تاثیر شوری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و غلظت مالون‌دی‌آلدئید در دو رقم بذر گندم نان

مریم گودرزیان قهفرخی*[1]، بابک درویشی[2]، الهه قاسمی[3]

[1] دانشجوی دکتری زراعت و فیزیولوژی گیاهان، دانشگاه شهید چمران اهواز

[2] استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال

[3] دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه ایلام

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۶

چکیده

ارزیابی مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی به‌ویژه در زمان جوانه‌زنی و استقرارنقش مهمی در انتخاب ارقام مناسب برای کشت در شرایط ناپایدار محیطی دارد.در این پژوهش ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر و تغییرات آنزیمی دو رقم گندم در سطوح مختلف تنش شوری مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اول دو رقم گندم به نام‌های چمران و ورناک و فاکتور دوم چهار سطح تنش شوری (صفریا شاهد، ٤٠، ٨٠ و ١٢٠ میلی‌مولار کلریدسدیم) بودند.نتایج نشان داد که افزایش تنش شوری سبب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و کاهش وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و افزایش میزان پراکسیداسیون لیپید شد. مقادیر تمام شاخص‌های جوانه‌زنی مورد مطالعه در رقم ورناک کمتر از رقم چمران بود. فعالیت آنزیم کاتالاز در رقم ورناک در تمامی سطوح شوری کاهش ولی در رقم چمران افزایش یافت. به علاوه فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز در رقم ورناک در تمام سطوح شوری کمتر از رقم چمران بود. بنابراین با افزایش گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش شوری در رقم ورناک، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در سلول به شدت تحت تاثیر قرار گرفت و شاخص‌های جوانه‌زنی در این رقم نسبت به رقم چمران کاهش بیشتریپیدا کردند.

واژگان کلیدی: مالون دی آلدئید، آنزیم‌های آنتی اکسیدانت،گندم، تنش شوری

مقدمه

جوانه‌زنی از مراحل مهم و اساسی در زندگی اکثر گیاهان بوده و تحمل به شوری برای جوانه‌زنی، استقرار و سبز شدن گیاهانی که در شرایط تنش شوری رشد می‌کنند اهمیت فوق العاده‌ای دارد (Tuncturk et al., 2011). از این‌رو بررسی اثر تنش‌های محیطی و نقش آن‌ها در رشد و عملکرد محصولات زراعی بسیار ضروری است. گیاهان زراعی رشد یافته در محیط شور ممکن است به دلیل خواص اسمزی محلول خاک با درجاتی از تنش کم‌آبی و در نتیجه

*نویسنده مسئول: goodarzian98@gmail.com

کاهش سرعت رشد مواجه شوند (Shahid et al., 2011).همچنین ممکن است با ورود مقادیر زیاد نمک به درون گیاه، سلول‌های گیاهی در اثر سمّیت یونی آسیب ببینند (Kafi et al., 2010) و چه‌بسا جذب برخی عناصر از خاک مختل شده و رشد و عملکرد گیاه زراعی به‌دلیل فقر عناصر غذایی تضعیف گردد (Esfandiari et al., 2008). کم شدن پتانسیل آب در محیط ریشه، سمّیت برخی از یون‌ها همانند Na^+ و Cl^- و نیز عدم تعادل عناصر غذایی در بخش هوایی به واسطه برهم خوردن جذب آن از عوامل مهم کاهش رشد گیاهان در این شرایط به‌شمار می‌روند (Sairam et al., 2005). در موارد متعدد نیز گزارش شده است که تنش شوری سبب تضعیف شاخص‌های جوانه‌زنی در اکثر گیاهان می‌شود (Bandeoglu et al., 2004).

احیای ناقص اکسیژن اتمسفری در شرایط تنش شوری، سبب تشکیل فرم‌های فعال اکسیژن (ROS[1]) نظیر رادیکال سوپراکسید، پراکسیدهیدروژن و رادیکال هیدروکسیل می‌شود (Breusegem et al., 2001). فرم‌های فعال اکسیژن بیومولکول‌های حیاتی سلول همانند اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و لیپیدها را اکسیده می‌نمایند (Bybordi and Tabatabaei., 2009). به‌هنگام وقوع تنش، کلروپلاست یکی از مکان‌های اصلی تولید گونه‌های فعال اکسیژن محسوب می‌شود (Dewir et al., 2006). در اثر بسته‌شدن روزنه‌ها نسبت $NADP^+/NADPH, H^+$ در این اندامک به دلیل عدم مصرف H^+ و NADPH جهت تثبیت دی‌اکسیدکربن در چرخه کالوین کاهش می‌یابد. افت نسبت مذکور سبب بسته شدن زنجیره انتقال الکترون کلروپلاست شده و تولید ROS افزایش پیدا می‌کند (Candan and Tarhan., 2003). نخستین محلی که در شرایط تنش توسط گونه‌های فعال اکسیژن مورد آسیب قرار می‌گیرد غشاهای سلولی و اندامک‌ها هستند (Esfandiari et al., 2008). آسیب به غشاها هم بر نفوذپذیری انتخابی آن‌ها اثر منفی می‌گذارد و هم گرادیان الکتروشیمیایی لازم جهت سنتز ATP در کلروپلاست و میتوکندری را متأثر می‌سازد.گیاهان جهت کاهش اثرات سوء تنش اکسیداتیو در طی بروز تنش شوری، از یک سیستم پیچیده دفاعی آنتی‌اکسیدانتی استفاده می‌کنند. از آنتی‌اکسیدانت‌های درگیر در این سیستم که دارای وزن مولکولی کمی هستند می‌توان به کاتالاز (CAT)، آسکوربات پراکسیداز (APX)و پراکسیداز (POX) اشاره کرد. این آنزیم‌ها نقش مهمی در غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول‌های گیاهی دارند. بسته به گونه گیاهی و شدت تنش، میزان فعالیت این آنتی‌اکسیدانت‌هادر گیاهان تغییر می‌کند (Ghaedi and Taghvaei, 2010). در بسیاری از گیاهان زراعی همانند گندم (Esfandiari et al., 2008) وکلزا (Bybordi et al., 2009) بالا رفتن میزان فعالیت این آنزیم‌ها در طی بروز تنش شوری گزارش شده است.

