

۱ ارزیابی روند تغییرات صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک ذرت خوشه‌ای (*Sorghum*)

۲ *bicolor* L. تحت سطوح مختلف شوری در بازه‌های زمانی متفاوت

۳ حسین کاظمی<sup>۱</sup>، عاطفه صبوری<sup>۲\*</sup>، علی اعلمی<sup>۳</sup>، امین عابدی<sup>۴</sup>

۴ ۱. دانش آموخته دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

۵ ۲. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

۶ ۳. دانشیار، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

۷ ۴. دانش آموخته دکتری، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

۸ \*Corresponding author address: Atefeh Sabouri: P.O.Box: 41635-1314, IRAN. Tell: +983133690274, Fax:  
۹ +983133690281. E-mail: a.sabouri@guilan.ac.ir

۱۰ چکیده

۱۱ ذرت خوشه‌ای با کارایی بالا فتوسنتزی و تولید زیست‌توده به عنوان مواد غذایی، خوراک دام، فیبر و سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شود. تنش  
۱۲ شوری یکی از مهمترین تنش‌های غیرزیستی می‌باشد که تأثیرات منفی زیادی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی از جمله ذرت خوشه‌ای دارد. به  
۱۳ منظور بررسی روند پاسخ‌های فیزیولوژی و مورفولوژی ذرت خوشه‌ای به تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب  
۱۴ بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۰ در گلخانه و آزمایشگاه دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان به صورت گلدانی اجرا شد.  
۱۵ ارقام شامل فومن و سپیده و تنش شوری شامل چهار سطح شاهد (آب)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم بود که همراه آب آبیاری در  
۱۶ مرحله ۴-۵ برگگی اعمال شد. صفات مورد نظر در طی چهار مرحله زمانی شامل ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از اعمال تنش اندازه‌گیری شد.  
۱۷ نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش ارقام فومن و سپیده، سطوح مختلف شوری و زمان‌های نمونه‌برداری تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های  
۱۸ مورد اندازه‌گیری در سطح یک درصد داشتند. نتایج مقایسات میانگین ترکیبات تیماری نشان داد که صفات پرولین، قندهای محلول، فعالیت  
۱۹ آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز، نشت یونی و طول ریشه تحت تنش شوری روند افزایشی داشتند به طوری که با افزایش شدت  
۲۰ تنش میزان این صفات افزایش یافت. در مقابل میزان صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، پروتئین، ارتفاع گیاه، محتوای نسبی آب، سطح  
۲۱ برگ، وزن تر گیاه و وزن خشک گیاه تحت تنش شوری روند کاهشی داشتند و با افزایش سطح تنش میزان این صفات کاهش یافت. بر اساس  
۲۲ درصد تغییرات، صفات قندهای محلول و محتوای نسبی آب برگ بیشترین و کمترین تأثیر را از تنش نشان دادند. بر اساس نتایج، می‌توان دریافت  
۲۳ که در ذرت خوشه‌ای از سازوکارهایی همچون افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پروتئین و تنظیم اسمزی از طریق اسمولیت‌های مهم از  
۲۴ جمله پرولین و قندهای محلول برای ایجاد تحمل به تنش به شوری استفاده می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که تحت تنش شوری رقم فومن  
۲۵ به عنوان یک رقم متحمل‌تر مقابله مناسب‌تری در کاهش آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش شوری نسبت به رقم سپیده دارد و می‌توان از آن برای  
۲۶ مناطقی که در معرض تنش شوری هستند، با اعمال مدیریت مناسب، بهره‌برداری بهینه کرد.

۲۷ واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، حفاظت‌کننده‌های اسمزی، رنگدانه‌های فتوسنتزی، سورگوم.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

- ۲۸
- ۲۹ تنش شوری از مهمترین تنش‌های محیطی می‌باشد که آثار منفی آن بر رشد، بهره‌وری و تولید گیاهان زراعی باعث افزایش
- ۳۰ مطالعات در این زمینه با هدف بهبود تحمل گیاهان شده است. برآوردها نشان می‌دهد که حدود ۲۰ درصد از زمین‌های کشاورزی
- ۳۱ تحت تأثیر تنش شوری قرار دارند و وسعت این اراضی به دلیل فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب و هوایی به طور مداوم در حال
- ۳۲ افزایش می‌باشد (Seleiman, 2022). همچنین پیش‌بینی می‌شود جمعیت جهان از ۷/۷ میلیارد نفر در سال ۲۰۲۰ به ۱۰/۶ میلیارد نفر
- ۳۳ در سال ۲۰۵۰ افزایش می‌یابد که منجر به افزایش تقاضا برای تولید غذا و فیبر می‌شود (Mottaleb et al., 2023). این بدان معنی
- ۳۴ است که اقدامات مناسب برای اطمینان از امنیت غذایی یک اولویت است (Ahmad and Prasad, 2011). در نتیجه هدف اولیه
- ۳۵ برنامه‌های به‌نژادی گیاهی، شناسایی مکانیسم‌های مولکولی، فیزیولوژیکی و گسترش ارقامی است که می‌توانند شرایط تنش را تحمل
- ۳۶ کنند. هنگامی که محصولات تحت تنش‌های غیرزیستی قرار می‌گیرند، درک و انتقال سیگنال‌های تنش باعث می‌شود که ژن‌های
- ۳۷ مرتبط با تنش فعال شوند و در نتیجه تغییرات مولکولی، فیزیولوژیکی و متابولیکی ایجاد می‌شود که گیاه را با تنش‌های محیطی از
- ۳۸ جمله شوری سازگار می‌کند (Qin et al., 2011; Zhang et al., 2018).
- ۳۹ ذرت خوشه‌ای با نام علمی *Sorghum bicolor* L. گیاهی است از تیره غلات، یک‌ساله، روز کوتاه، دیپلوئید ( $2n = 20$ )، خودگشن
- ۴۰ و دارای سیستم فتوسنتزی  $C_4$  با کارایی بالا فتوسنتزی و تولید زیست‌توده می‌باشد که از نظر تولید در سطح جهانی بعد از گندم
- ۴۱ (*Triticum aestivum*)، ذرت (*Zea mays*)، برنج (*Oryza sativa*) و جو (*Hordeum vulgare*) در ردیف پنجم می‌باشد و از آن به
- ۴۲ عنوان مواد غذایی، خوراک دام، فیبر و سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شود (Stoskopf, 1985; Rooney et al., 2007; Sanjari et al., 2019).
- ۴۳ سطح زیر کشت ذرت خوشه‌ای در جهان حدود ۴۲/۶۳ میلیون هکتار با بهره‌وری کل ۶۱/۸۲ میلیون تن و میزان تولید
- ۴۴ ۱/۳۳ تن در هکتار می‌باشد که هندوستان، نیجریه، سودان و ایالات متحده آمریکا بیشترین سطح زیر کشت ذرت خوشه‌ای در جهان
- ۴۵ را دارند (FAO, 2022). همچنین، ذرت خوشه‌ای به دلیل تکامل در مناطق با بارش کم و نامنظم آفریقا و تحمل بالا به شرایط تنش
- ۴۶ از جمله شوری به عنوان گیاه مدل برای مطالعات ژنتیکی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی تحمل به تنش در گونه‌های غلات محسوب
- ۴۷ می‌شود (Kapanigowda et al., 2012; Tari et al., 2013).
- ۴۸ پاسخ گیاهان زراعی به تنش شوری از جنبه‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مورفولوژیکی از جمله افزایش فعالیت آنزیم‌های
- ۴۹ آنتی‌اکسیدان، پروتئین و تنظیم اسمزی توسط محققین زیادی بررسی شده است. برخی از این پژوهش‌ها، منجر به شناخت رهیافت-
- ۵۰ های مهمی برای بهبود تحمل به شوری شده‌اند. تنظیم اسمزی یکی از سازوکارهای مؤثر تحمل به تنش در گیاهان است و با حفظ
- ۵۱ پتانسیل تورگر سلول‌ها از طریق کاهش پتانسیل اسمزی با تجمع اسمولیت‌های سازگار به رشد و توسعه سلولی گیاه در شرایط تنش
- ۵۲ کمک می‌کند و شدت انجام آن، به میزان و سرعت توسعه تنش، تنوع ژنتیکی، نوع و سن اندام گیاه بستگی دارد (Bajji et al., 2000).
- ۵۳
- ۵۴ محققین با مطالعه اثر تنش شوری بر روی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کیتوزان ذرت خوشه‌ای نشان دادند که شوری با ایجاد تنش‌های
- ۵۵ اسمزی و یونی بر رشد محصول تأثیر می‌گذارد که باعث آسیب اکسیداتیو به دلیل افزایش گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. در این
- ۵۶ مطالعه تنش شوری باعث کاهش رشد، وزن تر و وزن خشک، شکل و اندازه روزنه‌ها، تغییر شکل لایه‌های آوند چوبی و آبکش و
- این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

۵۷ افزایش نسبت  $Na^+/Si^+$  شد. همچنین شوری باعث افزایش پرولین، قندهای محلول، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و  
۵۸ آسکوربات پراکسیداز شد که نشان‌دهنده مقابله مناسب ذرت خوشه‌ای در کاهش آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش شوری می‌باشد.  
۵۹ ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کیتوزان برای کاهش اثرات تنش شوری به نقش آن در بهبود تجمع سیلیکون در ذرت خوشه‌ای مرتبط است  
۶۰ که منجر به کاهش آسیب اکسیداتیو می‌گردد (Mulaudzi et al., 2022). پیراسته انوشه و همکاران، (۱۳۹۹) با مطالعه اثر تنش شوری  
۶۱ بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و وزن خشک ذرت خوشه‌ای نشان دادند که تنش شوری موجب تغییرات معنی‌داری در رشد و  
۶۲ ویژگی‌های فیزیولوژیک ذرت خوشه‌ای شد؛ به طوری که شوری ۱۴ دسی‌زیمنس در متر باعث کاهش وزن خشک و غلظت پتاسیم  
۶۳ و افزایش غلظت سدیم، کلر و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز، آسکوربیک پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز گردید.

