>ns</sup>	۰/۶۵ <sup>ns</sup>
پرتودهی گاما × رقم × شوری	۸	۵۱/۱۸*	۱۷۹/۱۳ <sup>ns</sup>	۰/۳۴ <sup>ns</sup>	۱/۷۳ <sup>ns</sup>	۱۱/۲۲*	۵۷۳/۴۹ <sup>ns</sup>	۲۵/۲۳ <sup>ns</sup>	۲۱/۶ <sup>ns</sup>	۰/۵۹ <sup>ns</sup>
شوری (سال)	۱	۹۸/۲۷*	۱۷۳/۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۱۵ <sup>ns</sup>	۴/۱۹ <sup>ns</sup>	۳۵۵۴/۰۴**	۴۱/۴۸ <sup>ns</sup>	۱۹۰/۲**	۱/۹۴ <sup>ns</sup>
رقم (سال)	۲	۲۸/۹۵ <sup>ns</sup>	۴۰۳/۸ <sup>ns</sup>	۰/۲۷ <sup>ns</sup>	۱/۹۹ <sup>ns</sup>	۶/۰۱ <sup>ns</sup>	۳۳۱۸/۱۹**	۱۵/۷۶ <sup>ns</sup>	۴۶/۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۱ <sup>ns</sup>
پرتودهی گاما (سال)	۴	۶۲/۶*	۱۷۲/۴ <sup>ns</sup>	۰/۱۶ <sup>ns</sup>	۴/۰۹ <sup>ns</sup>	۲/۳۶ <sup>ns</sup>	۸۴۶/۷۳ <sup>ns</sup>	۸/۴۸ <sup>ns</sup>	۵/۲۹ <sup>ns</sup>	۱/۳۱ <sup>ns</sup>
رقم × شوری (سال)	۲	۶۱/۷۲*	۲۹/۲۲ <sup>ns</sup>	۰/۲۹ <sup>ns</sup>	۰/۹۴ <sup>ns</sup>	۳/۷۳ <sup>ns</sup>	۴۸۱/۴۳ <sup>ns</sup>	۴۶/۵۳*	۳/۹۰ <sup>ns</sup>	۰/۹۴ <sup>ns</sup>
پرتودهی گاما (سال) × شوری	۴	۸/۳۲ <sup>ns</sup>	۱۳۶/۴۵ <sup>ns</sup>	۰/۲۶ <sup>ns</sup>	۱/۷۳ <sup>ns</sup>	۱/۹ <sup>ns</sup>	۶۱۲/۵۲ <sup>ns</sup>	۶/۴۳ <sup>ns</sup>	۳/۹۷ <sup>ns</sup>	۰/۱۶ <sup>ns</sup>
رقم × پرتودهی گاما (سال)	۸	۵۰/۵۷*	۱۶۴/۳۷ <sup>ns</sup>	۰/۴۷ <sup>ns</sup>	۱/۵۳ <sup>ns</sup>	۲/۵۷ <sup>ns</sup>	۲۲۳/۹۱ <sup>ns</sup>	۱۲/۲۶ <sup>ns</sup>	۱۰/۵۵ <sup>ns</sup>	۱/۰۸ <sup>ns</sup>
پرتودهی گاما × رقم × شوری (سال)	۸	۳۲/۸۹ <sup>ns</sup>	۶۹/۷۶ <sup>ns</sup>	۰/۲۱ <sup>ns</sup>	۰/۹۳ <sup>ns</sup>	۲/۷۸ <sup>ns</sup>	۲۹۶/۰۴ <sup>ns</sup>	۸/۴۳ <sup>ns</sup>	۴/۵۹ <sup>ns</sup>	۰/۹۳ <sup>ns</sup>
خطا	۱۱۲	۲۰/۰۲	۱۴۲/۵۷	۰/۲۸	۱/۸۷	۵/۳۷	۳۵۹/۷۹	۱۴/۸۹	۲۰/۵۹	۰/۵۴
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۲/۲۳	۱۶/۶	۲۴/۵۶	۲۰/۴۴	۲۱/۹۸	۵/۴۲	۵/۴	۷/۹۲	۱۰/۵۱

\*، \*\* و <sup>ns</sup> به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد آماری

آبیاری نرمال با افزایش تابش اشعه گاما فعالیت روبیسکو با نوسان کم همراه بود و تا حدودی روند کاهشی داشت. در مجموع بیشترین میزان فعالیت روبیسکو چه در شرایط نرمال و چه در شرایط تنش شوری برای رقم یودورو و در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ گری حاصل شد (جدول ۲).