مالون‌دی‌آلدئید یک محصول پراکسیداسیون اسیدهای چرب اشباع نشده در فسفولیپیدها است. از سطح پراکسیداسیون لیپید به عنوان یک شاخص برای ارزیابی میزان رادیکال آزاد مضر تحت شرایط تنش استفاده شده است. بنابراین مالون‌دی‌آلدئید به‌عنوان یک معرف برای بررسی میزان صدمات واردشده به غشاء در شرایط تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد (Israr and Sahi., 2006). البته پراکسیداسیون لیپید در کلروپلاست و میتوکندری هم اتفاق می‌افتد (Jaleel et al., 2007). در زمینه افزایش مالون‌دی‌آلدئید با افزایش تنش شوری گزارش‌های متعددی در ارقام مختلف گندم وجود دارد (Khalesro and Aghaalikhani., 2007). همچنین وجود همبستگی مستقیم بین کاهش غلظت مالون-دی‌آلدئید و افزایش تحمل به تنش شوری در گندم گزارش شده است (Esfandiari et al., 2008).

1- Reactive Oxygen Species

در این پژوهش تلاش شده است ضمن بررسی واکنش جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه‌های دو رقم گندم به سطوح مختلف تنش شوری، دامنه تحمل ارقام نسبت به این عامل محدودکننده از طریق بررسی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی و میزان مالون‌دی‌آلدئیدمورد آزمون قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۳ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکراراجرا شد. تیمارها شامل دو رقم گندم (چمران و ورناک) و چهار سطح شوری (صفر یا شاهد، ٤٠، ٨٠ و ١٢٠ میلی‌مولار کلریدسدیم) بود. بذر ارقام گندم مورد مطالعه از مرکز تحقیقات دیم کشور واقع در کرمانشاه تهیه گردید. بذرهای موردنظر ابتدا با آب مقطر شسته شده و سپس با هیپوکلریت‌سدیم ضدعفونی شدند. پس از شستشوی مجدد با آب مقطر، بذرها در ظروف پتری‌دیش (به قطر ۹ سانتی‌متر و ارتفاع ۱/۵ سانتی‌متر) به روش بین کاغذی قرار گرفتند. برای ایجاد تنش شوری از محلول NaCl (مرک آلمان) با غلظت‌های مربوطه و به میزان ۱۰ میلی‌لیتر در هر پتری‌دیش استفاده شد. سپس ظروف به دستگاه ژرمیناتور با درجه حرارت ۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ٤٥ درصد و شرایط تاریکی منتقل شد (Sairam et al., 2005).

پس از گذشت هفت روز درصد جوانه‌زنی برا اساس روش Belcher & Miller (١٩٧٤) (رابطه ۱) محاسبه شد:

$$P = \left({}^{Ni}/_{Nt}\right) \times 100$$ معادله (۱)

که Ni کل تعداد بذرهای جوانه‌زده در طی یک دوره هفت روزه و N_t کل تعداد بذرها است.

به منظور اندازه‌گیری سرعت جوانه‌زنی از روش Maguire (١٩٦٢) استفاده گردید. که در آن Rs سرعت جوانه‌زنی (تعداد بذر در روز)، Si تعداد بذر جوانه‌زده در هر شمارش، Di تعداد روز در هر شمارش تا شمارش n ام بود.

$$Rs = \sum_{i=0}^{n} \frac{Si}{Di}$$

برای تعیین وزن خشک ریشه‌چه‌ها و ساقه‌چه‌ها، ابتدا نمونه‌ها با آب مقطر شسته شد و پس از جداشدن در دستگاه آون با درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت قرار داده شد. غلظت مالون‌دی‌آلدئیدو فعالیت آنزیم‌های کاتالازو گلوتاتیون‌ریداکتاز در بذر(قبل از مرحله سه جوانه‌زنی) به ترتیب با استناد به روش Heath and Packer (١٩٦٨)، Sinha (١٩٧٢)، Foyer and Halliwel (١٩٨٧) با دستگاه الایزا (Biotek, power wave xs2) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز بر اساس تبدیل آسکوربات به منودهیدروآسکوربات در حضور پراکسیدهیدروژن و به روش Nakano and Asada (١٩٨١) انجام شد.