۶۴ قندهای محلول و پرولین، نقش مهمی در تحمل به تنش از طریق تنظیم اسمزی، خنثی نمودن رادیکال‌های هیدروکسیل ایجاد  
۶۵ شده ناشی از تنش، حفاظت و پایداری آنزیم‌ها و غشاها ایفاء می‌کنند. همچنین می‌توانند به عنوان منبعی از نیتروژن و یک ترکیب  
۶۶ ذخیره‌ای برای رشد سریع گیاه بعد از تنش باشند (Ashraf and Foolad, 2007). بنابراین میزان قندهای محلول و پرولین شاخص‌های  
۶۷ مناسبی برای بررسی اثر تنش‌های غیرزیستی بر گیاهان زراعی می‌باشند (Ashraf and Foolad, 2007). تولید گونه‌های فعال اکسیژن  
۶۸ تحت شرایط تنش موجب اختلالات فیزیولوژیکی و مولکولی گسترده‌ای در گیاه می‌گردد، که سبب تخریب پروتئین‌های غشایی و  
۶۹ DNA و پراکسیداسیون چربی‌ها می‌شوند. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش‌های غیرزیستی موجب متابولیزه  
۷۰ کردن و کاهش خسارت گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد (Rahal et al., 2014). با وجود تحقیقات قابل توجه در زمینه بررسی ارقام  
۷۱ سورگوم تحت تنش شوری، اما روند تغییرات صفات فیزیولوژیکی در طی زمان مورد بررسی قرار نگرفته است. این تحقیق به منظور  
۷۲ ارزیابی و شناسایی مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی تحمل به تنش شوری و همچنین بررسی روند تغییرات صفات مورد  
۷۳ مطالعه در طی چند مرحله بعد از اعمال شوری در دو رقم متفاوت ذرت خوشه‌ای اجرا شد تا چگونگی تغییرات صفات فیزیولوژیکی  
۷۴ در دو رقم در طی زمان مورد بررسی قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

#### مواد گیاهی، تیمارها و نوع آزمایش

۷۷ مواد گیاهی مورد استفاده در پژوهش حاضر شامل دو رقم فومن (متحمل به شوری) و سپیده (حساس به شوری) (Shakeri et al., 2017)  
۷۸ ذرت خوشه‌ای بود که از مؤسسه تحقیقات اصلاح و نهال و بذر تهیه شد. آزمایش به صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در  
۷۹ قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۰ در گلخانه و آزمایشگاه دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان به صورت  
۸۰ گلدانی (ارتفاع و قطر دهانه گلدان به ترتیب ۳۵ و ۳۰ سانتی‌متر) انجام شد. در این طرح، ترکیب تیماری دو فاکتور رقم در تنش  
۸۱ شوری به عنوان فاکتور اصلی و مراحل زمانی به عنوان سطوح فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. تنش شوری شامل چهار سطح شاهد  
۸۲ (آب)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم همراه آب آبیاری بر اساس مرحله فنولوژیکی رشد گیاه پس از مرحله ۴-۵ برگی  
۸۳ اعمال شد (Kafi et al., 2011). نمونه‌های برگ در ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از اعمال تیمارهای تنش به سرعت از گیاهان  
۸۴ شاهد و تحت تنش جمع‌آوری شد (Swami et al., 2011) و پس از منجمد شدن در نیتروژن مایع، تا زمان اندازه‌گیری صفات  
۸۵ فیزیولوژی و بیوشیمیایی در ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

۸۶ جهت اندازه گیری محتوی کلروفیل از روش (Arnon, 1949) استفاده شد. برای محاسبه نشت الکترولیتی از روش (Hu et al., 2010) استفاده گردید. استخراج پرولین از برگ با استفاده از روش (Bates et al., 1973) صورت گرفت. میزان قندهای محلول با استفاده از روش فنل اسید سولفوریک اندازه گیری شد (Irigoyen et al., 1992). برای اندازه گیری محتوی نسبی آب برگ، وزن تازه (Fresh weight) برگ‌ها بلافاصله پس از چیده شدن یادداشت گردید. سپس نمونه‌های گیاهی در فالكون‌های حاوی آب مقطر در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند و سپس وزن آماس (Turgid weight) آنها اندازه گیری شد. به منظور اندازه گیری وزن خشک (Dry weight)، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت درون پاکت‌های کاغذی در آون (۷۰ درجه سانتی گراد) قرار گرفتند تا کاملاً خشک شوند. در نهایت با استفاده از رابطه ۴ محتوی نسبی آب برگ برآورد شد (Pask et al., 2012).

۹۳ (رابطه ۱) 
$$\%RWC = \frac{[(\text{وزن خشک} - \text{وزن آماس}) / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تازه})] \times 100}{}$$

۹۴ جهت تعیین مقدار پروتئین کل از روش (Bradford, 1976) استفاده شد. سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از گایاکول و اندازه گیری میزان جذب تراگایاکول تشکیل شده از گایاکول در نتیجه فعالیت پراکسیداز، در ۴۷۰ نانومتر انجام گرفت. مخلوط واکنش شامل بافر فسفات ۵۰ میلی مولار با pH=۷، پراکسید هیدروژن (۰/۳٪) و گایاکول (۰/۱٪) می باشد. واکنش با افزودن ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به مخلوط واکنش در ۲۵ درجه سلسیوس آغاز شد. میزان جذب تراگایاکول (حاصل از اکسید شدن گایاکول) در ۴۷۰ نانومتر در لحظه شروع واکنش پس از اضافه نمودن عصاره آنزیمی و پس از یک دقیقه خوانده شد. با استفاده از تغییرات جذب در یک دقیقه در ۴۷۰ نانومتر، ضریب خاموشی تراگایاکول ( $\epsilon = 25/5 \text{ mMol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) و فرمول  $A = \epsilon bc$ ، مقدار تراگایاکول تشکیل شده محاسبه شد. این مقدار از تراگایاکول معادل فعالیت یک واحد آنزیم پراکسیداز می باشد (Plewa et al., 1991). مخلوط واکنش جهت سنجش آسکوربات پراکسیداز شامل بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی مولار با pH=7، آسکوربات ۰/۵ میلی مولار،  $\text{H}_2\text{O}_2$  ۰/۱۵ میلی مولار، EDTA ۰/۱ میلی مولار و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. به دنبال اکسید شدن آسکوربات با شروع واکنش آنزیمی، کاهش جذب در ۲۹۰ نانومتر، دو دقیقه پس از شروع واکنش نسبت به زمان شروع واکنش محاسبه شد. با استفاده از تغییرات جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر، ضریب خاموشی آسکوربات ( $\epsilon = 2/8 \text{ mMol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) و فرمول  $A = \epsilon bc$ ، میزان آسکوربات برجای مانده پس از ۲ دقیقه انجام واکنش آنزیمی محاسبه شد. یک واحد آنزیمی آسکوربات پراکسیداز مقدار آنزیمی است که یک میلی مول آسکوربات را در یک دقیقه اکسید می کند (Nakano and Asada, 1981).

### ۱۰۷ تجزیه‌های آماری

۱۰۸ داده‌های حاصل از اندازه گیری صفات مورد مطالعه، پس از بررسی مفروضات تجزیه واریانس و اطمینان از برقراری مفروضات، با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه واریانس شدند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD (حداقل اختلاف معنی دار) انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

### ۱۱۱ نتایج و بحث

۱۱۲ نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژی و مورفولوژی مورد بررسی نشان داد که برهمکنش ارقام متحمل فومن و حساس سپیده، سطوح مختلف شوری و زمان‌های نمونه برداری تأثیر معنی داری بر شاخص‌های مورد اندازه گیری در سطح یک درصد داشتند. نتایج

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

## مجله فرایند و کارکرد گیاهی

۱۱۴ مقایسات میانگین ترکیبات تیماری نیز نشان داد که صفات پرولین، قندهای محلول، آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز و طول ریشه  
 ۱۱۵ تحت تنش شوری روند افزایشی داشتند به طوری که با افزایش شدت تنش میزان این صفات افزایش یافت. میزان صفات کلروفیل a،  
 ۱۱۶ کلروفیل b، کاروتنوئید، پروتئین، ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن تر گیاه و وزن خشک گیاه تحت تنش شوری روند کاهشی داشتند و  
 ۱۱۷ با افزایش سطح تنش میزان این صفات کاهش یافت. همچنین میزان صفات پرولین، قندهای محلول، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و  
 ۱۱۸ آسکوربات پراکسیداز ۲ برابر و طول ریشه و نشت الکترولیت به ترتیب ۸۲ و ۷۵ درصد در شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش  
 ۱۱۹ افزایش یافت و میزان صفات کلروفیل a، b، کاروتنوئید، پروتئین، محتوی نسبی آب برگ، ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن تر و خشک  
 ۱۲۰ گیاه به ترتیب ۶۰، ۵۷، ۵۳، ۴۴، ۱۶، ۲۶، ۲۶، ۴۰ و ۴۳ درصد در شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش کاهش یافت، بنابراین  
 ۱۲۱ صفات میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و اسمولیت‌های سازگار از جمله پرولین و قندهای محلول بیشترین تأثیر را از تنش  
 ۱۲۲ داشتند و میتوان نتیجه گرفت که گیاه ذرت خوشه‌ای بیشتر از طریق این مکانیسم‌ها برای مقابله با شرایط تنش استفاده می‌کند (جدول  
 ۱۲۳ ۲).

۱۲۴ دیگر محققین نیز با مطالعه اثر تنش شوری بر رشد، عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ارقام ذرت خوشه‌ای دریافتند که  
 ۱۲۵ بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از لحاظ صفات میزان مالون‌دی‌آلدهید و پرولین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز،  
 ۱۲۶ سوپراکسیددیسموتاز، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، نسبت وزن تر و خشک برگ به ساقه و وزن خشک و تر اندام هوایی تفاوت  
 ۱۲۷ معنی‌داری وجود دارد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که تنش شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز،  
 ۱۲۸ سوپراکسید دیسموتاز، میزان مالون‌دی‌آلدهید و پرولین و کاهش ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، نسبت وزن خشک و تر برگ به  
 ۱۲۹ ساقه و وزن خشک و تر اندام هوایی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شد (کازمینی و علی‌نیا، ۱۳۹۵).

