



## واکنش گندم (*Triticum aestivum* L.) به مصرف سلنیوم در شرایط آبیاری نرمال و تنش کمبود آب

محمد رضا دادنیا<sup>۱\*</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱۱/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۳۰

### چکیده

به منظور بررسی واکنش واریته کرج ۱ گندم نسبت به محلول پاشی سلنیوم (از منبع سدیم سلنات) روی برگ در اوایل گلدهی در شرایط کم آبی آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در کرج انجام شد. تیمارهای آبیاری در دو سطح شامل آبیاری نرمال ( $I_1$ ) و قطع آبیاری در اواسط گلدهی (۱۱۰ روز پس از کاشت) ( $I_2$ ) که در کرت اصلی و سلنیوم در شش غلظت به صورت خالص صفر ( $S_0$ )، ۵ ( $3/12$ ) میکروگرم سدیم سلنات ( $S_1$ )، ۱۰ ( $6/24$ ) میکروگرم سدیم سلنات ( $S_2$ )، ۱۵ ( $9/36$ ) میکروگرم سدیم سلنات ( $S_3$ )، ۲۰ ( $12/5$ ) میکروگرم سدیم سلنات ( $S_4$ ) و ۲۵ ( $15/62$ ) میکروگرم سدیم سلنات ( $S_5$ ) گرم به ازای هکتار در کرت فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کمبود آب میزان سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گلوتاتیون پراکسیداز و نشانگر مالون دی‌آلدئید را افزایش داد. محلول پاشی سلنیوم، در شرایط تنش آبی میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت (ضد اکساینده) را افزایش و در غلظت ۲۰ گرم در هکتار به حداکثر رسید و میزان مالون دی‌آلدئید کاهش یافت و موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد ولی، افزایش آنتی‌اکسیدانت‌ها و کاهش مالون دی‌آلدئید در شرایط نرمال کمتر بود. به عبارت دیگر، اثر منفی مالون دی‌آلدئید بر اجزای عملکرد، پایداری غشای سلول و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در شرایط تنش رطوبتی نسبت به شرایط نرمال بیشتر بود. افزایش معنی‌دار پایداری غشای سیتوپلاسمی، عملکرد دانه، وزن دانه و سلنیوم دانه در ۱۵ و به خصوص ۲۰ گرم سلنیوم در هکتار در مقایسه با مقادیر بیشتر و کمتر این عنصر در تنش کم آبی و شرایط نرمال نشان داد سرکوب رادیکال‌های آزاد اکسیژن انجام، و القای سازوکار دفاع آنزیمی گیاه در مقابل صدمات اکسیداتیو اثرگذار بوده بنابراین، استفاده از ترکیبات حفاظتی برون‌زا مانند سلنیوم می‌تواند ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه را در برابر تنش افزایش دهد.

**واژگان کلیدی:** سلنیوم، کمبود آب، گندم، مالون دی‌آلدئید.

۱- استادیار گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

\* نگارنده‌ی مسئول

### مقدمه

سلیوم (Se) یک عنصر ریز مغذی با خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدسرطان و آنتی‌ویروسی است که برای سلامت انسان و حیوانات ضروری می‌باشد ولی برای گیاهان عالی ضروری شناخته نشده است (Murphy *et al.*, 2014). سلیوم از عناصر واسطه مهم محسوب و در حلال‌های آلی محلول نبوده و از یوریدین تری فسفات (Uridine tri phosphate) در خاک به وجود آمده به طوری که این فرآیند توسط آنزیم سلنیت اکسیداز (Selenite oxidase) تسریع می‌شود. فعالیت آنزیم یاد شده موجب افزایش رشد ریشه می‌گردد و احتمالاً تجمع آن ناشی از کاهش آب است و این مسأله زمانی اتفاق می‌افتد که گیاه در معرض تنش قرار می‌گیرد، لذا مقدار اوریدین تری فسفات زیادی در برگ‌ها تجمع می‌یابد. با این حال تحقیقات نشان داده‌اند که افزودن کودهای سلیوم‌دار به خاک باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌گردد (Chen *et al.*, 2014). گیاهان عالی از نظر جذب و عکس‌العمل به مقادیر مختلف سلیوم متفاوت عمل می‌کنند و این عکس‌العمل بستگی به تجمع سلیوم در اندام‌های هوایی و بخش اقتصادی گیاه دارد (Hayes *et al.*, 2012). گندم در بین گیاهان زراعی به غلظت سلیوم بسیار حساس می‌باشد به طوری که محدوده بالای ۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (حد بحرانی ۳/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در زمانی که با خاک مخلوط شود برای گیاه سمی است. فرم‌های تجاری سلیوم شامل سلنیت سلیوم ( $\text{Na}_2\text{O}_3\text{Se}$ ) و سلنات سلیوم ( $\text{Na}_2\text{O}_4\text{Se}$ ) بوده ولی سلنیت به دلیل محلولیت بیشتر در آب و محلول خاک به مراتب برای گیاه سمی‌تر است (Kharel *et al.*, 2015). سمیت سلیوم می‌تواند از طریق سولفات و فسفات کاهش پیدا کرده به طوری که کاربرد این

ترکیبات می‌تواند منجر به تعدیل غلظت سلیوم در بافت شود (Scharf *et al.*, 2015). یک مسأله مهم در کاربرد میکرو المنتها غلظت نرمال است زیرا مقادیر بیش از حد این عناصر در گیاه ایجاد سمیت می‌کند و کیفیت و کمیت دانه را کاهش می‌دهد (Tabrizi *et al.*, 2015). اگرچه کاربرد سلیوم به صورت محلول پاشی با غلظت ۲۷ گرم در هکتار به عنوان نیاز گیاه در نظر گرفته می‌شود مطالعات اخیر نشان می‌دهند این غلظت آستانه سمیت برای گندم به شمار می‌رود زیرا تحت این شرایط سلیوم به جای سولفور با آمینواسیدها پیوند می‌یابد و در کار آنزیمها اختلال ایجاد می‌کند (Kumar *et al.*, 2015). مصرف زیاد سلیوم منجر به بروز سمیت و کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌گردد به طوری که علایم سمیت در هر گیاه متفاوت از گیاهان دیگر می‌باشد. در غلات علایم مسمومیت به صورت ظهور رنگ سفید در اطراف برگ‌ها می‌باشد که با افزایش سن گیاه این نشانه‌ها بیشتر می‌شوند (Seppänen *et al.*, 2015). ارزیابی میزان عملکرد دانه می‌تواند به عنوان یک معیار در جهت تعیین غلظت مناسب سلیوم در افزایش مقاومت به کمبود آب به شمار رود به طوری که یک عامل مهم در این راستا می‌تواند تعیین میزان فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدانت باشد (Glover *et al.*, 2014). بررسی اثر محلول پاشی سلیوم در زمان‌های متفاوت، در رشد دو گیاه گندم و جو که اولی حساس و دومی نیمه مقاوم به خشکی بود نشان داد تنش خشکی سبب کاهش پتانسیل کل آب برگ و پتانسیل اسمزی هر دو گیاه شده و در نهایت این مسأله منجر به کاهش مقدار فتوسنتز و رشد گیاه می‌گردد به طوری که انجام آبیاری مجدد تا حدودی سبب افزایش پتانسیل کل می‌گردد ولی