برای آنالیز آماری داده‌ها از نرم‌افزار MSTAT-C استفاده شد. به‌منظور مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد و برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. نرمال بودن توزیع داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار Minitab آزمون شد و با توجه به نرمال بودن توزیع داده‌ها تبدیلی صورت نگرفت.

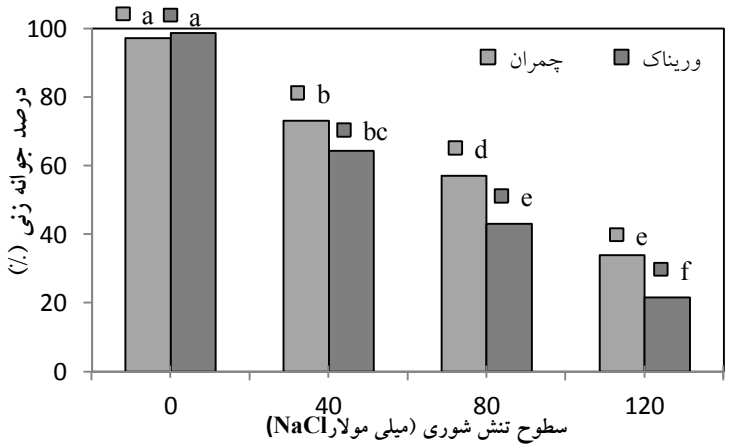
نتایج

در جدول ۱ نشان داده شده است که درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر اثر متقابل رقم × سطح تنش قرار گرفته است. میانگین درصد جوانه‌زنی ارقام مورد مطالعه در سطوح مختلف تنش شوری در شکل ۱ با هم مقایسه شده که با افزایش سطح تنش شوری میانگین درصد جوانه‌زنی در هر دو رقم کاهش یافته‌است. در سطح شوری صفر میلی‌مولار کلرید سدیم میانگین درصد جوانه‌زنی هر دو رقم یکسان و صددرصد بود. در حالی‌که با افزایش میزان شوری محیط و با کاهش درصد جوانه‌زنی ناشی از آن، این کاهش در رقم ورینک بیش از رقم چمران بود. کاهش درصد جوانه‌زنی بذرها با افزایش سطح شوری ممکن است به دلیل اثرات اسمزی و سمیت یونی باشد. شوری سبب کاهش پتانسیل اسمزی شده و میزان آب قابل‌دسترس بذر را کاهش می‌دهد. همچنین یون سدیم سبب اختلالات غشایی و برهم خوردن تنظیمات اسمزی و تعادل عناصر غذایی در بذر می‌شود (Akram et al., 2007) در گیاه سالیکورنیا (Khan & Weber, 1986)، رقم‌های مختلف فلفل (Yeldirim, 2006)، ذرت (Sadat-Noori et al., 2008) و پنبه (Sadiq et al., 2003) نیز کاهش معنی‌دار جوانه‌زنی در اثر تنش شوری گزارش شده است.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر شوری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه

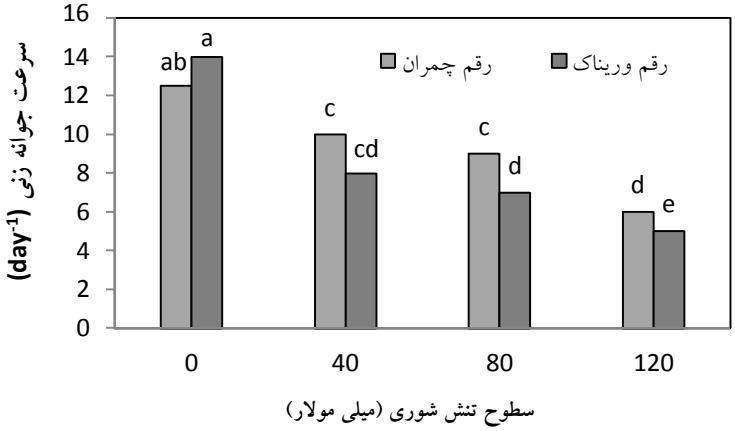
منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		درصد جوانه زنی	سرعت جوانه زنی	وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه
ارقام	۱	۷۰۶۰**	۱۰۵/۵۷**	۰/۰۳۶*	۰/۱۲۷ns
سطوح تنش	۳	۵۵۷/۸**	۲/۳۷۶**	۰/۰۰۲*	۰/۲۲۶**
رقم × تنش	۳	۹۵/۹۲*	۳/۸۵۸*	۰/۰۰۱۷*	۰/۲۷۹**
خطا	۲٤	٤۱/٦٦	۰/۷٦۱	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۲
CV%	-	۱۰/۵۵	۱۰/٤۷	۱۲/۲۳	۱۳/۸۱