۱۳۰ جدول ۱- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری تحت شرایط تنش شوری در قالب طرح فاکتوریل  
 ۱۳۱ اسپلیت پلات بر پایه بلوک کامل تصادفی

### میانگین مربعات

منابع تغییرات	درجه آزادی	پرولین	قندهای محلول	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز	نشت الکترولیت
بلوک (تکرار)	۲	۰/۷۴**	۰/۵۵ <sup>ns</sup>	۱۱/۸۹**	۶/۶۰**	۵/۶۲**	۰/۶۲ <sup>ns</sup>	۰/۳۶ <sup>ns</sup>	۲۶۷/۶۱**
شوری (A)	۳	۹۶۹/۸۷**	۵۱۴۹/۳۵**	۱۷۶۱/۲۷**	۷۰۶/۷۲**	۳۱۸/۱۹**	۱۰۱/۰۲**	۸۰/۸۷**	۴۳۱۵/۰۸**
ارقام (B)	۱	۸۷/۴۰۱**	۹۱۷/۲۳**	۱۹۵/۸۵**	۱۳۶/۲۰**	۱۲۲/۰۶**	۴۳/۲۴**	۱۹/۸۹**	۱۳۰۴/۹۳**
شوری × ارقام (A×B)	۳	۳/۸۳**	۹۰/۸۲**	۶/۱۷*	۱۸/۳۹**	۴/۵۲**	۷/۹۳**	۱/۶۳**	۴/۲۳ <sup>ns</sup>
خطای ۱	۱۴	۰/۲۶	۱/۷۹	۲/۱۹	۱/۷۸	۰/۷۰	۰/۱۴	۰/۲۴	۲۱/۸۸
زمان نمونه‌برداری (C)	۳	۶۷/۰۹**	۶۱/۳۱**	۴۱/۲۵**	۲۳/۶۰**	۵/۹۴**	۰/۹۴*	۰/۷۹**	۱۳۱/۶**
شوری × زمان نمونه‌برداری (A×C)	۹	۹/۴۰**	۱۷۴/۲۷**	۱۴/۷۹**	۳/۰۹*	۱/۵۳**	۳/۳۲**	۲/۳۰۳**	۱۸/۳۰۵ <sup>ns</sup>
ارقام × زمان نمونه‌برداری (B×C)	۳	۰/۱۲**	۲/۳۲ <sup>ns</sup>	۴/۴۶ <sup>ns</sup>	۰/۸۸ <sup>ns</sup>	۰/۲۸ <sup>ns</sup>	۰/۲۶ <sup>ns</sup>	۰/۴۷*	۰/۱۶ <sup>ns</sup>

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

## مجله فرایند و کارکرد گیاهی

۱/۳۸ <sup>ns</sup>	۰/۲۹ <sup>ns</sup>	۰/۷۲*	۰/۲۲ <sup>ns</sup>	۰/۵۵ <sup>ns</sup>	۱/۵۵ <sup>ns</sup>	۲/۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۴۴**	۹	شوری×ارقام×زمان نمونه برداری (A×B×C)
۱۱/۴۶	۰/۱۶	۰/۳۴	۰/۵۳	۱/۳۸	۱/۸	۱/۱۹	۰/۲۴	۴۸	خطای ۲
۷/۸۱	۱۲/۴۹	۱۳/۹	۱۱/۱۲	۱۳/۵	۱۰/۵۷	۹/۹۶	۴/۲۷		ضریب تغییرات (%)

<sup>ns</sup> غیر معنی دار، \* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

۱۳۲  
۱۳۳  
۱۳۴  
۱۳۵  
۱۳۶  
۱۳۷  
۱۳۸  
۱۳۹  
۱۴۰  
۱۴۱  
۱۴۲  
۱۴۳

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده در زمان های مختلف نمونه برداری تحت شرایط تنش شوری به صورت طرح فاکتوریل اسپلیت پلات بر پایه بلوک کامل تصادفی

### میانگین مربعات

وزن خشک گیاه	وزن تر گیاه	سطح برگ	ارتفاع گیاه	محتوی نسبی آب برگ	طول ریشه	پروتئین	درجه آزادی	منابع تغییرات
۱۲۳/۷۲**	۱۱/۳۹ <sup>ns</sup>	۱۸/۴۱ <sup>ns</sup>	۱۰۴/۷۹**	۶/۵۷ <sup>ns</sup>	۰/۳۸ <sup>ns</sup>	۰/۱۶ <sup>ns</sup>	۲	بلوک (تکرار)
۱۷۴۳/۱۷**	۶۸۹۶/۶۰۷**	۲۷۴۳/۸۰۲**	۲۵۰۲/۲۲**	۱۵۶۹/۴۴**	۱۰۸/۷۹**	۷۴۳/۹۰۲**	۳	شوری (A)
۴۱۲/۰۹**	۱۱۲۵/۴۵**	۱۸۱۳/۴۲**	۱۰۰۸/۸۰۶**	۱۶۶/۰۵**	۳۰/۶۰**	۱۴۷/۹۸**	۱	ارقام (B)
۶/۱۰*	۱۲/۸۴ <sup>ns</sup>	۷/۶۲ <sup>ns</sup>	۱۳/۵۴ <sup>ns</sup>	۲۲/۳۷ <sup>ns</sup>	۰/۱۳ <sup>ns</sup>	۶/۸۷**	۳	شوری×ارقام (A×B)
۲/۹۰۳	۸/۶۵	۳۴/۸۹	۳۵/۴۷	۲۲/۴۳	۰/۱۷	۰/۱۸	۱۴	خطای ۱
۴/۱۴ <sup>ns</sup>	۷۵/۴۲**	۳۶/۵۷ <sup>ns</sup>	۳۵/۴۹ <sup>ns</sup>	۷۲/۱۴**	۳/۹۸**	۲۵/۱۶**	۳	زمان نمونه برداری (C)
۳۶/۶۴**	۸۰/۵۱**	۳۸/۰۰۵ <sup>ns</sup>	۱۰/۴۸ <sup>ns</sup>	۶/۴۶ <sup>ns</sup>	۵/۶۵**	۳/۷۱**	۹	شوری×زمان نمونه برداری (A×C)
۱/۱۷ <sup>ns</sup>	۲/۱ <sup>ns</sup>	۰/۲۵ <sup>ns</sup>	۱/۰۷ <sup>ns</sup>	۴/۵۹ <sup>ns</sup>	۰/۱۲ <sup>ns</sup>	۰/۷۲*	۳	ارقام×زمان نمونه برداری (B×C)
۱/۶۶ <sup>ns</sup>	۱/۰۲ <sup>ns</sup>	۱/۱۵ <sup>ns</sup>	۱/۳۶ <sup>ns</sup>	۲/۶۰۹ <sup>ns</sup>	۰/۱۵ <sup>ns</sup>	۰/۷۳**	۹	شوری×ارقام×زمان نمونه- برداری (A×B×C)

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

## مجله فرایند و کارکرد گیاهی

۲/۲۲	۱۰/۱۷	۲۲/۳۵	۱۷/۷۸	۲۳/۹۲	۰/۵۷	۰/۲۸	۴۸	خطای ۲
۹/۴۷	۹/۷۸	۹/۵۸	۷/۹۵	۶/۸۵	۱۱/۷۸	۱۴/۰۲		ضریب تغییرات (%)

۱۴۴ ns غیر معنی دار، \* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

۱۴۵

۱۴۶

۱۴۷

پس از انتشار

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

جدول ۲- میانگین و درصد تغییرات صفات اندازه گیری شده در متوسط شرایط تنش (میانگین صفات در شرایط تنش) نسبت به بدون تنش  
 ۱۴۸  
 ۱۴۹

صفات (واحد)	محیط	میانگین	میزان و جهت تغییرات صفت (%)
پرولین (mg.g-1)	بدون تنش متوسط سطوح شوری	۵/۱۸ ۱۳/۷۰	+۱۶۴/۵۹
قندهای محلول (mg.g-1)	بدون تنش متوسط سطوح شوری	۱۲/۴۰ ۳۶/۳۳	+۱۹۲/۹۶
کلروفیل a (mg.g-1)	بدون تنش متوسط سطوح شوری	۲۳/۳۲ ۹/۱۵	-۶۰/۷۷
کلروفیل b (mg.g-1)	بدون تنش متوسط سطوح شوری	۱۵/۳۲ ۶/۵۱	-۵۷/۴۸
کاروتنوئید (mg.g-1)	بدون تنش متوسط سطوح شوری	۱۱/۰۴ ۵/۰۸	-۵۳/۹۹
آسکوربات پراکسیداز (unit.mg-1 protein)	بدون تنش متوسط سطوح شوری	۱/۸۸ ۴/۹۹	+۱۶۵/۸۳
پراکسیداز (unit.mg-1 protein)	بدون تنش متوسط سطوح شوری	۱/۴۹ ۳/۸۳	+۱۵۷/۳۴
پروتئین (mg.g-1)	بدون تنش متوسط سطوح شوری	۱۹/۹۲ ۱۱/۱۱	-۴۴/۲۳
نشت یونی (%)	بدون تنش متوسط سطوح شوری	۲۷/۶۱ ۴۸/۵۲	+۷۵/۷۹
طول ریشه (cm)	بدون تنش متوسط سطوح شوری	۳/۹۷ ۷/۲۴	+۸۲/۵۶
محتوی نسبی آب برگ (%)	بدون تنش متوسط سطوح شوری	۸۱/۱۵ ۶۸/۰۴	-۱۶/۱۶
ارتفاع گیاه (cm)	بدون تنش متوسط سطوح شوری	۶۶/۴۹ ۴۸/۵۷	-۲۶/۹۶
سطح برگ (cm <sup>2</sup> )	بدون تنش متوسط سطوح شوری	۶۱/۷۶ ۴۵/۱۹	-۲۶/۸۳
وزن تر گیاه (g.plant -1)	بدون تنش متوسط سطوح شوری	۶۲/۵۴ ۳۶/۹۳	-۴۰/۹۴
وزن خشک گیاه (g.plant -1)	بدون تنش متوسط سطوح شوری	۳۲/۹۲ ۱۸/۶۸	-۴۳/۲۵