سازوکارها می‌توان به سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و سیستم غیردفاعی به‌وسیله مارکرهای شیمیایی نظیر مالون دی‌آلدئید اشاره کرد (Dong *et al.*, 2013). این سیستم شامل سیستم آنزیمی و غیرآنزیمی است. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و گلوکاتایون پراکسیداز در پاکسازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول نقش دارند ولی مالون دی‌آلدئید به صورت عکس عمل کرده و باعث تجمع پراکسید هیدروژن در سلول می‌شود. ادامه این روند سبب افزایش تنفس و سپس آسیب دیدن میتوکندری‌ها و قطعه قطعه شدن آنها شده و در نهایت غشای سلول آسیب دیده و در اثر پارگی غشاء محتویات داخل سلول به بیرون تراوش می‌کند (Solari *et al.*, 2014; Zwer and Klepper, 2014). در پاسخ به افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت افزایش می‌یابد (Reese *et al.*, 2015). اولین آنزیم پاکسازی کننده سوپر اکسید دیسموتاز است که تبدیل رادیکال سوپر اکسید به پراکسید هیدروژن که یک مولکول با خاصیت غیررادیکالی است را بر عهده دارد. پراکسید هیدروژن تولید شده توسط آنزیم کاتالاز و یا گلوکاتایون پراکسیداز تبدیل به آب و اکسیژن می‌شود ولی مالون دی‌آلدئید در این راستا مانع از فعالیت گلوکاتایون پراکسیداز شده و سلول را به سمت زوال می‌برد (Glover *et al.*, 2014). به نظر می‌رسد این آنزیم‌ها و محلول‌پاشی سلنیوم عامل حفاظت کننده گیاه در برابر تنش خشکی محسوب شود. لذا، بررسی پاسخ فیزیولوژیکی محصولات زراعی به سلنیوم ضروری به نظر می‌رسد. بررسی مکانیسم سازگاری به تنش کمبود آب، می‌تواند بینش جدیدی درباره واکنش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت به سلنیوم را در گیاه ایجاد کند و

کاربرد سلنیوم در اوایل گلدهی پتانسیل کل را همانند شاهد افزایش می‌دهد (Boldrin *et al.*, 2014). مطالعات به‌منظور بررسی اثر سلنیوم در مرحله گلدهی بر فاکتورهای متابولیکی در رابطه با عملکرد گندم نشان داد که همراه با کاربرد سلنیوم در اواخر گلدهی پایداری غشای سیتوپلاسمی و همچنین رشد و توسعه سطح برگ به‌طور معنی‌دار نسبت به کاربرد در اوایل گلدهی کاهش می‌یابد (Meriga *et al.*, 2015). غنی‌سازی زراعی محصولات با استفاده از کودهای حاوی سلنیوم یک استراتژی مناسب برای افزایش تحمل به خشکی در گیاهان است. سلنیوم با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه موجب افزایش تحمل تنش می‌شود (Broadley *et al.*, 2015). در شرایط تنش خشکی، سلنیوم دارای نقش مهمی از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و کاهش خسارت سلولی از طریق کاهش مالون دی‌آلدئید تحت تنش خشکی می‌باشد. در مطالعات بسیاری رابطه مستقیمی بین ماده خشک و کاربرد سلنیوم دیده شد و کاربرد سلنیوم مقاومت به تنش خشکی را افزایش داد (Boldrin *et al.*, 2014). در آزمایشی آبیاری کامل با مصرف و عدم محلول‌پاشی سلنیوم و تنش خشکی با مصرف و عدم محلول‌پاشی سلنیوم انجام گرفت. نتایج نشان داد که فتوسنتز خالص در شرایط تنش خشکی کاهش و محلول‌پاشی سلنیوم موجب کاهش تعرق، افزایش فتوسنتز خالص و میزان عملکرد کوانتومی در فتوسیستم دو شد زیرا سلنیوم سیستم دفاعی گیاه و آنتی‌اکسیدانت‌ها را بالا برده و میزان تجمع نشاسته و قندها را افزایش می‌دهد (Glover *et al.*, 2014). گیاهان برای کاهش دادن اثر مخرب گونه‌های اکسیژن فعال (Reactive Oxygen Species- ROS) سازوکارهای متفاوتی دارند. از جمله این

کاشته شد و یک خط جهت تخمین عملکرد، دو خط به عنوان حاشیه و دو خط برای اندازه‌گیری صفات استفاده شد. فواصل بین کرت‌های اصلی در هر تکرار ۱ متر و بین تکرارها ۳ متر و بین هر تیمار یک خط نکاشت در نظر گرفته شد. بذرگندم رقم کرج ۱ از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه و میزان تراکم ۳۰۰ بذر در متر مربع در نظر گرفته شد. کاشت در ۱۰ آبان ماه ۱۳۹۳ انجام و محصول در ۱۰ تیر ماه ۱۳۹۴ برداشت گردید. پس از کرت بندی در زمان کاشت، مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود دی آمونیوم فسفات به‌طور دستی به هر کرت داده شد. برای ارزیابی میزان سلیوم دانه ابتدا ۲۰ عدد دانه از هر تیمار برداشت و در داخل آن (دمای ۷۰ درجه سلسیوس) به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. در مرحله بعد دانه‌ها در کلریدریک اسید شش نرمال حل شده و میزان سلیوم دانه با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله‌ای بر اساس میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک تعیین شد (Yilmaz et al., 1997).

اندازه‌گیری پایداری غشای سیتوپلاسمی (Cytoplasmic Membrane Stability- CMS) یک مرتبه و ۲۰ روز بعد از محلول پاشی سلیوم به روش کومبا و همکاران (Comba et al., 2014) انجام گرفت. جهت تعیین وزن دانه پس از جمع آوری دانه‌ها، از هر کرت دو نمونه ۵۰۰ تایی انتخاب، توزین و مجموع وزن آنها به‌عنوان وزن هزار دانه در نظر گرفته شد. نهایتاً وزن کل اندام‌های هوایی گیاه محاسبه و به عنوان عملکرد بیولوژیکی بر حسب گرم در مترمربع مشخص گردید. پس از برداشت تمام اندام هوایی گیاه از مساحت یک مترمربع دانه‌ها جدا، توزین و عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