با تابش اشعه گاما در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ گری فعالیت آنزیم روبیسکو در دورقم یودورو و آنتک در هر دو شرایط آبیاری افزایش یافت. در رقم شریف این میزان در شرایط تنش شوری و سطوح پرتوتابی اشعه گاما افزایش یافت که بیشترین میزان در سطح ۵۰ گری حادث گردید، اما در شرایط

جدول ۲ میانگین فعالیت آنزیم روبیسکو و غلظت نیترات ریداکتاز در اثر متقابل تنش شوری و سه رقم چغندر قند و پنج سطح پرتوتابی اشعه گاما

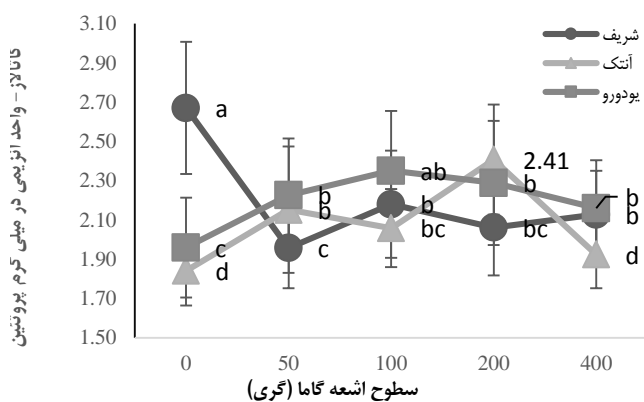
رقم	سطوح تابش اشعه گاما (گری)	فعالیت آنزیم روبیسکو (میکرومول بر متر مربع در ثانیه)		نیترات ریداکتاز (میکرومول نیترات بر گرم در ساعت)	
		آب نرمال	آب شور	آب نرمال	آب شور
شریف	۰	۳۸/۳۲ b	۲۳/۴۶ f	۱۱/۲۲ b	۶/۵۵ e
	۵۰	۳۸/۰۱ b	۳۰/۰۷ d	۹/۹۸ c	۶/۸۰ e
	۱۰۰	۳۵/۸۴ bc	۲۸/۸۵ d	۱۲/۵۶ ab	۶/۳۵ e
	۲۰۰	۳۶/۷۸ bc	۲۶/۸۴ e	۱۰/۷۴ b	۸/۸۸ cd
	۴۰۰	۳۶/۷۲ bc	۲۴/۲۴ f	۱۰/۴۹ b	۷/۶۲ d
آنتک	۰	۳۳/۸۱ c	۲۵/۱۰	۱۰/۷۱ b	۱۰/۱۶ c
	۵۰	۳۸/۵۰ b	۳۰/۲۷ d	۱۳/۱۶ ab	۹/۴۲ c
	۱۰۰	۴۲/۲۹ a	۳۱/۵۸ d	۱۲/۱۴ ab	۹/۲۳ c
	۲۰۰	۴۳/۰۸ a	۲۹/۸۹ d	۱۴/۷۸ a	۹/۶۶ c
	۴۰۰	۳۶/۳۰ bc	۳۱/۴۹ d	۱۰/۷۶ b	۹/۲۸ c
یودورو	۰	۳۲/۷۸ c	۲۹/۳۱ d	۱۰/۹۷ b	۹/۹۸ c
	۵۰	۴۴/۴۴ a	۳۲/۳۷ c	۱۲/۸۷ ab	۱۰/۳۷ b
	۱۰۰	۴۴/۳۵ a	۳۴/۴۷ bc	۱۳/۵۹ ab	۱۰/۴۴ b
	۲۰۰	۴۰/۵۱ ab	۳۲/۳۴ c	۱۵/۴۱ a	۱۰/۲۵ b
	۴۰۰	۳۷/۹۲ b	۲۴/۴۴ f	۱۳/۶۶ ab	۸/۳۳ cd

## غلظت مالون دی آلدئید

(Mozaffari 2020). در نتیجه تنش شوری با آسیب رسانی به غشاء سلولی منجر به افزایش مالون دی آلدئید می شود. در اثر افزایش غلظت نمک محیط کشت در ژنوتیپ های چغندر قند الگوهای افزایشی در میزان غلظت مالون دی آلدئید نشان داده شده است (Wang et al. 2017a). اثر متقابل ارقام و پرتو دهی گاما نیز بر میزان غلظت مالون دی آلدئید در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۱). غلظت مالون دی آلدئید در رقم یودورو با افزایش تابش گاما در سطح ۵۰ گری کاهش یافت (شکل ۱) که

غلظت مالون دی آلدئید تحت تأثیر آبیاری با آب شور قرار گرفت ( $P < 0.01$ ، جدول ۱). آبیاری با آب شور منجر به افزایش ۱۲/۵ درصدی غلظت مالون دی آلدئید (۷۶/۱۹ نانومول در میلی گرم پروتئین) در مقایسه با آبیاری نرمال (۶۷/۷ نانومول در میلی گرم پروتئین) گردید. مالون دی آلدئید یکی از محصولات نهایی پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع در فسفولیپیدها است و مسئول آسیب غشای سلولی است (Fathollahy and

۱). غلظت آنزیم کاتالاز با پرتوتابی گاما در سطح ۱۰۰ گری در رقم یودورو و در سطح ۲۰۰ گری در رقم آنتک بیشترین مقدار بود. افزایش دز پرتوتابی به ۴۰۰ گری در هر سه رقم غلظت آنزیم کاتالاز را تا حدی کاهش داد (شکل ۲). چنین نتیجه‌ای ممکن است بیان‌کننده این موضوع باشد که تجمع سطوح بالای رادیکال‌های آزاد سبب صدمه به مولکول‌های زیستی مثل لیپیدها، پروتئین‌ها و همچنین DNA و کاهش رشد گیاهان تیمار شده با دز ۴۰۰ گری گردیده است. گزارش شده که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله گونه گیاهی، نوع پرتو، دُز به کاررفته، مدت زمان پس از قرارگرفتن در معرض اشعه قرار می‌گیرد (Gudkov et al. 2019).