۱۵۱ نتایج تجزیه واریانس داده‌های میزان پرولین نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی، سطوح مختلف تنش شوری و زمان‌های  
 ۱۵۲ مختلف نمونه‌برداری با هم تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند. همچنین برهمکنش شوری و ارقام ( $A \times B$ )، شوری  
 ۱۵۳ و زمان نمونه‌برداری ( $A \times C$ )، ارقام و زمان نمونه‌برداری ( $B \times C$ ) و شوری و ارقام و زمان نمونه‌برداری ( $A \times B \times C$ ) در سطح احتمال  
 ۱۵۴ یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). در مجموع میزان پرولین در متوسط شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش، در میانگین ارقام،  
 ۱۵۵ دو برابر افزایش یافت (جدول ۲). نتیجه مقایسه میانگین برای صفت پرولین نشان داد که کمترین میزان پرولین در حالت بدون تنش  
 ۱۵۶ در رقم حساس سپیده به دست آمد و با افزایش شدت تنش میزان پرولین روند افزایشی داشت به طوری که بیشترین میزان پرولین  
 ۱۵۷ در زمان نمونه‌برداری ۹۶ ساعت پس از اعمال تنش در تیمار ۱۷۵ میلی‌مولار در رقم متحمل فومن مشاهده شد (شکل ۱). در بررسی  
 ۱۵۸ روند تغییرات در شرایط نرمال، بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد در حالی که با افزایش میزان  
 ۱۵۹ تنش تفاوت معنی‌داری بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری وجود داشت و تحت سطوح مختلف تنش شوری بیشترین میزان پرولین  
 ۱۶۰ در زمان نمونه‌برداری ۹۶ ساعت پس از اعمال تنش به دست آمد که نشان می‌دهد ارقام حساس و متحمل در سطوح مختلف تنش  
 ۱۶۱ شوری با گذشت زمان برای مقابله با تنش میزان پرولین خود را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهند. به نظر می‌رسد این افزایش  
 ۱۶۲ معنی‌دار پرولین برای ایجاد سازگاری به شرایط تنش باشد (شکل ۱). همچنین در رقم فومن در سطوح مختلف تنش میزان پرولین  
 ۱۶۳ بیشتری نسبت به رقم سپیده به دست آمد که می‌تواند بیانگر تحمل بیشتر آن در مقابله با تنش شوری باشد. پرولین نقش مهمی در  
 ۱۶۴ پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی ایفاء می‌کند. افزایش پرولین موجب تحمل بیشتر گیاه به شرایط نامساعد محیطی و حفاظت از  
 ۱۶۵ آنزیم‌ها و ساختارهای سلولی می‌گردد. پرولین همچنین موجب اثرات فیزیولوژیکی زیادی از جمله تنظیم اسمزی، غیرفعال کردن  
 ۱۶۶ رادیکال‌های آزاد اکسیژن، منبع کربن، منبع نیتروژن ذخیره‌ای، کنترل بیان ژن، محافظت غشاء و ماکرومولکول‌ها می‌شود که در تعدیل  
 ۱۶۷ اسمزی و اعمال حفاظتی نقش دارند (Ashraf and Foolad, 2007). پرولین در گیاهان عمدتاً از گلوتامات سنتز می‌شود که از طریق  
 ۱۶۸ آنزیم پیروولین ۵ کربوکسیلات سنتتاز (P5CS) به گلوتامات سمی آلدئید (GSA) احیاء می‌شود و فوراً به پیروولین ۵ کربوکسیلات  
 ۱۶۹ (P5C) تبدیل می‌شود، افزایش میزان پرولین در شرایط تنش می‌تواند به علت افزایش این آنزیم باشد (Kariola et al., 2005).  
 ۱۷۰ محققین نیز با ارزیابی تحمل به شوری ذرت خوشه‌ای با استفاده از معیارهای تجمع یون، پرولین و پراکسیداز نشان دادند که شوری  
 ۱۷۱ موجب کاهش معنی‌دار غلظت پتاسیم و کلسیم و افزایش محتوی سدیم و پرولین در تیمارهای مختلف NaCl در بافت ریشه و برگ  
 ۱۷۲ ارقام مورد مطالعه شد (Bavei et al., 2011). همچنین افزایش میزان پرولین تحت شرایط تنش شوری در مطالعات متعددی گزارش  
 ۱۷۳ شده است که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد (AnsarShourijeh, 2017; Mansour and Ali, 2017; Huang et al., 2023).

#### ۱۷۴ قندهای محلول

۱۷۵ بر اساس نتایج تجزیه واریانس، ژنوتیپ‌های مورد بررسی، سطوح مختلف تنش شوری و زمان‌های مختلف نمونه‌برداری از  
 ۱۷۶ لحاظ میزان قندهای محلول تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۱). نتیجه مقایسه میانگین نیز نشان داد  
 ۱۷۷ که کمترین میزان قندهای محلول در حالت بدون تنش در رقم حساس سپیده به دست آمد. در بررسی روند تغییرات این صفت در  
 ۱۷۸ طی زمان مشاهده شد با افزایش شدت تنش میزان قندهای محلول افزایش می‌یابد به طوری که بیشترین میزان در زمان نمونه برداری

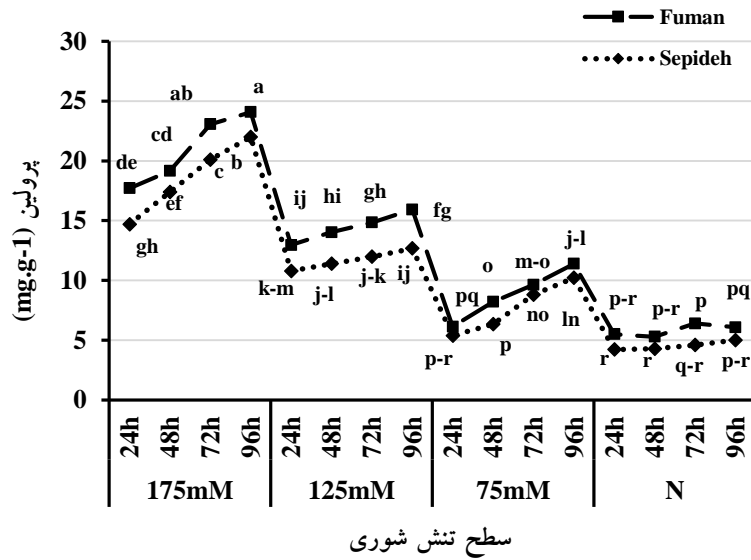
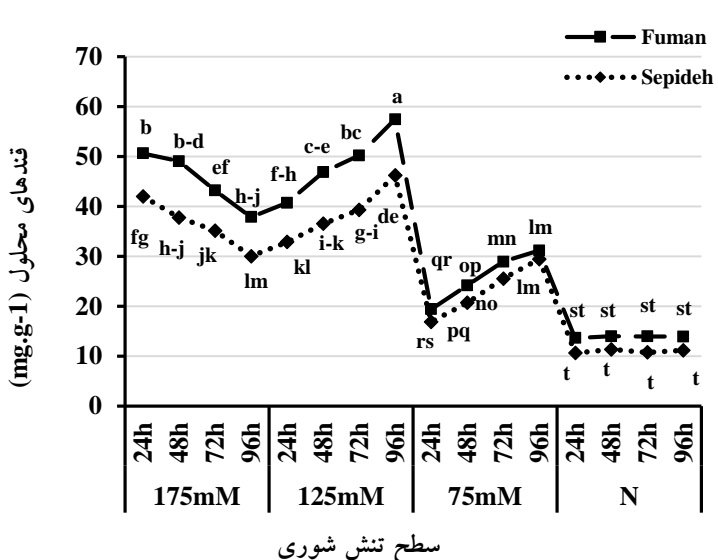
۱۷۹ ۹۶ ساعت پس از اعمال تنش در تیمار ۱۲۵ میلی مولار در رقم متحمل فومن مشاهده شد. همچنین قابل ذکر است که میزان این  
 ۱۸۰ صفت در حالت تنش شدید شوری (۱۷۵ میلی مولار) نسبت به حالت تنش متوسط (۱۲۵ میلی مولار) کاهش یافت و در مجموع نیز  
 ۱۸۱ میزان قندهای محلول در متوسط شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش، در میانگین ارقام، ۲ برابر افزایش یافت (جدول ۲).  
 ۱۸۲ همچنین در بررسی چگونگی تغییرات این صفت در طی مراحل نمونه برداری در شرایط نرمال بین زمان‌های مختلف نمونه برداری  
 ۱۸۳ تفاوت معنی داری مشاهده نشد و در شرایط تنش بین زمان‌های مختلف نمونه برداری تحت شرایط تنش شوری تفاوت معنی داری  
 ۱۸۴ وجود داشت به طوری که در شرایط تنش ملایم و متوسط با گذشت زمان میزان قندهای محلول افزایش یافت و بیشترین میزان این  
 ۱۸۵ صفت در زمان نمونه برداری ۹۶ ساعت پس از اعمال تنش مشاهده شد اما در شرایط تنش شدید شوری با گذشت زمان میزان  
 ۱۸۶ قندهای محلول کاهش یافت و در زمان نمونه برداری ۲۴ ساعت پس از اعمال تنش بیشترین میزان این صفت به دست آمد که  
 ۱۸۷ می تواند بیانگر این مطلب باشد که ارقام حساس و متحمل در شرایط تنش ملایم و متوسط با گذشت زمان میزان قندهای محلول را  
 ۱۸۸ را برای مقابله با تنش افزایش می دهند تا به شرایط تنش سازگارتر شوند، اما در شرایط تنش شدید با گذشت زمان احتمالاً گیاه  
 ۱۸۹ توانایی مقابله با تنش شوری را نداشته و میزان قندهای محلول کاهش یافت (شکل ۲). علاوه بر این نتایج نشان داد با افزایش شوری  
 ۱۹۰ میزان قندهای محلول در رقم فومن نسبت به رقم سپیده بیشتر بود که نشان دهنده تحمل بیشتر آن در مقابله با تنش شوری می باشد.  
 ۱۹۱ قندهای محلول نقش مهمی در کاهش پتانسیل آب و تنظیم اسمزی، سم زدایی گونه های فعال اکسیژن ناشی از تنش شوری،  
 ۱۹۲ عملکردهای حفاظتی و پایداری پروتئین ها و غشای زیستی در شرایط شوری ایفا می کنند (Mansour et al., 2021). قندهای محلول  
 ۱۹۳ همچنین به عنوان مولکول های پیام رسان مهم نیز شناخته می شوند (Pinheiro and Chaves, 2011). تنش شوری از طریق تجزیه و  
 ۱۹۴ کاهش نشاسته در اثر افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز باعث افزایش قندهای محلول می شود (Hajhashemi et al., 2020). محققین بیان  
 ۱۹۵ کردند که بین افزایش قندهای محلول و تحمل به تنش شوری همبستگی مثبت و معنی داری وجود دارد (Sharif et al., 2018; Naeem et al., 2020; Mulaudzi et al., 2022).