مقاومت گیاه را به تنش بهبود بخشید (Comba et al., 2014). هدف از انجام این تحقیق، واکنش گندم کرج ۱ به مصرف سلیوم و بررسی سیستم آنتی‌اکسیدانت در شرایط تنش کمبود آب بود.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ در کرج با مختصات جغرافیایی مکان آزمایش طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۱۲° و ۴۶°، ۴۱° و ۳۲°، ارتفاع از سطح دریا ۱۸۰۰ متر و آب و هوای منطقه نیمه مرطوب انجام شد. نتایج تجزیه خاک در جدول ۱ آورده شده است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا گردید. تیمارهای آبیاری در دو سطح بدون تنش ( $I_1$ ) و قطع آبیاری در اواسط گلدهی (۱۱۰ روز بعد از کاشت) ( $I_2$ ) در کرت اصلی و سلیوم (سدیم سلنات ۵۰ درصد) (جدول ۲) به صورت محلول پاشی در اوایل گلدهی در شش غلظت صفر ( $S_0$ )، ۵ ( $3/12$ ) میکروگرم سدیم سلنات به ازای هر گیاه ( $S_1$ )، ۱۰ ( $6/24$ ) میکروگرم سدیم سلنات به ازای هر گیاه ( $S_2$ )، ۱۵ ( $9/36$ ) میکروگرم سدیم سلنات به ازای هر گیاه ( $S_3$ )، ۲۰ ( $12/5$ ) میکروگرم سدیم سلنات به ازای هر گیاه ( $S_4$ ) و ۲۵ ( $14/62$ ) میکروگرم سدیم سلنات به ازای هر گیاه ( $S_5$ ) گرم در هکتار در کرت فرعی قرار گرفت. محلول پاشی برگ توسط عنصر سلیوم یک مرتبه در مرحله اوایل گلدهی (۱۰ تا ۱۵ درصد گلدهی، ۹۰ روز بعد از کاشت) صورت گرفت. همزمان با قطع آبیاری، تیمارهای تنش به‌وسیله داربست و نایلون محصور شدند تا از ورود آب به کرت در اثر بارندگی احتمالی جلوگیری به عمل آید. در هر کرت فرعی برای هر تیمار سلیوم بذورگندم در ۵ خط به طول ۵ متر با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و روی خطوط به فاصله ۲ سانتی‌متر

نرمال کاهش یافت. محلول پاشی گیاه توسط عنصر سلینیوم در غلظت مطلوب (۲۰ گرم در هکتار) باعث افزایش ۳۸ درصدی عملکرد (۲۶۳۸/۴۹ کیلوگرم در هکتار) و در غلظت ۲۵ گرم در هکتار باعث کاهش ۱۱/۵ درصدی عملکرد دانه تحت شرایط تنش نسبت به شاهد (۱۶۲۵/۴۹ کیلوگرم در هکتار) شد. همچنین، در شرایط نرمال، سلینیوم در غلظت ۲۰ گرم در هکتار میزان عملکرد را نسبت به شاهد در حدود ۲۱ درصد و معادل نصف شرایط تنش افزایش داد (شکل ۱). گزارش شده است سلینیوم در شرایط تنش اثر خود را بیشتر اعمال می‌کند (Kapolna *et al.*, 2013) و افزایش عملکرد در شرایط تنش تحت تاثیر سلینیوم عمدتاً به همین عامل مربوط می‌شود. مشخص شده که عملکرد دانه در شرایط خشکی و کم آبی می‌تواند شاخص‌های مناسبی جهت بررسی ژنوتیپ‌ها به کم آبی باشد (Pezzarossa *et al.*, 2014).

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که تغییرات عملکرد دانه هم جهت با میزان سلینیوم انجام می‌شود (Kapolna *et al.*, 2013) به‌طوری که میزان افزایش در تیمارهای سلینیوم  $S_1$  تا  $S_3$  در شرایط نرمال و تنش کم آبی کمتر دیده شد (شکل ۱). گزارش شده است سلینیوم در شرایط کمبود آب اثر خود را به نحو بارزتر از شرایط نرمال نشان می‌دهد (Radic *et al.*, 2015). افزایش حدود ۱۰۰۰ و ۷۷۸ کیلوگرمی عملکرد دانه در تیمار ۲۰ گرم سلینیوم در هکتار (شکل ۱) نسبت به شاهد به‌ترتیب در شرایط تنش و نرمال نشان می‌دهد که سلینیوم در شرایط تنش بیشتر توانسته است همراه با افزایش رشد رویشی موجب افزایش عملکرد و تولید دانه شده که گویای فتوسنتز بیشتر توسط گیاه می‌باشد (Pezzarossa *et al.*, 2014).

برای ارزیابی آنزیم‌ها پس از شستشوی برگ‌ها (۴ برگ برای هر تیمار) حدوداً ۲۰ روز بعد از اعمال تنش، تهیه نمونه به روش پاگلیا و ولنتاین (Paglia and Valentine, 1987) انجام گرفت و فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) به روش هایدون و همکاران (Hyadun *et al.*, 2013) اندازه‌گیری شد. برای گلوکاتایون پراکسیداز (GPX) تهیه نمونه بر اساس روش لی و کیم (Lee and Kim, 2001) انجام و اندازه‌گیری به روش دیزی و همکاران (Dazy *et al.*, 2008) انجام گرفت. برای تعیین فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) تهیه نمونه بر اساس روش لی و کیم (Lee and Kim, 2001) و اندازه‌گیری به روش دیزی و همکاران (Dazy *et al.*, 2008) انجام گرفت. مقدار مالون دی‌آلدئید (MDA) با روش پزاروزا و همکاران (Pezzarossa *et al.*, 2014) اندازه‌گیری شد.

پس از برداشت تمام اندام هوایی گیاه از مساحت یک مترمربع دانه‌ها جدا، توزین و عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه واریانس کلیه صفات مورد بررسی به‌وسیله نرم‌افزار SAS (ویرایش ۹/۱) انجام شد و میانگین داده‌ها بر اساس آزمون چند لمانه‌ای دانکن مقایسه شدند.

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مورد بررسی نشان داد که اثر سلینیوم و تیمارهای آبیاری و اثرات متقابل تیمارهای مورد بررسی در فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت و مالون دی‌آلدئید معنی‌دار بود (جدول ۳).

### عملکرد دانه

بر اساس نتایج به‌دست آمده عملکرد دانه در شرایط تنش در حدود ۴۵ درصد نسبت به شرایط

۳۹/۸۸ گرم در تیمار S<sub>4</sub> (حدود ۱۱ گرم افزایش نسبت به شاهد) در شرایط تنش اشاره کرد ولی با افزایش میزان سلیوم به ۲۵ گرم در هکتار (S<sub>5</sub>) وزن هزار دانه به ۲۶/۵۲ گرم کاهش پیدا کرد. این مقادیر در شرایط نرمال به ترتیب برای شاهد ۴۰/۳۱ گرم، تیمار S<sub>4</sub>، ۴۵/۹۴ گرم (حدود ۵/۶ گرم افزایش) و در S<sub>5</sub>، ۳۶/۹۸ گرم بود. به عبارت دیگر اثر سلیوم در شرایط تنش نسبت به نرمال به خصوص در تیمار ۲۰ گرم سلیوم در هکتار بیشتر بود (شکل ۲). بنابراین، در پژوهش حاضر نیز احتمالاً کاربرد سلیوم از طریق تحریک رشد ریشه، افزایش جذب آب ریشه‌ها و فراهمی بالاتر رطوبت خاک موجب افزایش بیشتر وزن دانه در شرایط تنش کم آبی نسبت به شرایط نرمال شد و این میزان افزایش در غلظت ۲۰ گرم در هکتار مشهودتر بود. گزارش شده است که سلیوم دارای قابلیت تنظیم وضعیت آب گیاه تحت شرایط تنش خشکی می‌باشد و اثرات محافظتی این عنصر در شرایط تنش از طریق افزایش ظرفیت جذب آب توسط سیستم ریشه حادث می‌شود (Kapolna *et al.*, 2013).