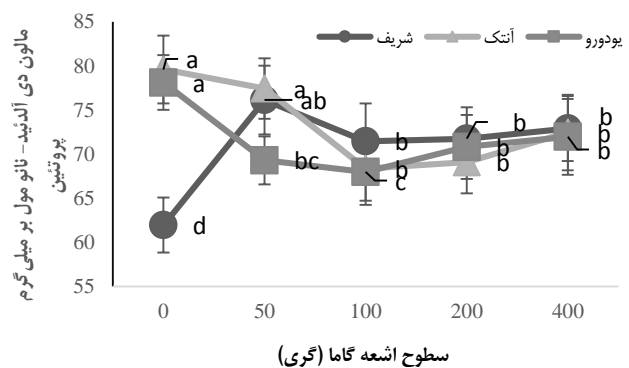


شکل ۲ میانگین غلظت کاتالاز تحت اثر متقابل سطوح مختلف تابش اشعه گاما و ارقام چغندر قند پاییزه

### سوپراکسید دیسموتاز

غلظت آنزیم آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز تنها تحت تأثیر تیمار تنش شوری قرار گرفت (جدول ۱). آبیاری با آب شور منجر به افزایش ۳۷/۵ درصدی غلظت سوپراکسید دیسموتاز (۷/۷۴ واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین) در مقایسه با آبیاری نرمال (۵/۶۳ واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین) گردید. افزایش

نشان‌دهنده کاهش تخریب غشای سلولی است. این موضوع در رقم آنتک نیز مشاهده گردید، در حالی که این میزان در رقم شریف با افزایش تابش افزایش یافت. با توجه به صفات اندازه‌گیری شده در ارقام تحت آزمایش در مجموع ارقام یودورو و پس از آن آنتک در مقایسه با رقم شریف عملکرد بالاتری در هر دو شرایط شوری و نرمال را نشان دادند و در تعامل با پرتودهی اشعه گاما نیز هم‌افزایی و روند مثبت را ارائه کردند.



شکل ۱ میانگین غلظت مالون دی‌آلدئید تحت اثر متقابل سطوح مختلف تابش اشعه‌ی گاما و رقم

### کاتالاز

آبیاری با آب شور غلظت آنزیم کاتالاز را در سطح احتمال یک درصد آماری تحت تأثیر قرارداد (جدول ۱). تنش شوری منجر به افزایش ۸۵ درصدی غلظت آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز (۲/۸۰ واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین) در مقایسه با این مقدار در شرایط آبیاری نرمال (۱/۵۱ واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین) گردید. گزارش شده که فعالیت کاتالاز در شرایط تنش شوری به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر آنزیم‌ها بود (Gholipor et al. 2022). نتایج به‌دست آمده با نتایج وانگ و همکاران (Wang et al. 2017a) نیز مطابقت داشت. اثر متقابل رقم × پرتوتابی اشعه گاما نیز در سطح احتمال یک درصد آماری معنی‌دار بود (جدول



مختلف گیاهی از جمله لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) و پنبه (*Gossypium herbaceum*) (Gouia et al. 1994)، ذرت (Baki et al. 2000) و زیتون (*Olea europaea*) (Tabatabaei 2006) به شدت کاهش یافته است.

### محتوای کلروفیل

اثر متقابل سطوح پرتوتابی اشعه گاما، رقم تحت آزمایش نیز معنی دار بود ( $P < 0.01$ ، جدول ۱). پرتوتابی اشعه گاما در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ گری به ترتیب در شرایط آبیاری نرمال به مقدار ۱۷/۲۹ درصد و شرایط تنش شوری به میزان ۱۹/۱۴۵ درصد موجب افزایش محتوای کلروفیل شد (شکل ۳). در هر سه رقم بیشترین میزان محتوای کلروفیل در سطوح تابش ۱۰۰ و ۲۰۰ گری اشعه گاما با افزایش ۱۶-۱۵ درصدی نسبت به شاهد همراه بود (شکل ۴). تشعشعات ۱۰۰-۲۰۰ گری، سطح کلروفیل a، b را تا ۶۴/۵ درصد در گیاهچه گندم (*Triticum aestivum*) افزایش داد (Borzouei et al. 2011). افزایش میزان کلروفیل با تیمار پرتوگاما ممکن است در ارتباط با افزایش فعالیت ژن پروتئین اتصال دهنده کلروفیل a و b که کدکننده پروتئین کلروفیل هست، باشد (Amirikhah et al. 2019).



شکل ۳ میانگین محتوای کلروفیل تحت اثر متقابل تنش شوری و

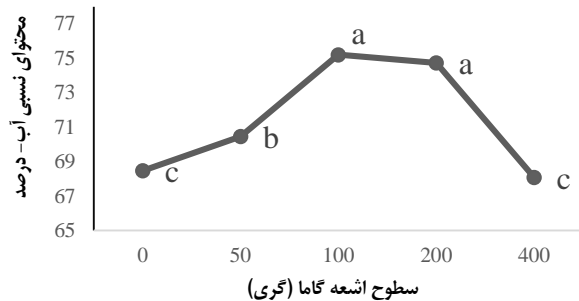
سطوح مختلف تابش اشعه گاما

غلظت نمک، در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز در ژنوتیپ‌های چغندرقد الگوهای افزایشی را نشان داده است (Wang et al. 2017). در این تحقیق اشعه گاما تأثیر معنی داری در سطح احتمال پنج درصد آماری بر غلظت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نداشت (جدول ۱) این در حالی است که برخی محققان افزایش (Beyaz et al. 2016; Wang et al. 2017b) و برخی کاهش (Fan et al. 2014) غلظت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را در اثر کاربرد اشعه گاما گزارش کردند.