*، **و ns به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ۱ درصد و غیر معنی‌دار



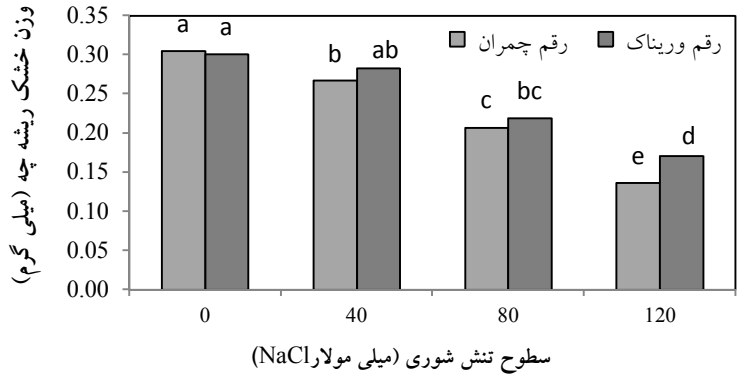
شکل ۱- مقایسه میانگین تغییرات درصد جوانه‌زنی ارقام گندم در سطوح مختلف تنش شوری

اثر متقابل رقم و شوری تأثیر معنی‌داری بر سرعت جوانه‌زنی داشت (جدول ۱). بررسی میانگین سرعت جوانه‌زنی ارقام مورد مطالعه در سطوح مختلف شوری (شکل ۲) نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری میانگین سرعت جوانه‌زنی در هر دو رقم کاهش یافته است. در سطح شوری صفر میلی‌مولار NaCl میانگین سرعت جوانه‌زنی رقم وریناک بیشتر از چمران بود درحالی‌که با افزایش میزان شوری محیط روند کاهش سرعت جوانه‌زنی در رقم وریناک بیشتر بوده و این موضوع باعث شده است که در تمام سطوح تنش شوری میانگین سرعت جوانه‌زنی در رقم چمران بیشتر از رقم وریناک باشد. کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری با کاهش جذب آب توسط بذر در مرحله آبگیری و کاهش تورژسانس ارتباط دارد (Patada et al., 2011). تفاوت ارقام از نظر مقاومت به شوری در مرحله گیاهچه‌ای در گندم دیم (Esfandiari et al., 2008)، نخود (Sairam et al., 2005)،و سورگوم (Netondo et al., 2004) نیز گزارش شده است. در تمام پژوهش‌های یادشده با افزایش تنش شوری درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافته است.

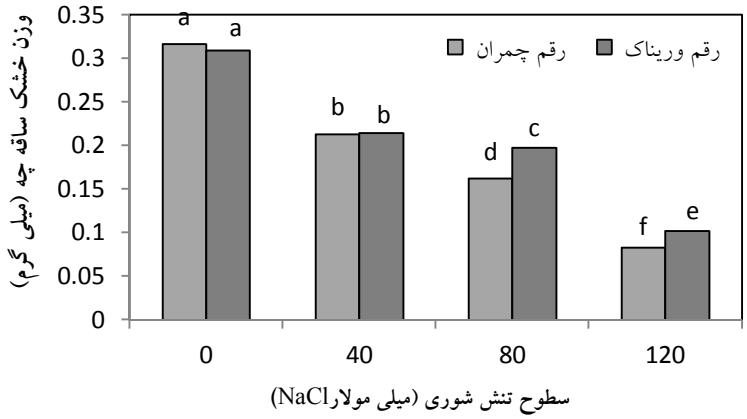


شکل ۲- مقایسه میانگین تغییرات سرعت جوانه‌زنی ارقام گندم در سطوح مختلف تنش شوری

با افزایش غلظت شوری از سطح صفر تا ۱۲۰ میلی‌مولار، وزن خشک ریشه‌چه به شدت تحت تاثیر قرار گرفته است (شکل۳). افزایش تنش شوری باعث کاهش معنی‌داری در وزن خشک ساقه‌چه شد (شکل ٤). نتایج حاصل از مقایسه میانگین وزن خشک ریشه‌چه نشان داد که در هر دو رقم موردمطالعه بیشترین مقدار مربوط به تیمار شاهد و کمترین آن مربوط به تیمار ۱۲۰میلی‌مولار NaCl بوده است. افزایش نمک باعث ایجاد تنش اکسیداتیو در سلول‌ها و پدید آمدن اختلال در اعمال فیزیولوژیکی سلول می‌شود.کاهش وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در اثر افزایش غلظت شوری امری طبیعی بوده و نتایج گزارش شده توسط دیگر پژوهشگران نیز موید این موضوع بوده است (Netondo et al., 2004). تنش شوری به علت ایجاد تنش اسمزی وافزایش غلظت یون‌های سمی منجر به کاهش تورژسانس سلولی و کاهش رشد سلول می‌شود (Okcu et al., 2005).یکی دیگر از دلایلی که برای کاهش وزن ساقه‌چه در شرایط تنش شوری بیان شده است، کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از آندوسپرم به جنین است (Jaleel et al., 2007). کاهش وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در اثر تنش شوری در گیاهان نخود و عدس نیزگزارش شده است (Kafi et al., 2010).