گزارش شده است استفاده از سلیوم، ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت نگهداری آب در خاک و جذب و انتقال عناصر در گیاه افزایش می‌یابد (Boldrin *et al.*, 2014). مراحل نمو زایشی مانند گلدهی، گرده افشانی و پر شدن دانه‌ها حساس‌ترین مراحل به تنش خشکی می‌باشند لذا هرگونه کاهش در تأمین آب سبب کاهش جذب عناصر شده و منجر به کاهش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و انتقال آنها به دانه‌ها می‌شود (Scharf *et al.*, 2015). اثر مثبت سلیوم بر وزن دانه می‌تواند به افزایش فراهمی نیتروژن و جلوگیری از آب‌شویی آن نسبت داده شود

گلوور و همکاران (Glover *et al.*, 2014) در آزمایشی مشاهده نمودند در شرایط تنش رطوبتی با مصرف ۲۰ گرم سلیوم در هکتار، عملکرد دانه نسبت به شرایط نرمال بیشتر شد، آنها این امر را به قابلیت مقادیر بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و خنثی کردن اثر مالون دی‌آلدئید برای استخراج آب از خاک و وجود ذخایر بیشتر اسیمبالات‌ها در ساقه در دوران پر شدن دانه در شرایط کمبود آب را به سلیوم نسبت داده و اظهار داشتند این شرایط در غلظت بحرانی سلیوم (۲۰ گرم در هکتار) به وقوع می‌پیوندد. پس طبیعی به نظر می‌رسد که در غلظت‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۵ گرم سلیوم در هکتار نسبت به تیمار ۲۰ گرم در هکتار عملکرد دانه روند کاهشی به خود بگیرد (شکل ۱). نکته مهم معنی‌دار شدن اثر متقابل ۱۵ و ۲۰ گرم سلیوم در هکتار است (جدول ۳). به عبارت دیگر معنی‌دار شدن مقادیر سلیوم گویای این حقیقت است که اسیدهای چرب و لیپیدها حساسیت زیادی به اکسیژن دارند و به سرعت اکسید می‌شوند ولی سلیوم در غلظت مناسب این روند را به تاخیر می‌اندازد (Kharel *et al.*, 2015).

### وزن هزار دانه

در یک بررسی اثر غلظت سلیوم در مرحله گلدهی بر فاکتورهای متابولیکی (تبدیل دهیدروژناز به ترانس آمیناز و سپس تیروزین) در رابطه با پتانسیل عملکرد گندم نتایج نشان داد که غلظت سمی سلیوم به‌طور معنی‌دار وزن دانه را کاهش می‌دهد کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله و همچنین کاهش رشد و در نهایت، کاهش معنی‌دار ماده خشک کل را سبب گردید (Hajiboland and Keivanfar, 2014). بنابراین، در این راستا می‌تواند به افزایش وزن دانه از ۲۸/۱۶ گرم در شاهد به

نموده و باعث غلیظ شدن و بالا رفتن هدایت الکتریکی محلول می‌شود (Waraich et al., 2014). بدین ترتیب هر چه مایع غلیظتر باشد آن تیمار مقاومت کمتری نسبت به کمبود آب دارد (Seppänen et al., 2015). پس اعداد به دست آمده در جدول ۴ عمدتاً به این نکته اشاره دارد. محلول پاشی برگ توسط عنصر سلنیوم میزان نشت یون از دیواره غشای سیتوپلاسمی چه در شرایط تنش و چه در شرایط نرمال نسبت به شاهد را کاهش داد.

هدایت الکتریکی ۸۷۱/۳۹، ۸۴۶/۵۹، ۷۶۱/۸۸، ۶۸۹/۲۲ و ۱۱۰۱/۷۷ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر در شرایط نرمال و ۱۴۱۱/۶۰، ۱۷۲۶/۴۸، ۱۴۷۶/۳۰، ۹۴۹/۳۷ و ۱۹۹۵/۲۷ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر در شرایط تنش به ترتیب در تیمارهای  $S_1$  تا  $S_5$  تحت تاثیر سلنیوم بود. همانطور که مشاهده می‌شود در شرایط تنش میزان هدایت الکتریکی در تیمارهای  $S_0$ ، ۱۸۶۷/۴۶ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر در شرایط تنش و در شرایط نرمال ۹۱۵/۷۶ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر بود به عبارت دیگر میزان نشت یون از دیواره غشای سیتوپلاسمی در شرایط تنش در حدود ۵۱ درصد افزایش یافته است (جدول ۴). محلول پاشی برگ توسط عنصر سلنیوم میزان نشت یون از دیواره غشای سیتوپلاسمی چه در شرایط تنش و چه در شرایط نرمال نسبت به شاهد را کاهش داد و هدایت الکتریکی از ۸۷۱/۳۹ تا ۱۱۰۱/۷۷ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر در شرایط نرمال و از ۱۴۱۱/۶۰ تا ۱۹۹۵/۲۷ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر در شرایط تنش به ترتیب در تیمارهای  $S_1$  تا  $S_5$  تحت تاثیر سلنیوم بود. این اعداد نشان می‌دهند که سلنیوم نشت یون از دیواره سلول را کاهش داده است. گزارش شده که سلنیوم قادر است از

(Reese et al., 2015). در نتیجه افزایش وزن دانه را می‌توان به اثرات بهبود دهنده سلنیوم در گیاه نسبت داد.

### غلظت سلنیوم دانه

غلظت سلنیوم شاخص مناسبی به منظور تعیین پتانسیل عملکرد غلات می‌باشد (Radic et al., 2015). توانایی گیاه برای جذب آب از عمق زمین و بی‌نیاز بودن آن از آب باران در نواحی خشک، یک مزیت به شمار می‌آید به طوری که سلنیوم این مزیت را به حداکثر می‌رساند (Pezzarossa et al., 2014). افزایش غلظت سلنیوم در دانه و بروز حالت آلودگی سلنیوم منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه می‌گردد که این امر در شرایط کمبود آب تشدید می‌گردد و این یک عامل مهم برای رسیدن میزان سلنیوم دانه از ۰/۳۴ در شاهد به ۰/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک در  $S_4$  در شرایط تنش می‌باشد (شکل ۳). به نظر می‌رسد افزایش محتوای سلنیوم دانه تحت شرایط تنش کم آبی به دلیل واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد و در نتیجه تخریب اسید آمینه، موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین و در نتیجه کاهش سنتز پروتئین و همچنین تجمع اسیدهای آمینه آزاد از جمله پرولین مرتبط باشد (Boldrin et al., 2014).