### نیترات ریداکتاز

اثر متقابل و سه گانه تنش شوری، پرتوتابی گاما و رقم نیز بر غلظت نیترات ریداکتاز معنی دار بودند ( $P < 0.05$ ، جدول ۱). آبیاری با آب شور در هر سه رقم منجر به کاهش میزان نیترات ریداکتاز گردید. از سوی دیگر بیشترین غلظت نیترات ریداکتاز در شرایط نرمال آبیاری برای رقم یودورو و در سطح ۲۰۰ گری پرتوتابی گاما به دست آمد (جدول ۲). این مورد در رقم آنتک و در شرایط مشابه نیز تکرار گردید. در شرایط آبیاری با آب شور نیز دو رقم یودورو و آنتک غلظت نیترات ریداکتاز بالاتری را نسبت به رقم شریف نشان دادند اما سطوح پرتوتابی گاما نوسان زیادی را در این میزان ایجاد نمود (جدول ۲). در برخی مطالعات دیگر گزارش شده است که تنش شوری باعث تغییر در جذب و انتقال نیترات می‌شود که بر جذب نیتروژن و در نتیجه محدود شدن متابولیسم اسیدآمینو و پروتئین تأثیر می‌گذارد (Ahanger and Agarwal 2017; Hossain et al. 2012). آنها دریافتند که کاهش فعالیت نیترات ریداکتاز به دلیل مهار مستقیم یا کاهش سرعت سنتز آنزیم تحت تنش شوری می‌تواند مسئول کاهش جذب نیترات باشد. مشخص شده است که فعالیت نیترات ریداکتاز تحت شوری بیش از حد در ساقه‌ها و ریشه‌های گونه‌های

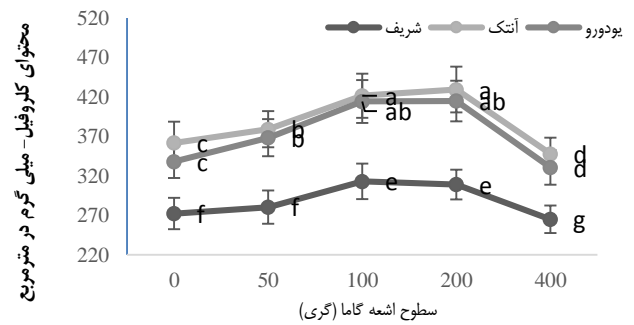
بیشترین میزان محتوای نسبی آب در سطوح تابش ۱۰۰ و ۲۰۰ گری حاصل شده و کمترین آن به‌طور مشترک در تیمار شاهد و ۴۰۰ گری به دست آمد (شکل ۶).



شکل ۶ میانگین محتوای نسبی آب تحت سطوح مختلف تابش اشعه گاما

#### عملکرد ریشه

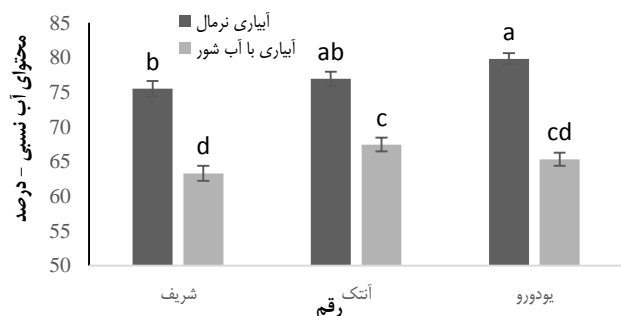
اثرات اصلی همه عوامل مورد بررسی بر عملکرد ریشه تأثیرگذار بودند ( $P < 0.01$ , جدول ۱). سطوح بالای شوری خاک به دلیل اثرات ترکیبی اسمزی بالایی می‌تواند به‌طور قابل توجهی از جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه جلوگیری کند. سمیت یونی بالقوه و خاص ایجاد شده به واسطه تنش شوری، اثرات نامطلوبی بر عملکرد و متابولیسم گیاهان داشته و به‌طور قابل توجهی موجب کاهش بهره‌وری می‌گردد (Khan and Srivastava 1998). نتایج به‌دست آمده با یافته‌های خیامیم و همکاران (Khayamim *et al.* 2014) مطابقت داشت. تنش شوری منجر به کاهش عملکرد ریشه در هر سه رقم مورد آزمایش شد. رقم یودورو در شرایط آبیاری نرمال (۷۴/۵۲ تن در هکتار) و رقم یودورو (۴۶/۵۹ تن در هکتار) و آنتک (۴۷/۷۳ تن در هکتار) در شرایط تنش شوری بیشترین و در مقابل رقم شریف در هر دو شرایط آبیاری کمترین میانگین عملکرد ریشه را تولید کرد. تنش شوری