شکل ۳- مقایسه میانگین تغییرات وزن خشک ریشه‌چه ارقام گندم در سطوح مختلف تنش شوری



شکل ٤- مقایسه میانگین وزن خشک ساقه‌چه ارقام گندم در سطوح مختلف تنش شوری

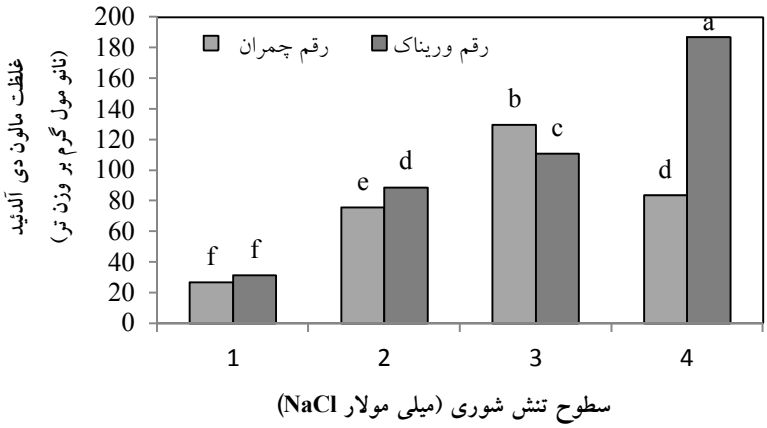
غلظت مالون دی‌آلدئید، فعالیت آنزیم‌های گلوتاتیون ریدوکتاز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز نیز تحت تأثیر اثر متقابل رقم در سطوح مختلف تنش شوری قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲- خلاصه تجزیه واریانس اثر تنش شوری بر پراکسیداسیون لیپید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		غلظت مالون دی آلدئید	فعالیت گلوتاتیون ردوکتاز	فعالیت آسکوربات پراکسیداز	فعالیت کاتالاز
ارقام	۱	۲۳٤۹۳**	۷۳/۰۹**	۳٦۷/۱۳**	٥٤۹۰۹**
سطوح تنش	۳	٤٦٤٦**	۱۲/٥**	۱۰٥/۱۳**	۸٦۸٥٦۱**
رقم × تنش	۳	۸٦٥/۷*	۱/۳*	٥/۸۹*	۲۳٥٥۱٤**
خطا	۲٤	۱٦٦/٦۷	۰/۲٦۱	۲/۰۸	۲۸٥۰
CV%	-	۱۳/۹۷	۱۱/٤۱	۱۲/۲۳	۱۳/۸۱

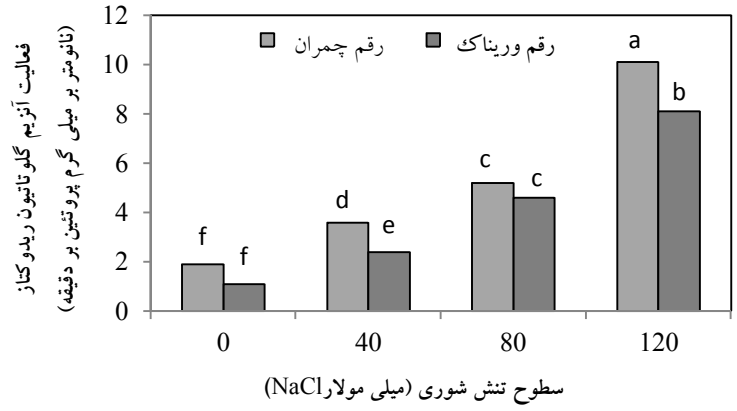
*، **و ns به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح ٥ درصد و ۱ درصد و غیر معنی‌دار

در شکل ۵ نشان داده شده است که با افزایش میزان NaCl در محیط میزان پراکسیداسیون‌لیپید (غلظت مـالون‌دی-آلدئید) در هر دو رقم افزایش یافت و این افزایش در رقم وریناک به مراتب بیشتر از رقم چمران بوده است که نشانگر آسیب‌پذیری بیشتر غشای سلولی در بذر این رقم نسبت به رقم چمران است. بیشترین میزان آسیب بـه غشـا در رقـم وریناک در سطح ۱۲۰میلی‌مولار NaCl ایجاد شده است. درحالی‌که در رقم چمران غلظت مالون‌دی‌آلدئید در بـالاترین سطح شوری به‌طور چشمگیری افت کرد. به‌گونه‌ای که کمترین میزان آسیب به غشا در شدیدترین سطح تنش به ایـن رقم تعلق داشت (شکل ۵).