### هدایت الکتریکی

در اثر تنش کم آبی دیواره سلولی تخریب شده و مایع سلولی و واکوئلی به داخل محیطی تراوش نموده و باعث غلیظ شدن و بالا رفتن هدایت الکتریکی محلول می‌شود (Waraich et al., 2014). بدین ترتیب هر چه مایع غلیظتر باشد نشانه آن است که سلول‌های بیشتری تخریب شده و در اثر تنش کم آبی دیواره سلولی تخریب شده و مایع سلولی و واکوئلی به فضای بین سلولی تراوش

هکتار) در هنگام مواجه شدن با تنش کم آبی از طریق افزایش پایداری غشای سیتوپلاسمی و کاهش میزان مالون دی‌آلدئید مقاومت به خشکی را در خود افزایش دهد. مطالعات نشان می‌دهند کاهش رطوبت قابل دسترس خاک از ۱۰۰ به ۲۵ درصد موجب افزایش دو برابری در انباشتگی کربوهیدرات‌های محلول در برگ می‌شود که نقش مهم این ترکیبات را در ایجاد مقاومت به کم آبی اثبات می‌کند به این ترتیب که سلیوم قادر است از طریق افزایش پایداری غشای سیتوپلاسمی و کاهش مالون دی‌آلدئید موجب افزایش تشکیل قندهای محلول گردد که احتمالاً علاوه بر تحریک رشد عمومی و حمایت از رشد طولی ریشه در حفظ تعادل آبی مؤثر بوده است (Pukacka et al., 2014; Zwer and klepper, 2014). کاهش نشاسته در برگ‌ها تحت تأثیر سلیوم باعث سوق دادن مسیر سازوکار کربوهیدرات‌ها به سمت قندهای محلول شده به طوری که در حفظ تعادل آبی و حمایت از رشد جاری مؤثرتر از نشاسته عمل می‌کند (Glover et al., 2014; Ros et al., 2014). همچنین، پتانسیل اسمزی گیاهان در شرایط تیمار همزمان خشکی و سلیوم کمتر از سایر ترکیب‌های تیماری بود که نشان‌دهنده افزایش جذب آب همزمان با افزایش انباشتگی قندهای محلول بوده و این پاسخ با افزایش قابل توجه در طول ریشه و سطح جذب آب ریشه‌ها تحت تأثیر سلیوم همراه بود. لذا چنین استنباط می‌گردد افزایش پایداری غشای سیتوپلاسمی و کاهش مالون دی‌آلدئید در شرایط کم آبی (جدول ۴) به همین عامل مربوط می‌شود (Ros et al., 2014).

#### آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که تنش کم آبی سبب القای پاسخ‌های فیزیولوژیکی و فعال‌سازی

قطعه قطعه شدن میتوکندری در اثر کمبود آب و کنترل فرآیند تنفس تا حدودی مؤثر باشد و این فرآیند قادر است از تخریب غشای سلول و افزایش هدایت الکتریکی جلوگیری کند (Seppänen et al., 2015). لذا کنترل هدایت الکتریکی به وسیله سلیوم در این تحقیق منطقی به نظر می‌رسد.

#### مالون دی‌آلدئید

مقدار مالون دی‌آلدئید ۸/۵۱، ۷/۸۹، ۶/۷۱، ۵/۴۴ و ۶/۸۹ نانومول بر میلی‌گرم پروتئین برگ در شرایط نرمال و ۱۳/۲۸، ۱۲/۷۴، ۱۱/۰۵، ۹/۳۲ و ۱۳/۲۱ نانومول بر میلی‌گرم پروتئین برگ در شرایط تنش به ترتیب در تیمارهای S<sub>1</sub> تا S<sub>5</sub> تحت تأثیر سلیوم بود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان هدایت الکتریکی و مالون دی‌آلدئید در غلظت مطلوب سلیوم (۲۰ گرم در هکتار) در شرایط نرمال و تنش به‌طور معنی‌دار کاهش نشان داده است (جدول ۴). پس می‌توان این چنین استنباط کرد که گیاه می‌تواند تحت تأثیر غلظت بحرانی سلیوم در شرایط محلول‌پاشی (۲۰ گرم در هکتار) در هنگام مواجه شدن با تنش کم آبی از طریق افزایش پایداری غشای سیتوپلاسمی و کاهش میزان مالون دی‌آلدئید مقاومت به خشکی را در خود افزایش دهد. همچنین، میزان مالون دی‌آلدئید از ۸/۵۱ به ۶/۸۹ نانومول بر میلی‌گرم پروتئین برگ در شرایط نرمال و ۱۳/۲۸ و ۱۳/۲۱ نانومول بر میلی‌گرم پروتئین برگ در شرایط تنش در تیمارهای S<sub>1</sub> و S<sub>5</sub> بود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان هدایت الکتریکی و مالون دی‌آلدئید در غلظت مطلوب سلیوم (۲۰ گرم در هکتار) در شرایط نرمال و تنش به‌طور معنی‌دار کاهش نشان داده است (جدول ۴). پس می‌توان این چنین استنباط کرد که گیاه می‌تواند تحت تأثیر غلظت بحرانی سلیوم در شرایط محلول‌پاشی (۲۰ گرم در



احتمالاً تحت تاثیر سلیوم در شرایط کم آبی سوپراکسید دیسموتاز مانع از تخریب میتوکندری، گلوکاتیون پر اکسیداز سبب هضم رادیکال‌های آزاد اکسیژن و کاتالاز اثر مالون دی‌آلدئید را تا حدودی خنثی می‌کند (Chen *et al.*, 2014).

در شرایط غلظت سمی سلیوم دلیل افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را می‌توان به تجمع رادیکال اکسیژن در مرحله رشد زایشی و کاهش جذب آب و املاح و در نتیجه کاهش فتوسنتز برگ و تولید شیره پرورده نسبت داد. این وضعیت موجب از بین رفتن اندام‌های زایشی و در نتیجه افزایش آسیب پذیری برگ در شرایط کم آبی گردید. در بررسی اثر تیمارهای سلیوم بر روی عملکرد ارقام گندم مشاهده شد که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در شرایط تنش سلیوم همانند عملکرد دانه کاهش یافتند ولی میزان این عنصر در غلظت بحرانی به‌عنوان یک عامل جبران کننده در این راستا تلقی می‌گردد (Waraich *et al.*, 2014).

تنظیم اسمزی، محافظت از ماکرومولکول‌های سلولی، ذخیره نیتروژن، ثابت نگه داشتن pH سلول، سمیت‌زدایی سلول‌ها و مهار رادیکال آزاد جزو اعمال پیشنهادی برای تجمع آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت تحت شرایط تنش‌های محیطی محسوب می‌شوند (Holland and Schepers, 2014; Scharf *et al.*, 2014). همچنین، سلیوم اکسیداسیون فسفولیپیدها و پروتئین‌ها را در غشای سلولی کاهش می‌دهد که اثر تخریبی ROS را کاهش داده و منجر به افزایش مقدار پروتئین می‌شود. به علاوه پاسخ به سمیت سلیوم منجر به اثر آن بر سازوکار گیاه شده (Bogale *et al.*, 2014) و در پاسخ سازگاری گیاه به تنش کم آبی نقش بازی می‌کند. پروتئین‌ها به‌وسیله اتصال به سلیوم باعث کاهش دخالت این عنصر در

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در برگ شده است. میزان سلیوم در فرآیند محلول‌پاشی روی برگ اغلب برای ارزیابی اثر تنش‌های محیطی از جمله کم آبی تعیین می‌شود (Radic *et al.*, 2015). میزان سوپراکسید دیسموتاز، گلوکاتیون پراکسیداز و کاتالاز در برگ یک فرآیند وابسته به رادیکال‌های آزاد است. رادیکال‌های آزاد اکسیژن به اسیدهای چرب غیراشباع حمله کرده، در نتیجه منجر به تغییر ساختار و عمل غشای و در نهایت شکل‌گیری تولیدات سنتزی مانند آلدئیدها می‌شود (Meriga *et al.*, 2015).