#### ۱۹۷ رنگدانه های فتوستتزی

۱۹۸ رنگدانه های فتوستتزی یکی از مهمترین فاکتورهای تعیین کننده تنش های غیرزیستی وارد بر گیاهان زراعی می باشد (Pask et al., 2012).  
 ۱۹۹ همچنین، میزان رنگدانه های فتوستتزی در گیاهان یکی از شاخص های مهم حفظ ظرفیت فتوستتزی است (Jiang and Huang, 2001).  
 ۲۰۰ نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ژنوتیپ های مورد بررسی، سطوح مختلف تنش شوری و زمان های مختلف  
 ۲۰۱ نمونه برداری تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد از لحاظ صفات میزان کلروفیل a, b و کاروتنوئید داشتند (جدول ۱).  
 ۲۰۲ همچنین نتایج مقایسات میانگین در شرایط تنش شوری برای صفات کلروفیل a, b و کاروتنوئید نشان داد که بیشترین میزان  
 ۲۰۳ رنگدانه های فتوستتزی در حالت بدون تنش در رقم فومن (متحمل به شوری) به دست آمد و با افزایش شدت تنش میزان رنگدانه های  
 ۲۰۴ فتوستتزی به طور معنی داری کاهش یافت به طوری که کمترین میزان در تیمار ۱۷۵ میلی مولار ظرفیت در رقم سپیده (حساس به  
 ۲۰۵ شوری) مشاهده شد (شکل های ۳، ۴ و ۵). در مجموع نیز میزان کلروفیل های a, b و کاروتنوئید در متوسط شرایط تنش نسبت به  
 ۲۰۶ حالت بدون تنش، در میانگین ارقام، ۶۰، ۵۷ و ۵۳ درصد کاهش یافت (جدول ۲). قابل ذکر است که در شرایط تنش شدید شوری  
 ۲۰۷ و شرایط نرمال بین زمان های مختلف پس از نمونه برداری تفاوت معنی داری وجود نداشت اما در تنش های ملایم و متوسط با گذشت  
 ۲۰۸ زمان میزان رنگدانه های فتوستتزی کاهش یافتند به طوری که بیشترین میزان این صفات در زمان نمونه برداری ۲۴ ساعت پس از  
 ۲۰۹ اعمال تنش مشاهده شد (شکل های ۳، ۴ و ۵). در بررسی روند تغییرات رنگدانه های فتوستتزی، تحت شرایط تنش های ملایم و

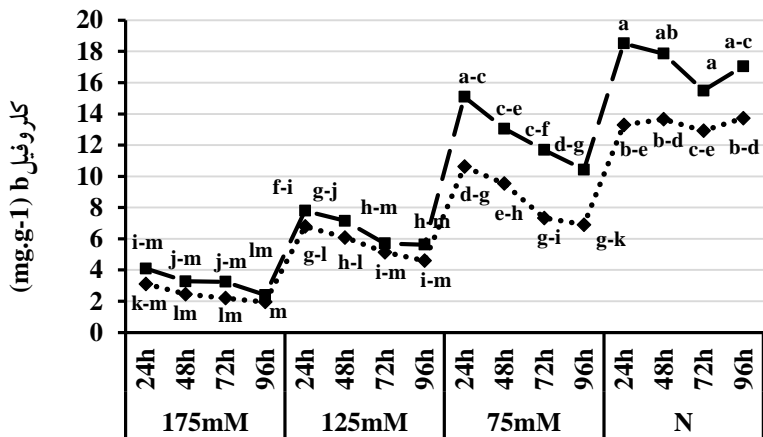
متوسط در هر دو رقم حساس و متحمل با گذشت زمان میزان آن کاهش یافت که می‌تواند ناشی از تخریب بیشتر رنگدانه‌ها به وسیله افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌از و اکسیداسیون نوری باشد، در شرایط تنش شدید نیز احتمال می‌رود به علت تخریب زیاد رنگدانه‌های فتوسنتزی با گذشت زمان تفاوت معنی‌داری بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری مشاهده نشد (شکل ۲).

همچنین افزایش شوری باعث کاهش میزان کلروفیل در دو رقم فومن و سپیده شد، اما در رقم متحمل فومن میزان کلروفیل کمتر تحت تأثیر قرار گرفت که می‌تواند به علت مقابله بهتر آن با شرایط تنش باشد. کاهش میزان کلروفیل تحت شرایط تنش شوری را می‌توان به اکسیداسیون کلروفیل، تجزیه ساختار کلروپلاست، مهار بیوستت کلروفیل، تخریب پیش‌سازهای سنتز کلروفیل، مهار بیوستت جدید کلروفیل و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده مثل کلروفیل‌از نسبت داد (Angon et al., 2022). تجمع بیش از حد یون‌های  $Cl^-$  و  $Na^+$  ناشی از شوری نیز تأثیر مخربی بر محتوی کلروفیل دارد (Sharif et al., 2018). عمادی و همکاران (۱۴۰۱) با مطالعه تأثیر تنش‌های خشکی و شوری بر عملکرد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و ویژگی‌های بیوشیمیایی ذرت خوشه‌ای نشان دادند که تنش‌های خشکی و شوری باعث کاهش تولید ماده خشک، کلروفیل a، b، کاروتنوئید شد اما غلظت پرولین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافت.

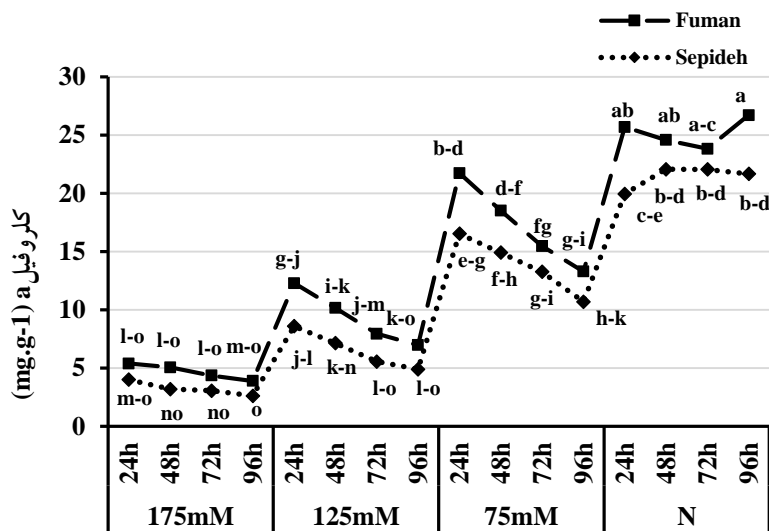


شکل ۲- مقایسه میانگین میزان فندهای محلول در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب) (N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

شکل ۱- مقایسه میانگین میزان پرولین در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب) (N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.



سطح تنش شوری



سطح تنش شوری

شکل ۴- مقایسه میانگین میزان کلروفیل b در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب) (N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

شکل ۳- مقایسه میانگین میزان کلروفیل a در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب) (N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

### فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز

- ۲۲۲ بر اساس نتایج تجزیه واریانس، ژنوتیپ‌های مورد بررسی، سطوح مختلف تنش‌های شوری، زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در
- ۲۲۳ صفت میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار داشتند. همچنین
- ۲۲۴ اثرات متقابل تنش شوری و ارقام (A×B)، رژیم آبیاری و زمان نمونه‌برداری (A×C) برای صفات پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز
- ۲۲۵ و تنش شوری و ارقام و زمان نمونه‌برداری (A×B×C) برای آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول
- ۲۲۶ ۱). نتیجه مقایسه میانگین ترکیبات تیماری برای صفات‌های میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نشان داد که کمترین میزان در حالت
- ۲۲۷ بدون تنش در رقم حساس سپیده به دست آمد و با افزایش شدت تنش میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز
- ۲۲۸ افزایش یافت به طوری که بیشترین میزان فعالیت آنزیم در زمان نمونه‌برداری ۴۸ ساعت پس از اعمال تنش در تیمار ۱۷۵ میلی‌مولار
- ۲۲۹ در رقم متحمل فومن مشاهده شد (شکل‌های ۶ و ۷). در مجموع نیز میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان آسکوربات پراکسیداز و
- ۲۳۰ پراکسیداز در متوسط شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش ۲ برابر افزایش یافت (جدول ۲). همچنین در بررسی روند تغییرات
- ۲۳۱ بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری پس از اعمال تنش در شرایط نرمال تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما با افزایش شدت تنش
- ۲۳۲ میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز روند افزایشی و با اختلاف معنی‌دار بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری وجود
- ۲۳۳ داشت، به طوری که در شرایط تنش ملایم و متوسط با گذشت زمان میزان فعالیت این آنزیم افزایش یافت و بالاترین میزان فعالیت
- ۲۳۴ آنزیم آسکوربات پراکسیداز در زمان نمونه‌برداری ۹۶ ساعت پس از اعمال تنش به دست آمد. اما در شرایط تنش شدید با گذشت
- ۲۳۵

۲۳۶ زمان میزان فعالیت آنزیم‌ها کاهش یافت و بالاترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز در رقم متحمل فومن در  
 ۲۳۷ زمان نمونه‌برداری ۴۸ ساعت پس از اعمال تنش و در رقم حساس سپیده در زمان نمونه‌برداری ۲۴ ساعت پس از اعمال تنش  
 ۲۳۸ مشاهده شد (شکل‌های ۶ و ۷). بر طبق نتایج تحت شرایط تنش‌های ملایم و متوسط، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ارقام  
 ۲۳۹ حساس و متحمل جهت مقابله با شرایط تنش با گذشت زمان افزایش یافت اما با افزایش شدت تنش، تحمل ارقام به تنش شوری  
 ۲۴۰ کاهش یافت به طوری که رقم حساس سپیده نسبت به رقم متحمل فومن ۲۴ ساعت سریعتر شروع به کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی  
 ۲۴۱ اکسیدان نمود (شکل ۲). همچنین در رقم فومن در سطوح مختلف تنش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بیشتری نسبت به  
 ۲۴۲ رقم سپیده به دست آمد که می‌تواند نشان دهنده تحمل بیشتر آن در مقابله با تنش شوری می‌باشد. آنزیم پراکسیداز نقش مهمی در  
 ۲۴۳ حذف مالون دی‌آلدئید، کاهش خسارت  $H_2O_2$  تولید شده ناشی از تنش، حفظ و پایداری غشاء و دیواره سلولی ایفاء می‌کند (Hojati  
 ۲۴۴ *et al.*, 2011; Pakar *et al.*, 2016). همچنین آنزیم پراکسیداز به علت نقشی که در سازوکارهای مهم مانند پیوستن پروتئین‌ها در  
 ۲۴۵ دیواره سلولی، کاتابولیسم اکسین و کنترل رشد توسط چوبی شدن دارد، به عنوان شاخصی بیوشیمیایی برای انواع تنش‌های زیستی  
 ۲۴۶ و غیرزیستی استفاده می‌شود (Hashemi *et al.*, 2010). افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت شرایط تنش شوری در بسیاری از  
 ۲۴۷ مطالعات گزارش شده است (Bavei *et al.*, 2011; Chakraborty *et al.*, 2019; Hozayn and Ahmed, 2019). آنزیم آسکوربات  
 ۲۴۸ پراکسیداز نیز باعث تجزیه مؤثر پراکسید هیدروژن و در نتیجه تحمل بیشتر نسبت به تنش اکسیداتیو می‌گردد (Yoshimura *et al.*,  
 ۲۴۹ 2000). محققین زیادی نشان دادند که افزایش گونه‌های فعال اکسیژن موجب فعال شدن مسیرهای ترانسسانی پیام و افزایش فعالیت  
 ۲۵۰ آنزیم آسکوربات پراکسیداز می‌گردد (Bian and Jiang, 2009; Farooq *et al.*, 2020; Avila *et al.*, 2021).