شکل ۴ میانگین محتوای کلروفیل تحت اثر متقابل سطوح مختلف تابش اشعه گاما و رقم

#### محتوای نسبی آب

آبیاری با آب شور محتوای نسبی آب را تحت تأثیر قرار داد ( $P < 0.01$ , جدول ۱). کاهش محتوای نسبی آب در برگ چغندر قند در شرایط تنش شوری گزارش شده است (Khorshid *et al.* 2018). اثر متقابل شوری × رقم نیز بر محتوای نسبی آب تأثیرگذار بود (جدول ۱). در هر سه رقم با اعمال تنش شوری کاهش محتوای نسبی آب مشاهده شد ولی این کاهش در رقم آنتک کمتر از دو رقم دیگر بود (شکل ۵).



شکل ۵ میانگین محتوای آب نسبی تحت اثر متقابل تنش شوری و رقم

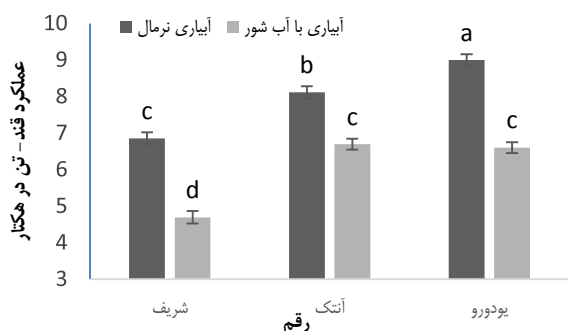
سطوح پرتوتابی گاما نیز میزان محتوای نسبی آب را در سطح احتمال یک درصد آماری تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱).

**شکل ۸** مقایسه تغییرات میانگین عملکرد ریشه تحت اثر متقابل

تنش شوری و سطوح مختلف تابش اشعه گاما

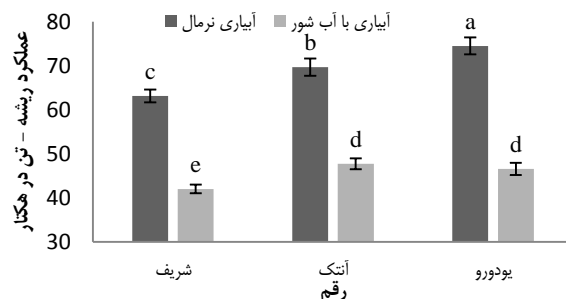
**عملکرد قند**

عملکرد قند تحت تأثیر تیمارهای تنش شوری و رقم قرار گرفت ( $P < 0.01$ ، جدول ۱). گزارش شده که تنش شوری عملکرد ریشه و عملکرد قند چغندر قند را به ترتیب حدود ۲۲/۲۰ و ۲۴ درصد کاهش داده است (Khayamim et al. 2014). پرتو دهی اشعه گاما بر عملکرد قند تأثیر گذار نبود ولی اثر متقابل شوری × رقم برای این صفت در سطح احتمال یک درصد آماری معنی دار بود (شکل ۹ و جدول ۱).

**شکل ۹** تغییرات میانگین عملکرد قند سه رقم یودورو، آنتکو شریف تحت شرایط نرمال و تنش شوری

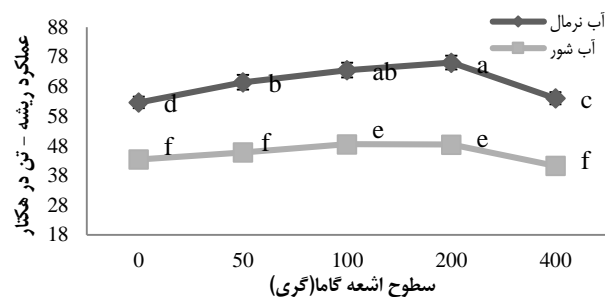
تنش شوری در هر سه رقم منجر به کاهش عملکرد قند شد و رقم یودورو در هر دو شرایط شوری و نرمال بیشترین و رقم شریف کمترین عملکرد قند را حاصل نمودند (شکل ۹). عملکرد قند رقم آنتک در شرایط شوری با رقم یودورو تفاوت معنی داری نداشت. نکته قابل توجه عملکرد رقم آنتک بود که در شرایط تنش شوری نسبت به شرایط نرمال کاهش کمتری را نسبت به سایر ارقام نشان داد. تنش شوری منجر به کاهش عملکرد قند در سه رقم یودورو، آنتک و شریف به ترتیب به میزان ۲۶/۷، ۱۷/۵ و ۳۱/۵ درصد شد. با توجه به نتایج رقم آنتک نسبت به دو رقم

منجر به کاهش عملکرد ریشه در سه رقم یودورو، آنتک و شریف به مقدار ۳۷/۴۷، ۳۱/۴۹ و ۳۳/۴۳ درصد گردید (شکل ۷).