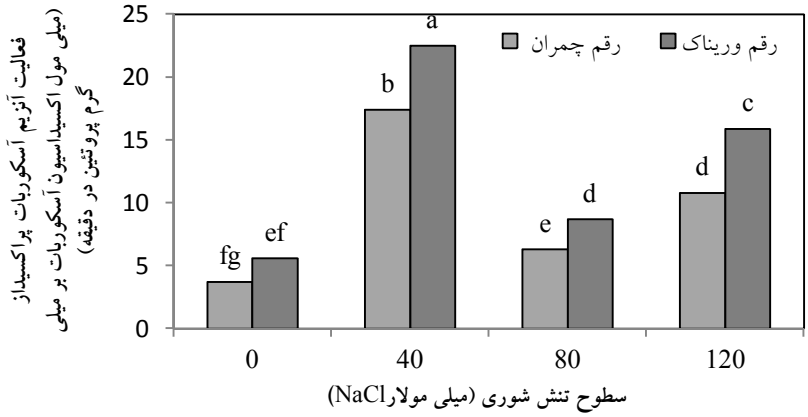
شکل ۵- مقایسه میانگین تغییرات غلظت مالون دی آلدئید ارقام گندم در سطوح مختلف تنش شوری

بنابراین به‌نظر می‌رسد بالاتربودن شاخص‌های جوانه‌زنی در بذر رقم چمران نسـبت بـه رقـم وریـنـاک بـا غلظـت پایین‌تر مالون‌دی‌آلدئید در بذر رقم چمران مرتبط باشد. بیشترین فعالیت آنزیم گلوتاتیون‌ریدوکتاز در هر دو رقم گنـدم مورد آزمایش در سطح ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl بدست آمد. در رقم چمران میزان فعالیت آنزیم گلوتـاتیون‌ریـدوکتاز در سطوح ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl با سطوح پایین‌تر اسمزی اختلاف معنی‌داری داشت. فعالیت گلوتاتیون‌ریدوکتاز در رقم وریناک تا سطح ۸۰ میلی‌مولار NaCl تغییرات معنـی‌داری نشـان نـداد، ولـی فعالیـت ایـن آنـزیم در سـطح ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl به‌طور معنی‌داری در مقایسه با سایر سطوح افزایش یافت (شکل ٦). گلوتاتیون‌ریدوکتاز آخرین آنزیم چرخه‌ی گلوتاتیون‌آسکوربات می‌باشد که NADPH وابسته بـه گلوتـاتیون‌اکسـیداز را کاتـالیز مـی‌کنـد. گلوتـاتیون از آنزیم‌های مهم در بسیاری از گیاهان برای محافظت از تنش اکسیداتیو است و از این‌روست که با افزایش شدت تـنش شوری میزان فعالیت این آنزیم افزایش پیدا می‌کند تا از آسیب ناشی از رادیکال‌های آزاد اکسیژن بکاهد. فعالیت بالاتر این آنزیم در رقم چمران می‌تواند با شاخص‌های بالاتر جوانه‌زنی و غلظت پایین‌تر مالون‌دی‌آلدئید در این رقم مـرتبط باشد.



شکل ٦- مقایسه میانگین فعالیت آنزیم گلوتاتیون ریدوکتاز ارقام گندم در سطوح مختلف تنش شوری

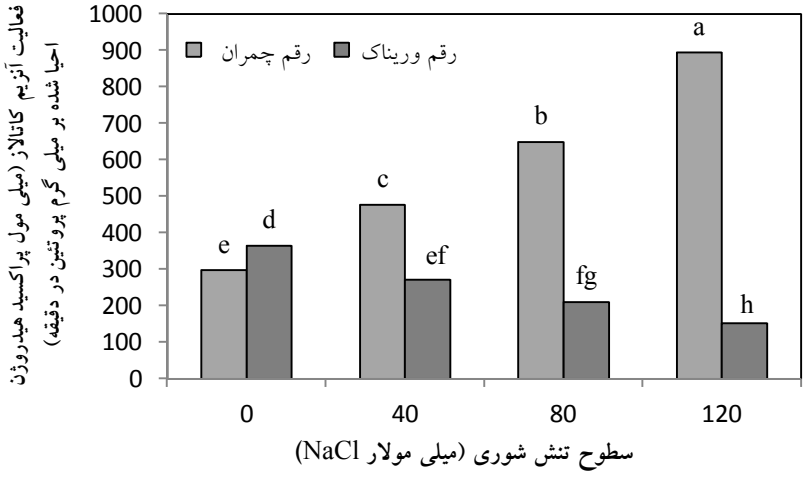
روند تغییرات آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز در هر دو رقم گندم مورد بررسی در سطوح مختلف تنش شوری از الگوی مشابهی پیروی نمود (شکل ۷). در این ارقام آسکوربات‌پراکسیداز بیشترین فعالیت خود را در سطح ٤٠ میلی‌مولار NaCl نشان داد. در این دو رقم فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز در سطح ۱۲۰میلی‌مولار NaCl در مقایسه با سطوح شاهد و ۸۰ میلی مولار NaCl افزایش معنی‌داری نشان داد.