#### نشت الکترولیت

۲۵۱  
 ۲۵۲ میزان نشت الکترولیت تحت سطوح مختلف تنش شوری در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در ارقام حساس و مقاوم به طور  
 ۲۵۳ معنی‌داری افزایش یافت به طوری که بیشترین میزان نشت الکترولیت در زمان نمونه‌برداری ۹۶ ساعت پس از تنش در تیمار ۱۷۵  
 ۲۵۴ میلی‌مولار تحت شرایط تنش شوری در رقم حساس سپیده مشاهده شد (شکل ۸). همچنین بررسی روند تغییرات بیانگر این مطلب  
 ۲۵۵ بود که بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری پس از اعمال تنش در شرایط نرمال تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما با افزایش شدت  
 ۲۵۶ تنش میزان نشت یونی روند افزایشی داشت و تفاوت معنی‌داری بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری وجود داشت به طوری که در  
 ۲۵۷ سطوح مختلف تنش شوری با گذشت زمان میزان پایداری غشاء سلولی کاهش یافت که منجر به افزایش نشت یونی شد و بالاترین  
 ۲۵۸ میزان این صفت در زمان نمونه‌برداری ۹۶ ساعت پس از اعمال تنش به دست آمد (شکل ۸).

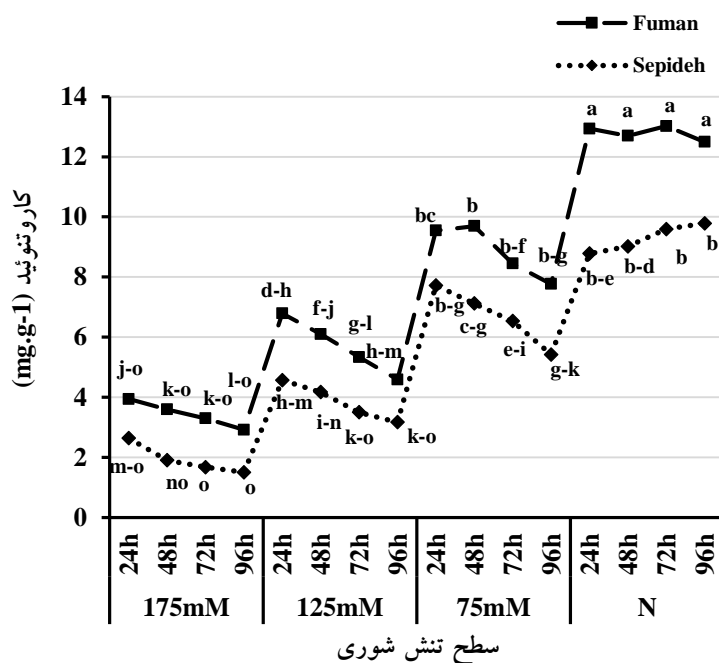
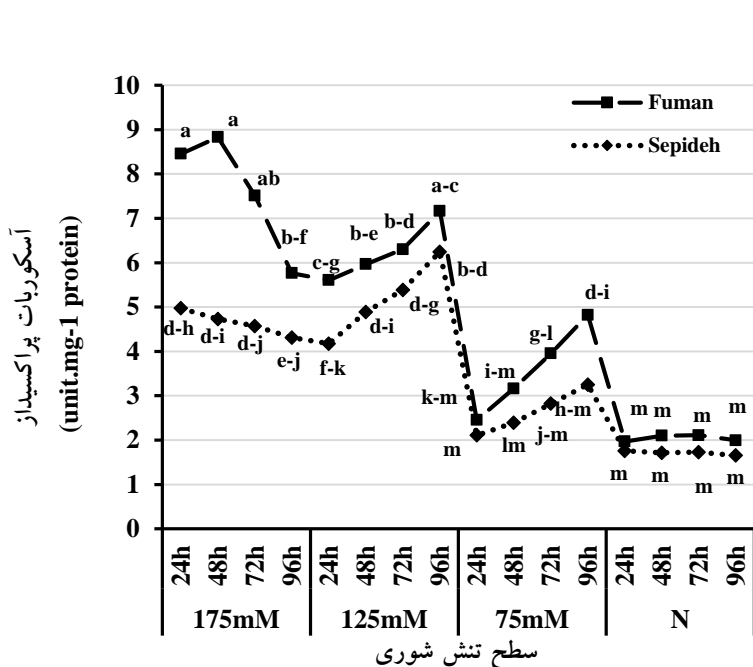
۲۵۹ در مطالعه حیدری و همکاران (۱۳۹۸) رقم منصور با داشتن میزان نشت یونی کمتر در شرایط تنش شوری توانایی بیشتری برای  
 ۲۶۰ مقابله و کاهش آسیب ناشی از تنش نشان داد که بیانگر تحمل بیشتر این رقم است. افزایش نفوذپذیری غشاء سلولی در گیاه در  
 ۲۶۱ معرض تنش‌های محیطی، سبب افزایش نشت محلول‌های سلولی مانند پتاسیم، آمینواسیدها، کربوهیدرات‌ها و در مجموع الکترولیت-  
 ۲۶۲ های مختلف به خارج از سلول می‌شود. محققین بیان کردند که افزایش نشت الکترولیت می‌تواند به علت گونه‌های فعال اکسیژن و  
 ۲۶۳ القای تنش اکسیداتیو باشد. این گونه‌های فعال اکسیژن که در شرایط بروز تنش افزایش می‌یابند، موجب کاهش معنی‌دار ضخامت  
 ۲۶۴ دیواره برگ و خسارت به سلول و در نهایت منجر به تغییر در نفوذپذیری غشاء می‌گردند که در نتیجه آن غشاء سلولی پاره شده و  
 ۲۶۵ افزایش نشت یونی را در پی دارد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۸).

۲۶۶ نتایج تجزیه داده‌های ثبت شده برای پروتئین نشان داد که میزان پروتئین تحت سطوح مختلف تنش شوری در زمان‌های مختلف  
 ۲۶۷ نمونه‌برداری در ارقام حساس و مقاوم به طور معنی‌داری کاهش یافت به طوری که بیشترین میزان پروتئین در حالت بدون تنش در  
 ۲۶۸ رقم فومن و کمترین میزان پروتئین تحت شرایط تنش شوری ۱۷۵ میلی‌مولار به دست آمد (شکل ۹). در مجموع نیز میزان پروتئین  
 ۲۶۹ در متوسط شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش ۴۴ درصد کاهش یافت (جدول ۲). همچنین در بررسی روند تغییرات پروتئین،  
 ۲۷۰ بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط نرمال تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما با افزایش شدت تنش میزان پروتئین روند  
 ۲۷۱ کاهشی داشت و تفاوت معنی‌داری بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری وجود داشت به طوری که در شرایط تنش با گذشت زمان  
 ۲۷۲ میزان پروتئین کاهش یافت و بالاترین میزان پروتئین در زمان نمونه‌برداری ۲۴ ساعت پس از اعمال تنش به دست آمد (شکل ۹). با  
 ۲۷۳ گذشت زمان میزان پروتئین تحت سطوح مختلف تنش شوری در ارقام حساس و متحمل کاهش یافت که می‌تواند به دلیل اثرگذاری  
 ۲۷۴ بیشتر تنش در تجزیه پروتئین‌ها باشد. همچنین افزایش شوری کاهش میزان پروتئین را به دنبال داشت، این تغییرات و تاثیرپذیری  
 ۲۷۵ در رقم فومن کمتر از سپیده بود که نشان‌دهنده مقابله بهتر آن با شرایط تنش می‌باشد. سنتز پروتئین‌ها تحت شرایط تنش یکی از  
 ۲۷۶ مهمترین عوامل در رشد سلول‌ها می‌باشد. پروتئین‌ها همچنین وظایف مهمی از جمله نقش‌های آنزیمی و ساختمانی را در سطح  
 ۲۷۷ سلولی بر عهده دارند که بدون آنها امکان تداوم رشد طولانی مدت وجود ندارد (Boyer, 2006). کاهش محتوی پروتئین تحت  
 ۲۷۸ شرایط تنش شوری در نتیجه فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین، واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد و تغییر اسیدآمین، و نیز  
 ۲۷۹ کاهش سنتز پروتئین مرتبط است. همچنین تنش شوری با کاهش جذب یون‌های نیترات و یا آمونیوم، سبب کاهش ازت و در  
 ۲۸۰ نهایت کاهش پروتئین‌ها در گیاه می‌شود (Parvaiz and Satyawati, 2008). پیری و همکاران (۱۳۹۵) نیز با بررسی عملکرد کمی  
 ۲۸۱ و کیفی ذرت خوشه‌ای علوفه‌ای در سطوح مختلف آب آبیاری و شوری نشان دادند که با افزایش شوری و کاهش آب آبیاری درصد  
 ۲۸۲ پروتئین گیاه، عملکرد و کارایی علوفه تر و خشک کاهش و مقدار کربوهیدرات و پرولین افزایش یافت.

#### طول ریشه

۲۸۴ طول ریشه به عنوان شاخصی برای توانایی گیاهان جهت جذب آب از لایه‌های عمیق‌تر خاک و نفوذپذیری بهتر ریشه‌ها در  
 ۲۸۵ خاک محسوب می‌شود. از این رو، آگاهی از وضعیت طول ریشه و توزیع آن در پروفایل خاک و همچنین آگاهی از اندازه و شکل  
 ۲۸۶ سیستم ریشه، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Wasson et al., 2012). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که دو رقم، سطوح مختلف  
 ۲۸۷ تنش شوری و زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در صفت میزان طول ریشه با هم تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد  
 ۲۸۸ داشتند (جدول ۱). نتایج مقایسات میانگین ترکیبات تیماری نیز نشان داد که بیشترین میزان طول ریشه در حالت ۱۲۵ میلی‌مولار در  
 ۲۸۹ رقم فومن (متحمل به شوری) در زمان نمونه‌برداری ۹۶ ساعت پس از تنش به دست آمد و در شرایط تنش شدید (۱۷۵ میلی‌مولار)  
 ۲۹۰ میزان طول ریشه نسبت به حالت تنش ملایم کاهش یافت (شکل ۱۰). بررسی روند تغییرات رشد ریشه نشان داد تحت شرایط  
 ۲۹۱ تنش‌های ملایم و متوسط، میزان طول ریشه در دو رقم حساس و متحمل با گذشت زمان افزایش یافت اما با افزایش شدت تنش  
 ۲۹۲ رشد ریشه تحت تأثیر قرار گرفت و با گذشت زمان کاهش یافت که می‌تواند به دلیل سمیت یونی و تنش اسمزی زیاد باشد. همچنین  
 ۲۹۳ افزایش شدت شوری کاهش میزان رشد ریشه را به دنبال داشت، اما در رقم متحمل فومن مقدار رشد ریشه کمتر از رقم حساس  
 ۲۹۴ سپیده تحت تأثیر قرار گرفت. ریشه، مهم‌ترین بخش کنترل‌کننده وضعیت آبی و تغذیه‌ای گیاه و یکی از مهمترین اجزای سازگاری  
 ۲۹۵ به شرایط تنش در اکثر گیاهان زراعی محسوب می‌شود (Blum, 2005). کاهش رشد ریشه در شرایط تنش شوری ممکن است به  
 ۲۹۶