طبق نتایج این تحقیق در برگ‌های تحت تنش محتوی سوپر اکسید دیسموتاز (۶۸۰/۲۴)، ۷۳۹/۶۶، ۸۰۴/۹۱، ۸۵۹/۹۷ و ۸۴۷/۰۸ واحد بر گرم پروتئین برگ)، گلوکاتیون پراکسیداز (۱۹/۴۴)، ۲۳/۷۹، ۲۸/۸۵، ۳۲/۹۴ و ۲۷/۰۸ واحد بر گرم پروتئین برگ) و کاتالاز (۱۹۵/۷۹)، ۲۱۷/۲۵، ۲۶۱/۹۳، ۲۹۹/۸۰ و ۲۵۱/۴۶ واحد بر گرم پروتئین برگ) در غلظت‌های متفاوت سلیوم ( $S_1$  تا  $S_5$ ) افزایش قابل توجهی نسبت به شاهد، ۵۹۱/۷۸ واحد بر گرم پروتئین برگ برای سوپراکسید دیسموتاز، ۱۶/۹۶ واحد بر گرم پروتئین برگ برای گلوکاتیون پراکسیداز و ۱۶۳/۹۶ واحد بر گرم پروتئین برگ برای کاتالاز نشان داد (جدول ۴). یعنی در برگ تیمارهای تحت تنش محتوی سوپر اکسید دیسموتاز ۱۹/۷٪، گلوکاتیون پراکسیداز ۲۸/۲۲٪ افزایش و کاتالاز ۲۲/۱۴٪ در غلظت‌های متفاوت سلیوم ( $S_1$  تا  $S_5$ ) افزایش یافت. این میزان افزایش در غلظت سمی سلیوم (۲۵ گرم در هکتار) به حداکثر رسید که نشان دهنده ایجاد تنش در گیاه در این غلظت از سلیوم و کاهش مقاومت گیاه تحت این شرایط بود. می‌توان چنین استنباط کرد

### نتیجه‌گیری کلی

مصرف سلیوم به صورت محلول پاشی موجب افزایش آنتی اکسیدان‌ها و کاهش فعالیت رادیکال‌های آزاد در گیاه می‌شود، این عمل به نوبه خود موجب افزایش پایداری غشای سلولی و بهبود پتانسیل آبی گیاه و در نهایت افزایش عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش کمبود آب می‌گردد. تأثیر سلیوم در شرایط تنش بر روی گیاه گندم بیشتر شرایط آبی بوده است و با توجه به شرایط آب و هوایی و خاک مورد آزمایش مقدار ۲۰ گرم در هکتار می‌تواند مفید باشد.

متابولیسم گیاه در شرایط تنش شده و در نتیجه سبب سازگاری بیشتر گیاه به تنش در غلظت‌های بالاتر از ۱۰ گرم در هکتار می‌شوند (Broadley *et al.*, 2015; Solari *et al.*, 2014). بنابراین، تغییرات صفات مورد مطالعه تحت تاثیر غلظت‌های متفاوت سلیوم در این تحقیق ناشی از عوامل ذکر شده می‌باشد (جدول ۴). پس این استنباط به وجود می‌آید که افزایش آنزیم‌های آنتی اکسیدانت یک عامل مهم در کاهش میزان رادیکال‌های آزاد اکسیژن تحت تاثیر سلیوم باشد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 1- Physical and chemical traits in experimented soil

عمق خاک	بافت خاک	هدایت الکتریکی	اسیدیته	کلسیم	منیزیم	روی	مس	منگنز	سلیوم	پتاسیم	فسفر	نیتروژن آلی	مواد آلی
Soil depth (cm)	Soil texture	EC ds / m	pH	Ca meq/l	Mg meq/l	Zn mg / kg	Cu mg / kg	Mn mg/ kg	Se mg/ kg	K mg/ kg	P mg/ kg	N %	OM %
0-30	Silty loam	1.37	7.35	40	10	1.96	0.64	5.72	0.15	392	16	0.172	3.44

جدول ۲- مشخصات سدیم سلنات مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Useable Sodium selenate traits in experiment

نام شرکت	نیتروژن آلی	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	مس	روی	اسیدیته	سدیم سلنات
Name of organization	Organic N %	P%	K%	Fe%	Mn%	Cu%	Zn%	pH	Sodium Selenate (50%)
Humi Tech Germany	4.2	2.8	0.78	0.51	0.53	0.47	0.71	6.43	90

## جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد نظر

Table 3- Analysis of variance in studied traits

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات		Mean square	
		مالون دی آلدئید MDA	گلوکاتیون پر اکسیداز GPX	سوپر اکسید دیسموتاز SOD	کاتالاز CAT
Replication تکرار	3	178.31 <sup>ns</sup>	125.64 <sup>ns</sup>	23.88 <sup>ns</sup>	29.66 <sup>ns</sup>
Irrigation آبیاری	1	3502.26**	4779.04**	7412.67**	2661.19**
Error خطا	3	288.45	311.79	249.18	207.32
Selenium سلنیوم	5	4155.79**	4368.17**	6659.41**	4551.78**
سلنیوم×آبیاری	5	2462.38**	2918.99**	4547.13**	2856.25**
Irrigation×Selenium	5	2462.38**	2918.99**	4547.13**	2856.25**
Error خطا	30	205.89	230.47	479.36	487.55
ضریب تغییرات C.V. (%)		5.84	6.12	6.79	8.71

ns و \*\*: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۱٪

ns and \*\*: not-significant and significant at 1% probability level respectively

## ادامه جدول ۳

Table 3- Continued

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات		Mean square	
		میزان سلنیوم دانه selenium grain rate	پایداری غشاء سلول CMS	وزن هزار دانه Thousand grain weight	عملکرد دانه Grain yield
Replication تکرار	3	248.15 <sup>ns</sup>	38.25 <sup>ns</sup>	98.11 <sup>ns</sup>	14.23 <sup>ns</sup>
Irrigation آبیاری	1	3202.78**	1078.50**	2445.74**	1725.48**
Error خطا	3	389.11	195.51	142.69	71.25
Selenium سلنیوم	5	4329.25**	2645.69**	3468.27**	2512.36**
سلنیوم×آبیاری	5	1744.38**	1361.01**	15395.5**	1697.44**
Irrigation×Selenium	5	1744.38**	1361.01**	15395.5**	1697.44**
Error خطا	30	248.66	98.46	178.41	205.92
ضریب تغییرات C.V. (%)		7.94	6.39	5.43	7.02

ns و \*\*: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۱٪

ns and \*\*: not-significant and significant at 1% probability level respectively