شکل ۷- مقایسه میانگین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیدازارقام گندم در سطوح مختلف تنش شوری

در شکل ۸ نشان داده شده است که در رقم ورناک با افزایش سطوح تنش شوری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز رو به کاهش گذارده درحالی‌که در رقم چمران رویداد کاملاً عکس اتفاق افتاده است. در رقم چمران بیشترین فعالیت این آنزیم در بالاترین سطح شوری (۱۲۰ میلی‌مولار NaCl) بوده است. کاتالاز از مهمترین آنزیم‌های حذف کننده پراکسید هیدروژن می‌باشد. کاهش فعالیت این آنزیم در رقم ورناک می‌تواند سبب تجمع پراکسیدهیدروژن در این رقم شود که علاوه بر دخالت در واکنش هابر-ویز، فعالیت برخی آنزیم‌های چرخه کالوین نظیر ریبولوز مونوفسفات‌کیناز و بی‌فسفاتازها را کاهش می‌دهد (Shahid et al., 2011). به بیان دیگر می‌توان کاهش فعالیت این آنزیم دررقم ورناک را

دلیل حساسیت بیشتر اجزای داخلی بذر[1] نسبت به تنش شوری دانست. گزارش شده است که کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز در چرخه کالوین که با کاهش نسبت H^+ و $NADP^+/NADPH$ در کلروپلاست همراه می‌باشد، سبب افزایش تولید فرم‌های فعال اکسیژن شده و آسیب به بیومولکول‌ها مانند مولکول‌های سازنده غشای سلولی افزایش پیدا می‌کند (Jaleel et al., 2007).



شکل ۸- مقایسه میانگین فعالیت آنزیم کاتالاز ارقام گندم در سطوح مختلف تنش شوری

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش شدت تنش شوری در محیط میزان پراکسیداسیون‌لیپید (غلظت مالون‌دی‌آلدئید) در هر دو رقم افزایش یافت (شکل ۵). اما در رقم چمران غلظت مالون‌دی‌آلدئید در سطح شوری ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl کاهش معنی‌داری داشت. کاهش غلظت مالون‌دی‌آلدئید در این رقم و در این سطح از تنش شوری ممکن است ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت مورد بررسی در سطح شوری ۱۲۰ میلی‌مولار NaCl نسبت به سایر سطوح در این رقم باشد. افزایش فعالیت این آنزیم‌ها باعث کاهش گونه‌های فعال اکسیژن شده و همچنین پتانسیل ردوکس سلول را افزایش می‌دهد (Akram et al., 2007). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت آسکوربات‌پراکسیداز و گلوتاتیون‌ریدوکتاز توانایی واکنش مستقیم با رادیکال سوپراکسید و سایر فرم‌های فعال اکسیژن را دارند که می‌توانند شدت آسیب را کاهش دهند (Kafi et al., 2010). در رقم ورینک کمتر بودن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در مقایسه با رقم چمران از عوامل اصلی محدود کننده مکانیسم‌های دفاعی به‌شمار می‌آید که در نتیجه باعث واردشدن خسارت به غشای سلولی و افزایش غلظت مالون‌دی‌آلدئید شده است. افزایش فعالیت گلوتاتیون ریدوکتاز سبب افزایش تحمل به تنش اکسیداتیو می‌شود (Esfandiari et al., 2008). در این پژوهش مشخص شد که محدودیت موجود در شاخص‌های جوانه‌زنی در رقم ورینک نسبت به رقم چمران ناشی از کاهش عملکرد آنزیم کاتالاز در سطوح مختلف تنش شوری و پایین‌تر بودن فعالیت آنزیم‌های آسکوربات‌پراکسیداز و گلوتاتیون ریدوکتاز در رقم ورینک بوده است. در کل رقم چمران با فعالیت بالاتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در شرایط تنش شوری و میزان

1- Structural Arrangement

کمتر پراکسیداسیون چربی‌ها (به صورت غلظت کمتری از مالون‌دی‌آلدئید)، دارای ظرفیت بالاتری جهت حذف گونه‌های فعال اکسیژن بوده و ثبات جوانه‌زنی در این رقم در مقایسه با رقم ورینک بیشتر می‌باشد.

در نهایت از آنجائی که مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت بیان کننده میزان حذف گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد، بنابراین به نظر می‌رسد بتوان از این ویژگی به عنوان یک شاخص نسبتا مطمئن جهت بیان میزان تحمل به شوری استفاده نمود.

References

Akram, M.S., Athar, H.R. and Ashraf, M. 2007. Improving growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) by foliar application of potassium hydroxide (KOH) under salt stress. Canadian Journal of Botany, 80: 297-304.

Bandeoglu E., Eyidog, F., Yucel, M. and Oktem, H.A. 2004. Antioxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl. Plant Growth Regulatory. 42: 69–77

Belcher, E.W. and Miller, L. 1974. Influence of substrate moisture level on the germination of sweetgun and pine seed. Proceeding of the Association of Official Seed Analysis, 65: 88-89.