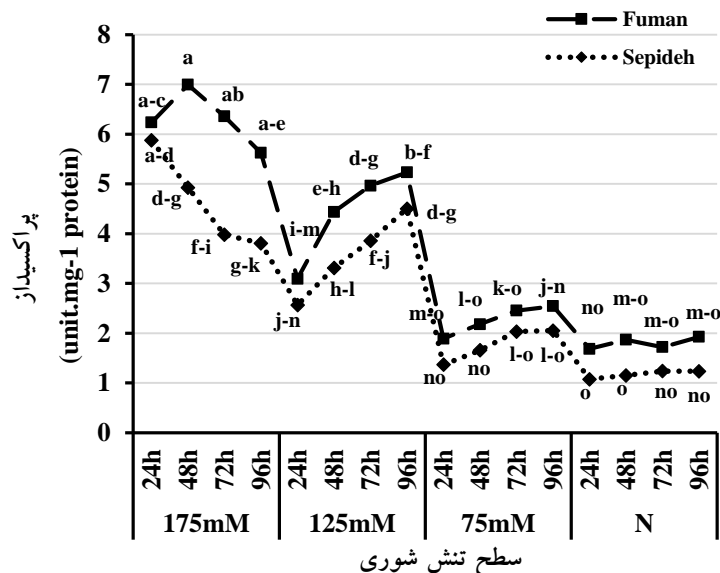
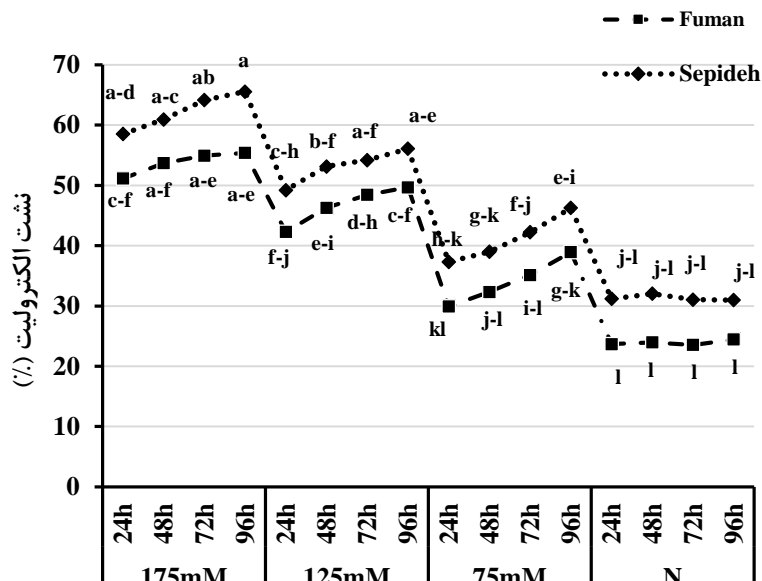
۲۹۷ دلیل کاهش دسترسی ریشه به مواد فتوسنتزی اندام هوایی و تنش اسمزی و سمیت یونی ناشی از تنش شوری در اطراف ریشه باشد  
 ۲۹۸ (زارع بنادکوکي و همکاران، ۱۳۹۹). محققین همچنین بیان کردند که رشد گیاه نتیجه توسعه یکپارچه سلول‌های جوان است که به  
 ۲۹۹ وسیله تقسیم مداوم مریستمی تولید می‌شوند. شور شدن می‌تواند تقسیم و توسعه سلولی را در بافت‌های در حال رشد ریشه‌ها،  
 ۳۰۰ ساقه‌ها و برگ‌ها محدود کند (میری‌کندری و همکاران، ۱۳۹۳). افزایش طول ریشه تحت شرایط تنش شوری در مطالعات متعددی  
 ۳۰۱ گزارش شده است (Tabatabaei and Anaghali, 2012; Mai *et al.*, 2013; Rahnama *et al.*, 2019).



شکل ۶- مقایسه میانگین میزان آسکوربات پراکسیداز در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب) (N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

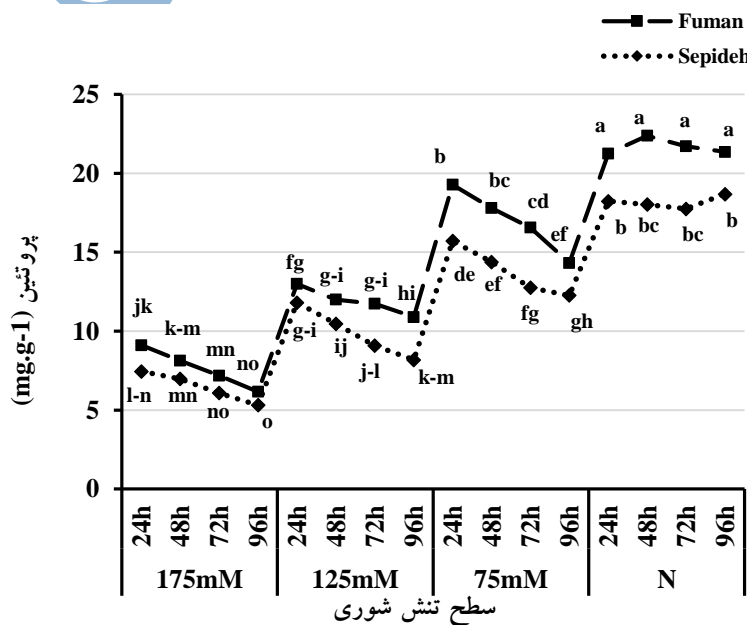
شکل ۵- مقایسه میانگین میزان کاروتنوئید در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب) (N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.





شکل ۸- مقایسه میانگین میزان نشت الکترولیت در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب)(N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

شکل ۷- مقایسه میانگین میزان پراکسیداز در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب)(N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.



شکل ۹- مقایسه میانگین میزان پروتئین در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب)(N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.



۳۰۲ در میان ویژگی‌های فیزیولوژیک، وضعیت آب برگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. محتوای آب نسبی بالاتر گیاه، به معنی  
 ۳۰۳ توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتر آب در شرایط تنش است. براساس نتایج تجزیه واریانس، ارقام، سطوح مختلف تنش شوری و  
 ۳۰۴ زمان‌های مختلف نمونه‌برداری از لحاظ محتوی نسبی آب برگ، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۱).  
 ۳۰۵ شکل ۱۱ مقایسات میانگین میزان محتوی نسبی آب برگ را در دو رقم مورد بررسی در سطوح مختلف شوری و زمان‌های مختلف  
 ۳۰۶ نمونه‌برداری نشان می‌دهد. مقایسات میانگین نشان داد که تنش باعث کاهش محتوی نسبی آب برگ می‌شود، به طوری که بیشترین  
 ۳۰۷ میزان محتوی نسبی آب برگ در حالت بدون تنش و کمترین میزان در حالت ۱۷۵ میلی‌مولار مشاهده شد. در مجموع نیز محتوی  
 ۳۰۸ نسبی آب در متوسط شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش ۱۶ درصد کاهش یافت (جدول ۲). بررسی روند تغییرات محتوی  
 ۳۰۹ نسبی آب برگ نشان داد که بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در سطوح مختلف تنش شوری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت  
 ۳۱۰ (شکل ۱۱). اما در رقم متحمل مقدار محتوی نسبی آب برگ کمتر تحت تأثیر قرار گرفت که نشان‌دهنده مقابله بهتر این رقم تحت  
 ۳۱۱ شرایط تنش می‌باشد همچنین به نظر برخی از پژوهشگران محتوای نسبی آب برگ، بهترین معیار از وضعیت آبی گیاه است که  
 ۳۱۲ تورژانس، پتانسیل اسمزی و تغییرات پتانسیل آب به آن وابسته است (Blum, 2000). محققین بیان داشتند که محتوای نسبی آب  
 ۳۱۳ برگ تعادل بین سرعت تعرق و تأمین آب برای برگ را بهتر از سایر اجزاء روابط آبی منعکس می‌کند، لذا آن را شاخص مناسبی  
 ۳۱۴ برای نشان دادن وضعیت آبی برگ دانسته‌اند. آنها همچنین با مقایسه محتوای نسبی آب در ارقام گوجه‌فرنگی نشان دادند که این  
 ۳۱۵ پارامتر یکی از بهترین فاکتورها برای تشخیص ارقام حساس و متحمل بوده، و همبستگی بالایی با سایر پارامترهای فیزیولوژیک از  
 ۳۱۶ جمله شاخص‌های رشد و آنتی‌اکسیدان‌ها داشته است. هر عامل فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان که در حفظ آب گیاه نقش  
 ۳۱۷ داشته باشد، می‌تواند یکی از عوامل مؤثر در معرفی رقم متحمل باشد (Sanchez-Rodriguez *et al.*, 2010). با افزایش سطح شوری  
 ۳۱۸ جذب آب توسط برگ‌ها کاهش می‌یابد و از سوی دیگر این کاهش سبب می‌شود تا گیاه نتواند محتوی آب برگ خود را حفظ کند  
 ۳۱۹ و از این رو با گذشت زمان محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (فرسرای و همکاران، ۱۳۹۸). کاهش محتوی نسبی آب بر اثر  
 ۳۲۰ تنش یک پدیده معمولی است که در مطالعات مختلف مشاهده شده است. علت کاهش مقدار نسبی آب از خاک به علت محدودیت  
 ۳۲۱ آب ناشی از شوری در خاک است که باعث بر هم خوردن تعادل بین دو فرآیند جذب آب و تعرق می‌شود و در نتیجه آب گیاه  
 ۳۲۲ کاهش می‌یابد (Moradi, 2002; El-Moneim *et al.*, 2020; Azeem *et al.*, 2023).  
 ۳۲۳

#### ارتفاع گیاه

۳۲۴  
 ۳۲۵ میزان ارتفاع گیاه یکی از مهمترین صفات خصوصاً تحت شرایط تنش برای رسیدن به حداکثر عملکرد و شاخص برداشت  
 ۳۲۶ می‌باشد (Bavei *et al.*, 2011). محققین بیان کردند که ارتفاع گیاه با پتانسیل تولید گیاه همبستگی بالایی داشته و نقش مهمی در  
 ۳۲۷ ذخیره‌سازی کربوهیدرات و انتقال آنها به دانه را دارد (Vaezi *et al.*, 2010). بر اساس نتایج تجزیه واریانس تفاوت معنی‌داری بین  
 ۳۲۸ تیمارهای مختلف مشاهده شد، همچنین تنش شوری به طور معنی‌داری باعث کاهش ارتفاع گیاه شد به طوری که بیشترین میزان  
 ۳۲۹ ارتفاع گیاه تحت شرایط بدون تنش به دست آمد و با افزایش شدت تنش میزان ارتفاع گیاه کاهش یافت (شکل ۱۲). محققین  
 ۳۳۰ بیان کردند که با افزایش غلظت املاح، فشار اسمزی محلول خاک زیاد می‌شود، در نتیجه مقدار انرژی که گیاه باید صرف جذب آب  
 ۳۳۱ از خاک نماید، افزایش می‌یابد. که این عمل باعث افزایش تنفس و کاهش ارتفاع و عملکرد گیاه می‌شود (مولوی و همکاران، ۱۳۹۱).