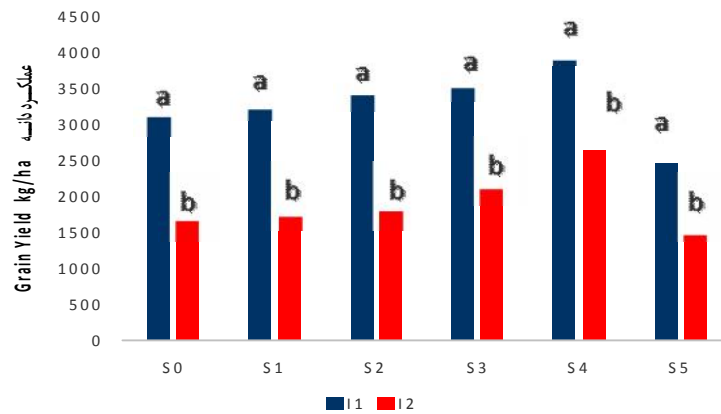
جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل کمبود آب × سلیوم بر صفات مورد مطالعه گندم

Table 4- Mean comparisons of water deficit × selenium interaction on wheat traits studied

تیمار Treatment	پایداری غشاء سلول CMS (ds/cm)	کاتالاز Catalase (unit/g pro)	سوپر اکسید دیسموتاز SOD (unit/g pro)	گلوتاتیون پراکسیداز اکسیداز GPX (unit/g pro)	مالون دی آلدئید MDA (nmol/mg pro)
I <sub>1</sub> ×S <sub>0</sub>	915.76e	131.87e	459.75e	11.78e	9.32de
I <sub>1</sub> ×S <sub>1</sub>	871.39ef	147.12d	526.89d	13.92d	8.51e
I <sub>1</sub> ×S <sub>2</sub>	846.59ef	171.55c	578.33cd	16.48cd	7.89ef
I <sub>1</sub> ×S <sub>3</sub>	761.88f	194.49bc	631.99c	19.13c	6.71f
I <sub>1</sub> ×S <sub>4</sub>	689.22fg	212.89b	701.36bc	22.78b	5.44g
I <sub>1</sub> ×S <sub>5</sub>	1101.77de	157.28cd	558.23cd	15.89cd	6.89f
I <sub>2</sub> ×S <sub>0</sub>	1867.46ab	163.96cd	591.87cd	16.96cd	14.79a
I <sub>2</sub> ×S <sub>1</sub>	1411.60c	195.79bc	680.24c	19.44c	13.28ab
I <sub>2</sub> ×S <sub>2</sub>	1726.48b	217.25b	739.66b	23.79b	12.74b
I <sub>2</sub> ×S <sub>3</sub>	1476.30c	261.93ab	804.91ab	28.85ab	11.05c
I <sub>2</sub> ×S <sub>4</sub>	949.37e	299.80a	859.97a	32.94a	9.32de
I <sub>2</sub> ×S <sub>5</sub>	1995.27a	251.46ab	847.08a	27.08ab	13.21ab

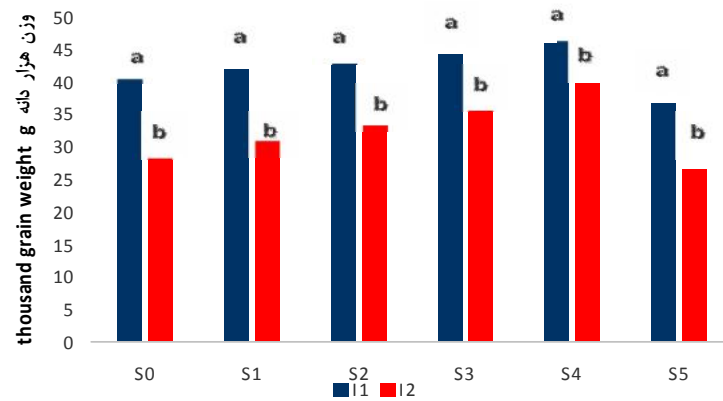
در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه نیستند بر اساس آزمون دانکن ( $\alpha=0.05$ ) با همدیگر اختلاف معنی‌دار دارند.

Means in each column followed by different letter (s) are significantly different at 5% probability level, using Duncan's Test.



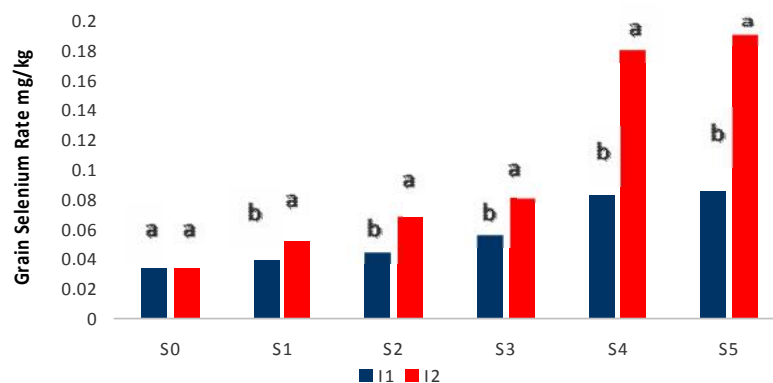
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آبیاری و سلینیوم بر عملکرد دانه

Figure 1- Comparison interaction of irrigation treatments and selenium on grain yield



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آبیاری و سلینیوم بر وزن هزار دانه

Figure 2- Comparison interaction of irrigation treatments and selenium on thousand grain weight



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آبیاری و سلینیوم بر میزان سلینیوم دانه

Figure 3- Comparison interaction of irrigation treatments and selenium on selenium grain rate

بدون تنش (I<sub>1</sub>), قطع آبیاری در اواسط گلدهی (I<sub>2</sub>)

Without stress (I<sub>1</sub>), Irrigation cutting off at mid flowering (I<sub>2</sub>)

## References

## منابع مورد استفاده

- Bogale, A., K. Tesfaye, and T. Geleto. 2014. Morphological and physiological attributes associated to drought tolerance of Ethiopian durum wheat genotypes under water deficit condition. *Environment Science*. 4(2): 150-158.
- Boldrin, P.F., V. Faquin, S.J. Ramos, and L.R.G. Guilherme. 2013. Soil and foliar application of selenium in rice biofortification. *Journal of Food Composition and Analysis*. 31(2): 238-244.
- Broadley, M., P. Brown, I. Cakmak, J.F. Ma, Z. Rengel, and F. Zhao. 2015. Beneficial elements. In: P. Marschner (Ed.) Marschner's mineral nutrition of higher plants, 5nd Edition. Academic Press Inc. pp: 488-504.
- Chen, L.S., Y.P. Iang, L.T. Yang, and G.H. Yang. 2014. Photosynthesis systems of plants in response to selenium toxicity. *African Journal of Biotechnology*. 9: 9237-9247.
- Comba, M.E., M.P. Benavides, and N.L. Tomaro. 2014. Effect of selenium on antioxidant and membrane defense system in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*. 31: 275-286.
- Dazy, M., J. Ferard, and J. Masfarand. 2008. Ecological recovery of vegetation on a coke-factory soil: Role of plant antioxidant enzymes and possible implication in site restoration. *Chemosphere*. 74: 57-63.
- Dong, J.Z., Y. Wang, S.H. Wang, L.P. Yin, and M.Z. Zhanga. 2013. Selenium increases chlorogenic acid, chlorophyll and malondialdehyde of wheat leaves. *Journal Science Food Agriculture*. 93: 310-315.
- Glover, J.D., J. Borevitz, E.C. Brummer, and E.S. Buckler. 2014. Increasing starch and ecosystem security through perennial grain breeding and selenium. *Science* (Washington, DC). 335: 364-379.
- Hajiboland, R., and N. Keivanfar. 2014. Selenium supplementation stimulates vegetative and reproductive growth in wheat plant. *Acta Agriculture Sloven*. 104: 189-201.
- Hayes, R.C., K.M. Murphy, S. Crane, and M.R. Norton. 2012. Perennial cereal crops: An initial assessment of wheat derivatives with selenium. *Field Crops Research*. 133: 68-89.
- Holland, K.H., and J.S. Schepers. 2014. Derivation of a variable rate selenium application model for antioxidants of wheat. *Agronomy Journal*. 108: 847- 861.
- Hyadun, K.R., D.R. Parker, K.D. Tran, and J.T. Trumble. 2013. Effects of selenium accumulation on superoxide dismutase in wheat. *Environment Pollution*. 172: 70-75.
- Kapolna, E., P.R. Hillestrom, K.H.P. Laursen, S. Husted, and E.H. Larsen. 2013. Effect of foliar application of selenium on its uptake and speciation in wheat. *Food Chemistry*. 115: 1357- 1363.
- Kharel, A.E., R. Wilson, and K. Andraws. 2015. Role of selenite and selenate on antioxidant enzymes in cereals. *Chemistry*. 55: 309-318.
- Kumar, M., A.J. Bijo, R.S. Baghe, and C.R.K. Reddy. 2015. Selenium and cadmium induced toxicity in wheat by regulating antioxidant system and DNA methylation. *Plant Physiology Biochemistry*. 59: 441-452