**شکل ۷** مقایسه تغییرات میانگین عملکرد ریشه تحت اثر متقابل

تنش شوری و رقم

پرتو دهی اشعه گاما بر عملکرد ریشه در شرایط آبیاری نرمال تأثیر گذار بوده و در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ گرمی بالاترین میانگین عملکرد به میزان ۷۳/۵ و ۷۶/۰۳ تن در هکتار حاصل شد. در شرایط شوری نیز در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ گرمی بالاترین میانگین عملکرد ریشه به میزان ۴۸/۳۹ و ۴۸/۴۹ تن در هکتار مشاهده شد (شکل ۸). دوزهای بالاتر تابش گاما می تواند عامل بازدارنده ای برای جوانه زنی بذر و رشد گیاه باشد (Kumari and Singh 1996)، درحالی که دوزهای پایین تر می تواند محرک باشد. دوزهای پایین پرتوهای گاما برای افزایش تکثیر سلولی، جوانه زنی، رشد سلول، فعالیت آنزیم، مقاومت به تنش و عملکرد محصول گزارش شده است (Jan et al. 2012; Kim et al. 2005).



آب کاهش یافت ولی این کاهش در رقم آنتک کمتر از دو رقم دیگر بود. تنش شوری در هر سه رقم منجر به کاهش عملکرد قند شد و رقم یودور بیشترین و رقم شریف کمترین عملکرد قند را تولید کردند. عملکرد قند رقم آنتک در شرایط تنش شوری نسبت به شرایط نرمال با کاهش کمتری مواجه گردید. با توجه به صفات اندازه‌گیری شده در ارقام تحت آزمایش در مجموع رقم آنتک در مقایسه با ارقام دیگر عملکرد و تحمل بالاتری نسبت به شوری نشان دادند و پرتودهی با اشعه گاما بر این تحمل اثر مثبتی داشت.

دیگر کاهش عملکرد کمتری نشان داد می‌توان استنباط کرد که از تحمل بیشتری به تنش شوری برخوردار بود.

## نتیجه‌گیری

آبیاری با آب شور در هر سه رقم منجر به کاهش غلظت نیترات ریداکتاز گردید. در شرایط آبیاری با آب شور دو رقم یودورو و آنتک غلظت نیترات ریداکتاز بالاتری نسبت به رقم شریف داشتند اما سطوح پرتوتابی گاما، نوسان زیادی را در این میزان ایجاد نمود. در هر سه رقم با اعمال تنش شوری محتوای نسبی

## References:

## منابع مورد استفاده:

- AGL F. Land and plant nutrition management service: global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soil. 2000. Online: <http://www.fao.org/ag/AGLlagll/prosoil/saline.htm>.
- Ahanger MA, Agarwal R. Salinity stress induced alterations in antioxidant metabolism and nitrogen assimilation in wheat (*Triticum aestivum* L.) as influenced by potassium supplementation. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2017; 115: 449-460. doi:10.1016/j.plaphy.2017.04.017.
- Akhtar SS, Andersen MN, Naveed M, Zahir ZA, Liu F. Interactive effect of biochar and plant growth-promoting bacterial endophytes on ameliorating salinity stress in maize. *Functional Plant Biology*, 2015. 42: 770-781. doi:10.1071/FP15054.
- Ardakani MR, Majd F. Nuclear techniques in agricultural sciences. 2613. 2019. Tehran University Press. Tehran, Iran: pp. 381. [In Persian]
- Baki GAE, Siefert F, Man HM, Weiner H, Kaldenhoff R, Kaiser W. Nitrate reductase in *Zea mays* L. under salinity. *Plant, Cell and Environment.*, 2000; 23: 515-521. doi:10.1046/j.1365-3040.2000.00568.x.
- Beyaz R, Sancak C, Yildiz C, Kusvuran S, Yildiz M. Physiological responses of the M sainfoin (*Onobrychis viciifolia Scop*) plants to gamma radiation. *Applied Radiation and Isotopes*, 2016. 118: 73-79. doi:10.1016/j.apradiso.2016.09.005.
- Borzouei A, Kafi M, Khazaei H, Khorasani A, Majdabad A. The study of physiological characteristics and enzyme superoxide dismutase activity in two wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars at different growth stages under irrigation water salinity. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 2012; 9: 190-201. <https://www.magiran.com/p950303> [In Persian]
- Cooke D, Scott R. The sugar beet crop: Science into practice. 1993. Chapman and Hall, New York. pp. 195.