Breusegem, F.V., Vranova, E., Dat, J.F. and Inze, D. 2001. The role of active oxygen species in plant signal transduction. Plant Science, 161:405-414.

Bybordi, A. and Tabatabaei, J. 2009. Effect of salinity stress on germination and seedling properties in canola cultivars (*Brassica napus* L.). Notulae Botanicae Horti. Agrobotanici Cluj-Napoca. 37: 71-76.

Candan, N. and Tarhan, L. 2003. The correlation between antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation levels in *Menthapulegium* organs grown in Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+} and Mn^{2+} stress conditions. Plant Science. 163: 769-779.

Dewir, Y.H., Chakrabarty, D., Ali, M.B., Hahn, E.J. and Paek, K.Y. 2006. Lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities of *Euphorbia millii* hy perhydric shoots. Environmental and Experimental Botany.58:93-99.

Esfandiari, E.A., Shakiba, M.R., Mahboob, S.A., Alyari, H. and Shahabivand, S. 2008. The effect of water stress on the antioxidant content, protective enzyme activities, proline content and lipid peroxidation in wheat seedling. Pakistan Journal Biology Science. 11:1916-1922.

Foyer, C. and Halliwell, B. 1987. The presence glutathione and glutathione reductase in chloroplast:a proposedrole in ascorbic acid metabolism. Planta, 133:21–25.

Ghaedie, M. and Taghvaei, M. 2010. Survival Strategies of *Calotropis bartalia* L. Rangeland. The University of Shiraz, Iran. [In Persian with English summary]

Heath, R.L. and Packer, I. 1968. Photoperoxidant in isolated chloroplast. I. Kinetics and stochiometryoffatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics. 125:189–198.

Israr, M. and Sahi, S.V. 2006. Antioxidative responses to mercury in the cell cultures of *Sesbaniadrummondii*. Plant Physiology Biochemical. 44: 590-595.

Jaleel, C.A., Gopi, B., Sankar, P., Manivannan, A., Kishorekamar, R.S. and Panneers, L. 2007. Studies on germination, seedling vigour, Lipid peroxidation and prolin metabolism in *catharanthus roseus* seedling under salt stress. South African Journal of Botany. 73:190- 195.

Kafi, M., EishiRezeii, A., Haghighikhah, M. and Ghorbani, S. 2010. Effect of different levels of salinity and seed priming on germination and seedling characteristics of two species of medicinal citrus. Agriculture ecology. 2: 245-255.

Khalesro, S.H. and Aghaalikhani, M. 2007. Effect of salinity and water deficit stress on seed germination. pajouhesh and Sazandegi. 77:153-163. (In Persian)

Khan, M.A. and Weber, D.J. 1986. Factors influencing seed germination in (*Salicornia pacifica*) var. utahensis. American Journal of Botany. 73, 1163-1167.

Maguire, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science 2: 176-177.

Nakano, Y. and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology. 22: 867-880.

Netondo, G.W., Onyango, J.C. and Beck, E. 2004. Sorghum and salinity: I. Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. Crop Science. 44:797–805.

Okcu, G., Kaya, M.D. and Atak, M. 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*PisumSativum*L.). Turkish Agriculture Forestry. 29:237-242.

Patada, V.Y., Maya, K. and Zakwan, A. 2011. Seed priming mediated germination improvement andtolerance to subsequent exposure to cold and salt stress in capsicum. Research Journal of Seed Science. 4: 125 -136.

Sadat-Noori, S., Mottaghi, M., Lotfifar, O. 2008. Salinity tolerance of maize in embryo and adult stages. Agriculture Environment Science. 5, 717-725.

Sadiq, M., Hassan, G., Khan, A.G., Hussain, N., Jamil, M., Goundal, M.R. and Sarfraz, M. 2003. Performance of cotton varieties in saline sodic soil amended with sulphuric acid and gypsum. Pakistan Journal of Agriculture science. 40 (3-4): 99-105.

Sairam, R.K., Srivastava, G.C., Agarwal, S. and Meena, R.C. 2005. Differences in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes. Biology of Plant. 49: 85–91.

Shahid, M., Pervez, M.A. and Ashraf, M.Y. 2011. Characterization of salt tolerant and salt sensitive pea (*Pisum sativum* L.) genotypes under saline regime. Pakistan Journal life and social Sciences, 9:198-214.

Sinha, A.K. 1972. Colorimetric assay of catalase. Analytical Biochemistry. 47:389-394.

Tunçtürk, M., Tunçtürk, R., Yildirim, B. and Çiftçi, V. 2011. Changes of micronutrients, dry weight and plant development in canola (*Brassica napus* L.) cultivars under salt stress. African Journal Biotechnol, 10: 3726-3730.

Yeldirim, E. 2006. Salt tolerance of pepper cultivars during germination and seedling growth. Turkish Journal Agriculture. 30: 347-353.