- Lee, D.H., and Y.S. Kim. 2001. The inductive response of the antioxidant enzymes by water deficit stress and selenium in C<sub>4</sub> plants. *Plant Physiology*. 770: 151-174.
- Meriga, B., A. Ediga, and P.B. Kavikishor. 2015. Differential tolerance to selenium toxicity in wheat cultivars: Involvement of antioxidative enzymes and possible role of selenium resistant cell membrane. *Academic Journal of Plant Sciences*. 7: 168-175.
- Murphy, L.A., P.G. Reeves, and S.S. Jones. 2014. Selenium and quality characteristics expressed in wheat breeding lines. *Food Systemic Journal*. 32: 52-63
- Paglia, D.E., and W.N. Valentine. 1987. Studies on quantitative and qualitative traits of glutathione peroxidase. *Journal Lab Medical*. 70: 158-166.
- Pezzarossa, B., F. Gorini, and G. Petruzzelli. 2014. Selenium distribution and bio availability in contaminated sites: dynamics and bioavailability of malondialdehyde in the leaf zone. Taylor and Francis Group. UK pp 93-128.
- Pukacka, S., E. Ratajczak, and E. Kalemba. 2014. The protective role of selenium in recalcitrant wheat seeds subjected to malondialdehyde in response to desiccation. *Journal Plant Physiology*. 176: 478-490.
- Radic, S., M. Babic, D. Skobic, and B. Pevalek-Kozlina. 2015. Effects of selenium foliar and antioxidants in wheat ecotoxicology. *Environmental Safety*. 82: 563-572.
- Reese, C., D. Long, D. Clay, S. Clay, and D. Beck. 2015. Antioxidants and water stress impact oxygen radicals on red spring wheat. *Journal of Terrestrial Observations*. 5: 106-114.
- Ros, G.H., M.C. Hanegraaf, and W.H. van Riemsdijk. 2014. Predicting soil N mineralization: relevance of organic matter fractions and soil properties on selenium accumulation. *Soil Biochemistry*. 54: 951-964.
- Scharf, P.C., D.K. Shannon, and N.R. Latchern. 2015. Sensor based selenium application producer chosen rates on wheat demonstrations. *Agronomy Journal*. 107: 445-458.
- Seppänen, M.M., J. Kontturi, J. Madrid, and H. Hartikainen. 2015. Agronomic biofortification of wheat with selenium enrichment and its identification in Brassica seeds and meal. *Plant Soil*. 340: 501-510.
- Solari, F., R.B.F. Erguson, and V.I. Adamchuk. 2014. An active sensor algorithm for Se applications based on a cell membrane sufficiency index framework to malondialdehyde. *Agronomy Journal*. 106: 745-755.
- Tabrizi, A.A., G. Nour Mohammadi, and H.R. Mobasser. 2015. Effects of different cropping systems on fertility of paddy soil. *Journal of Crop Ecophysiology*. 9(2): 191-202. (In Persian).
- Waraich, E.A., R. Amad, M.Y. Ashraf, and M. Ahmad. 2014. Improving agricultural by cytoplasmic membrane stability by selenium management. *Acta Agriculture Scandinavica*. 65: 74-86.
- Yilmaz, A., H. Ekiz, B. Torun, and I. Cakmak. 1997. Effect of different selenium concentration in wheat seed cultivars grown on water deficient in calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition*. 20: 461- 471.
- Zwer, P.K., and B. Klepper. 2012. Malondialdehyde activity due selenium and destroy of membrane in crops. *Crop Science*. 210: 1905-1911.

## Wheat Response (*Triticum aestivum* L.) to Selenium under Normal Irrigation and Water Deficit Conditions

Mohammad Reza Dadnia<sup>1\*</sup>

Received: July 2017, Revised: 13 February 2018, Accepted: 17 April 2018

### Abstract

To evaluate the effect of selenium (from sodium selenate) on increasing efficiency at water deficit condition a research was conducted in Karaj 1 wheat cultivar in 2014-2015 cropping year with split plot based on completely randomized block design with four replications in Karaj. Irrigation treatments with two levels, normal ( $I_1$ ) and interruption of irrigation at mid flowering (110 days after planting) ( $I_2$ ), which were assigned to main plots and selenium foliar application with six concentrations: 0 ( $S_0$ ), 5 (3.12 micro g.) ( $S_1$ ), 10 (6.24 micro g.) ( $S_2$ ), 15 (9.36 micro g.) ( $S_3$ ), 20 (12.5 micro g.) ( $S_4$ ) and 25 (15.62 micro g.) of sodium selenate per plant ( $S_5$ )  $g \cdot ha^{-1}$  to sub plots. The results showed that water deficit increased the rate of superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase and malondialdehyde marker. Foliar application of selenium, increased contents of antioxidant (anti oxidation) enzymes under stress condition and was maximum in 20 g. selenium per  $ha^{-1}$ . Content of malondialdehyde was decreased and caused significant increase in grain yield. Increasing antioxidants and reduction of malondialdehyde at normal condition was lower. On the other hand, negative effect of malondialdehyde on yield components, cellular membrane stability and antioxidant enzymes at humidity stress condition was higher than normal condition. Significant increase of cytoplasmic membrane stability, grain yield, grain weight and selenium content of seed was obtained when 15 and 20 g. selenium  $ha^{-1}$  were used as compared with those of higher and lower rates of selenium usage under water deficit and normal irrigation. Suppression of free oxygen radicals, and enzyme induction defense mechanisms against oxidative damage has been effective. Therefore, use of exogenous compounds such as selenium may increase the antioxidant capacity of plant against stress.

**Key words:** Malondialdehyde, Selenium, Water deficit, Wheat.

1- Assistant Prof., Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

\* Corresponding Author: rezadadnia@yahoo.com