- Diouf M, Boureima S, Diop T. gamma rays-induced mutant spectrum and frequency in sesame. Turkish Journal of Field Crops, 2010. 15(1): 99-105.
- Fan J, Shi M, Huang JZ, Xu J, Wang ZD, Guo DP. Regulation of photosynthetic performance and antioxidant capacity by  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -irradiation in *Zizania latifolia* plants. Journal of Environmental Radioactivity. 2014; 129: 33-42. **doi:10.1016/j.jenvrad.2013.11.013.**
- Farkhondeh R, Nabizadeh E, Jalilnezhad N. Effect of salinity stress on proline content, membrane stability and water relations in two sugar beet cultivars. International Journal of AgriScience; 2012; 2: 85-392.
- Fathollahy S, Mozaffari A. Investigation the effect of seed bioprimering with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant enzymes activity of seedling and germination indices of two Wheat cultivar under salt stress conditions. Seed Science and Technology, 2020. 9: 27-44. **doi:10.22034/ijst.2018.122519.1215.** [In Persian]
- Gholipor B, Mozaffari A, Maleki A, Mirzaei Heydari M, Babaii F. Antioxidant and biochemical alterations in sea beet (*Beta vulgaris subsp. maritima* L. Arcang.) and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) exposed to salt stress. Journal of Agricultural Science and Technology, 2022. 24: 123-138. **doi:20.1001.1.16807073.2022.24.1.2.2.** [In Persian]
- Gudkov SV, Grinberg MA, Sukhov V, Vodeneev V. Effect of ionizing radiation on physiological and molecular processes in plants. Journal of Environmental Radioactivity. 2019; 202: 8-24. **doi:10.1016/j.jenvrad.2019.02.001.**
- Gouia H, Ghorbal MH, Touraine B. Effects of NaCl on flows of N and mineral ions and on  $\text{NO}_3^-$ -reduction rate within whole plants of salt-sensitive bean and salt-tolerant cotton. Plant Physiology, 1994. 105: 1409-1418. **doi.org/10.1104/pp.105.4.1409.**
- Heuer B, Plaut Z. Photosynthesis and osmotic adjustment of two sugarbeet cultivars grown under saline conditions. Journal of Experimental Botany, 1989. 40: 437-440. **doi:10.1093/jxb/40.4.437.**
- Hossain M, Uddin M, Ismail MR, Ashrafuzzaman M. Responses of glutamine synthetase-glutamate synthase cycle enzymes in tomato leaves under salinity stress. International Journal of Agriculture and Biology. 2012; 14: 505-519.
- Iqbal MA, Saleem AM. Sugar beet potential to beat sugarcane as a sugar crop in Pakistan. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 2015; 15: 36-44.
- Jamil M, Rehman S, Rha E. Salinity effect on plant growth, PSII photochemistry and chlorophyll content in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea capitata* L.). Pakistan Journal of Botany. 2007; 39: 753-760.
- Jan S, Parween T, Siddiqi T. Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products. Environmental Reviews. 2012; 20(1): 17-39. **doi:10.1016/j.micron.2006.11.002.**
- Jones RW, Shard RW. Application of automated analysis and colorimetry to the assay of nitrate and nitrate reductase in plant extracts. Canadian Journal of Plant Science. 1973; 53: 207-213.
- Kaffka S, Daxue D, Peterson G. Saline water can be reused to irrigate sugar beets, but sugar may be low. California Agriculture. 1999; 53: 11-15.

- Karim KMR, Islam AKMR, Hossain MM, Azad HMS, Rahman MW. Effect of gamma rays on yield and yield attributes of large seeded chickpea. *Journal of Soil Nature*. 2008; 2(2): 19-24.
- Katerji N, Van Hoorn J, Hamdy A, Mastrorilli M. Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. *Agricultural Water Management*. 2000; 43: 99-109.
- Khan M, Srivastava H. Changes in growth and nitrogen assimilation in maize plants induced by NaCl and growth regulators. *Biologia Plantarum*. 1998; 41(1): 93-99.
- Khayamim S, Tavkol Afshari R, Sadeghian S, Poustini K, Roozbeh F, Abbasi Z. Seed germination, plant establishment, and yield of sugar beet genotypes under salinity stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2014; 16: 779-790. doi:10.1001.1.16807073.2014.16.4.6.6. [In Persian]
- Kim JH, Chung BY, Kim JS, Wi SG. Effects of gamma irradiation on growth, photosynthesis, and antioxidative capacity of red pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *Journal of Plant Biology*. 2005; 48(1):47-56. doi:10.1007/BF03030564.
- Khorshid A, Moghadam F, Bernousi I, Khayamim S, Rajabi A. Comparison of some physiological responses to salinity and normal conditions in sugar beet. *Indian Journal of Agricultural Research*. 2018; 52: 362-367. doi:10.18805/IJARc.A-320.
- Kumari R, Singh Y. Effect of gamma rays and EMS on seed germination and plant survival of *Pisum sativum* L. and *Lens culinaris*. *Medicine Neo Botanica*. 1996; 4(1): 25-29.
- Lilley R, Waker DA. An improved spectro photometric assay for ribulose biphosphate carboxylase. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1974. 358: 226-229.
- Litchfield MH. The automated analysis of nitrate and nitrate analyst. 1967; 92: 132-136.
- Lichtenthaler HK. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. 1987; 148: 350-382.
- Melki M, Dahmani T. Gamma irradiation effects on durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2009; 12: 1531-1534. doi:org/10.3923/pjbs.2009.1531.1534.
- Misra V, Mall A, Pathak A. Sugar beet: A sustainable crop for saline environment. In "Agronomic Crops", 2020. pp. 49-61. Springer.
- Mohajer S, Taha RM, Khorasani A, Yaacob JS. Induction of different types of callus and somatic embryogenesis in various explants of Sainfoin (*Onobrychis sativa*). *Australian Journal of Crop Science*. 2012; 6: 1305-1313.
- Mutevali Haghi M, Sohani A, Soleimani Fard Sh. Investigating the effects of gamma ray irradiation (cobalt-60) on germination characteristics of edible onion under drought stress. The first International Congress on the Development of Agricultural Sciences and Natural Resources. 7 Decamber 2014; Poland.

- Ohkawa H, Ohishi N, Yagi. Assay of lipid peroxides in tissues by thiobarbituric acid reaction. *Annual Review of Biochemistry*. 1979; 95: 51-358.
- Paglia DE, Valentine WN. Studies on the quantitative and qualitative characterization of glutation peroxidase. *Journal of Laboratory Medicine*. 1987; 70: 158-165.
- Qureshi AS, Qadir M, Heidari N, Tural H, Javadi A. A review of management strategies for salt prone land and water resources in Iran. *International Water Management Institute*. 2007; 125: 27. **doi:10.3910/2009.303**. [In Persian]
- Sharkey TD, Savitch LV, Butz ND. Photometric method for routine determination K cat and carboxylation of rubisco. *Photosynthesis Research*, 1991. 28: 41-48.
- Taghizadegan M, Toorchi M, Vahed MM, Khayamim S. Evaluation of sugar beet breeding populations based morpho-physiological characters under salinity stress. *Pakistan Journal of Botany*. 2019; 51: 11-17. **doi:10.30848/pjb2019-1(7)**.
- Tabatabaei S. Effects of salinity and N on the growth, photosynthesis and N status of olive (*Olea europaea* L.) trees. *Scientia Horticulturae*, 2006. 108: 432-438. **doi:10.1016/j.scienta.2006.02.016**.
- Turner FT, Jund MF. Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for semidwarf rice. *Agronomy Journal*. 1991; 83: 926-928.
- Wang Y, Stevanato P, Yu L, Zhao H, Sun X, Sun F, Li J, Geng G. The physiological and metabolic changes in sugar beet seedlings under different levels of salt stress. *Journal of Plant Research*. 2017a; 130: 1079-1093. **doi:10.1007/s10265-017-0964-y**.
- Wang X, Ma R, Cui D, Cao Q, Shan Z, Jiao, Z. Physio-biochemical and molecular mechanism under lying the enhanced heavy metal tolerance in highland barley seedlings pre-treated with low-dose gamma irradiation. *Scientific Reports*. 2017b; 7: 14233. **doi:10.1038/s41598-017-14601-8**.
- Watson L, Dallwitz MJ. *The grass genera of the world*. 1992. Cambridge University Press.
- Yang L, Ma C, Wang L, Chen S, Li H. Salt stress induced proteome and transcriptome changes in sugar beet monosomic addition line M14. *Journal of Plant Physiology*. 2012; 169: 839-850. **doi:10.1016/j.jplph.2012.01.023**.
- Yasar F, Kusvuran S, Ellialtioglu S. Determination of anti-oxidant activities in some melon (*Cucumis melo* L.) varieties and cultivars under salt stress. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2006; 81: 627-630. **doi:10.1080/14620316.2006.11512115**.

## Evaluation of the effect of gamma ray irradiation on yield and biochemical traits of autumn sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under salinity stress condition

M. Naji<sup>1</sup>, D. Habibi<sup>2</sup>, M. Diyanat<sup>3\*</sup>, V. Veysani<sup>4</sup> and M. Sadeghi shoa<sup>5</sup>

(Received 6 Feb. 2024 ; Accepted 12 Jun. 2024)

**M. Naji, D. Habibi, M. Diyanat, V. Veysani and M. Sadeghi shoa. 2024.** Evaluation of the effect of gamma ray irradiation on yield and biochemical traits of autumn sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under salinity stress condition. **J. Sugar Beet. 39(2): 165- 180 (in Persian).**

### Abstract

In this study, changes in biochemical traits and yield of different autumn-sown sugar beet cultivars treated with gamma ray irradiation under salinity stress condition were evaluated in Jafariyeh region located in Qom province in two crop seasons of 2018 and 2019. The experiment was conducted as a split factorial based on randomized complete block design with three replications. The main plot includes irrigation at two levels (normal water and saline water with electrical conductivity of 7000 to 10000  $\mu\text{mos cm}^{-1}$ ) and sub-plots were combination of sugar beet cultivars (Sharif, Antek, and Eudoro) and gamma radiation (0, 50, 100, 200 and 400 Gy). Results showed that the activity of rubisco enzyme decreased in all three cultivars under salinity stress, however the highest level of rubisco activity under both normal and salinity stress conditions observed in Eudoro cultivar at 50 and 100 Gy levels. The concentration of malondialdehyde in Eudoro and Antek cultivars decreased by gamma radiation while increased in Sharif cultivar. In all three cultivars, the highest amount of chlorophyll content at 100 and 200 Gy gamma ray radiation levels was associated with an increase of 15-16% compared with control. Under salinity condition at 100 and 200 Gy levels, the highest average root yield was observed. Salinity stress caused a decrease in sugar yield in Eudoro, Antek and Sharif by 26.7%, 17.5% and 31.5%, respectively. Antek cultivar had a lower sugar yield than the other two cultivars. In general, Antek cultivar showed a higher yield and tolerance to salinity compared with other cultivars, and gamma ray irradiation had a positive effect on this tolerance.

**Keywords:** Catalase, dialdehyde, malon, relative water content, rubisco, sugar beet

---

1 PhD student, Faculty of Agriculture and Food Industry, Science and Research Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2 Associate Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

3 Associate Professor, Faculty of Agriculture and Food Industry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. \* -Corresponding author contact information email: ma\_dyanat@yahoo.com.

4 Assistant Professor, Faculty of Agriculture and Food Industry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

5 Assistant Professor, Research Institute for Breeding and Preparation of Sugar Beet Seeds, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.