۳۳۲ پژوهشگران همچنین نشان دادند که در شرایط تنش تولیدات فتوسنتزی گیاه، فرآیند تقسیم سلولی و روند دیواره‌سازی در سلول‌های  
۳۳۳ گیاهی کاهش یافته که در نهایت منجر به کاهش اندازه کلی اندام‌های گیاه ارتفاع گیاه در طول دوره رشد می‌گردد (Earl and  
۳۳۴ Hossain *et al.*, 2012; Ahmed). کاهش ارتفاع گیاه با افزایش سطح تنش در مطالعات بسیاری گزارش شده است (Davis, 2003  
۳۳۵ *et al.*, 2013; Xia *et al.*, 2013; Jouyban *et al.*, 2015).

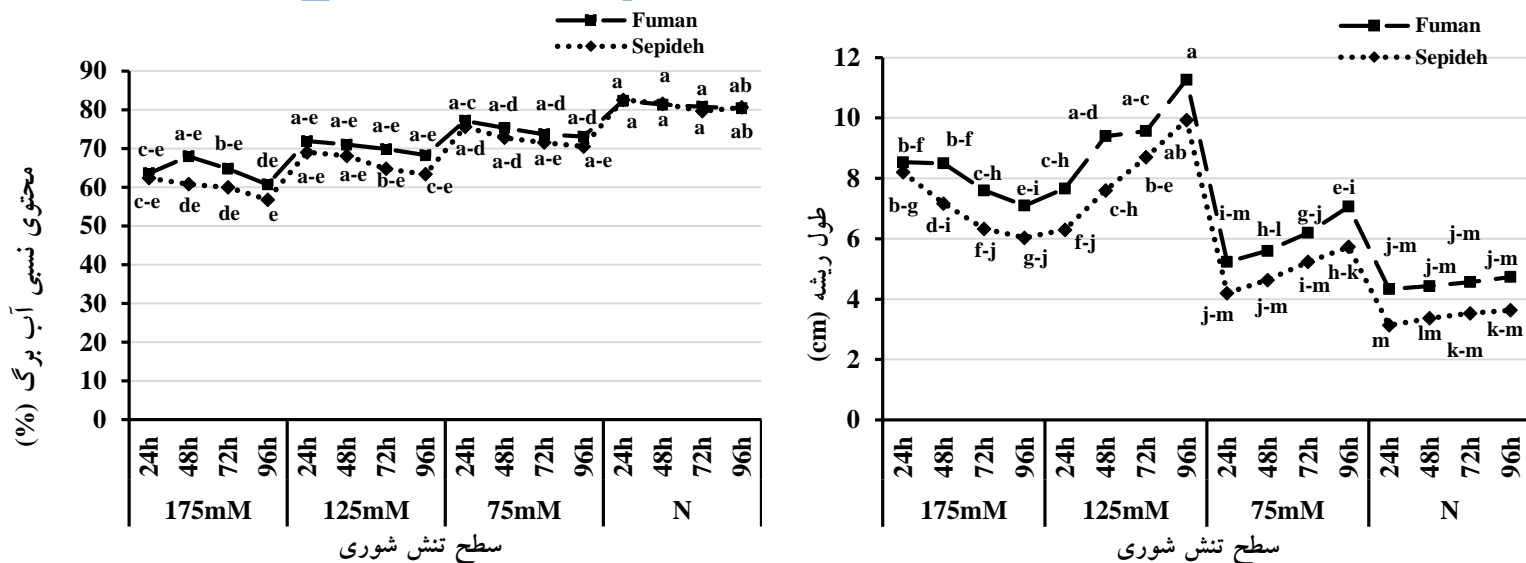
## سطح برگ

۳۳۷ شاخص سطح برگ بیان‌کننده نسبت سطح برگ به زمینی است که آن برگ‌ها اشغال می‌کنند. این شاخص، رشد گیاه و عملکرد  
۳۳۸ نهایی ماده خشک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷۴). میزان سطح برگ تحت سطوح مختلف تنش شوری در  
۳۳۹ زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در دو رقم به طور معنی‌داری کاهش یافت به طوری که بیشترین میزان سطح برگ در شرایط بدون  
۳۴۰ تنش مشاهده شد. با بررسی روند تغییرات سطح برگ مشخص شد کمترین میزان سطح برگ نیز در هر دو رقم در زمان نمونه‌برداری  
۳۴۱ ۹۶ ساعت پس از تنش در در ۱۷۵ میلی‌مولار بدست آمد که نشان می‌دهد تنش شوری با گذشت زمان موجب اثر بیشتر در کاهش  
۳۴۲ فضای بین سلولی، صدمه به مولکول‌های پروتئینی و غشاها می‌گردد و موجب کاهش میزان سطح برگ می‌گردد. قابل ذکر است که  
۳۴۳ میزان سطح برگ در رقم متحمل فومن در سطوح مختلف تنش شوری نسبت به رقم حساس سپیده بیشتر بود که بیانگر مقابله بهتر  
۳۴۴ رقم متحمل نسبت به شرایط تنش می‌باشد (شکل ۱۳). همچنین بررسی روند تغییرات نشان داد که بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری  
۳۴۵ پس از اعمال تنش در سطوح مختلف تنش شوری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما با افزایش شدت تنش میزان سطح برگ روند  
۳۴۶ کاهشی داشت و کمترین میزان سطح برگ در شرایط تنش شدید به دست آمد (شکل ۱۳). در مجموع نیز میزان سطح برگ در  
۳۴۷ متوسط شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش ۲۶ درصد کاهش یافت (جدول ۲). سطح برگ، یکی از حساس‌ترین اندام‌های  
۳۴۸ به تنش شوری بوده (Parida and Das, 2005) و کاهش آن با افزایش سطح تنش در مطالعات دیگری نیز نشان داده شده است  
۳۴۹ (Blum, 2011; Huang *et al.*, 2012). تنش اسمزی ناشی از تنش شوری، با کاهش فضای بین سلولی و افزایش آستانه فشار آماس  
۳۵۰ لازم برای رشد سلول‌های برگ از یک سو و ایجاد مسمومیت یونی ناشی از تجمع یون‌های کلر و سدیم و در نتیجه، صدمه به  
۳۵۱ مولکول‌های پروتئینی و صدمه به غشاها از سوی دیگر، باعث کاهش سطح برگ می‌گردد (Croser *et al.*, 2001). کاهش سطح برگ  
۳۵۲ نیز متعاقباً باعث کاهش جذب نور و فتوسنتز و در نهایت کاهش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی لازم برای رشد برگ شده و در نتیجه،  
۳۵۳ توسعه برگ‌های جدید را با مشکل مواجه می‌سازد (حیدری شریف آبادی، ۱۳۸۰).

## وزن تر و خشک گیاه

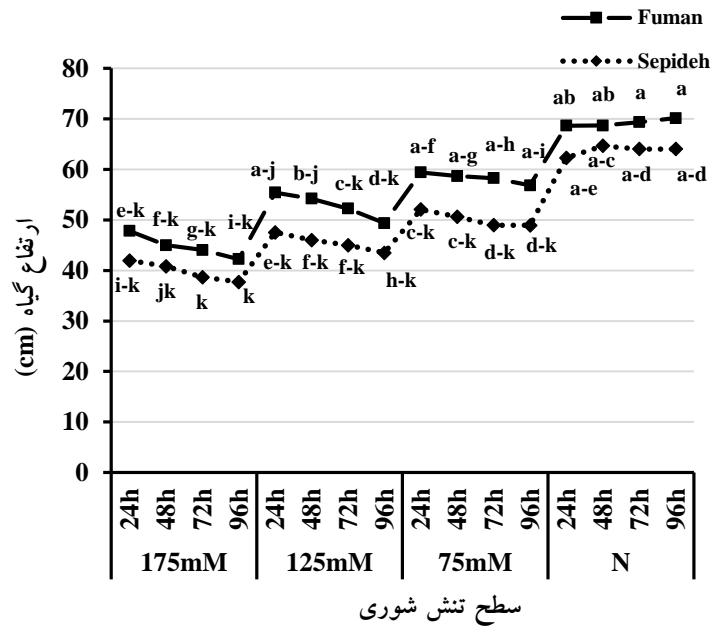
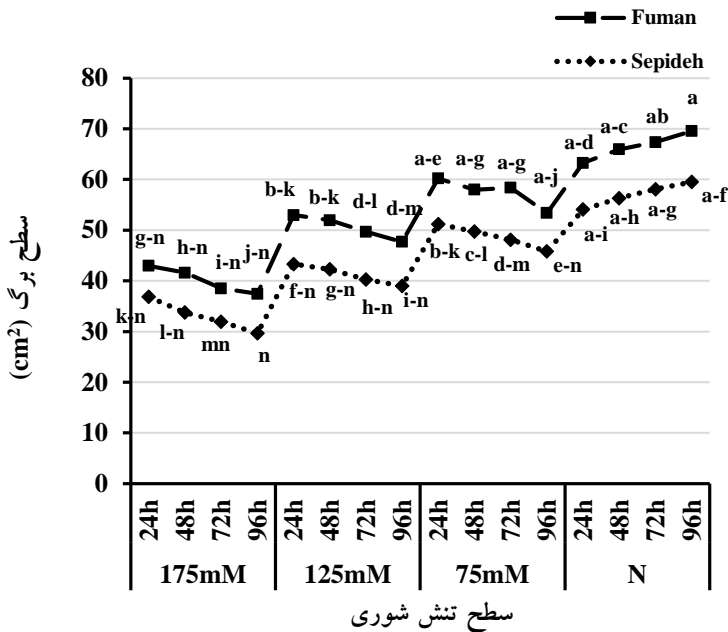
۳۵۵ بر اساس نتایج تجزیه واریانس، میزان وزن تر و خشک برگ تحت سطوح مختلف تنش شوری در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری  
۳۵۶ در ارقام مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). شکل‌های ۱۴ و ۱۵ مقایسات میانگین ترکیبات تیماری را برای  
۳۵۷ میزان وزن تر و خشک برگ نشان می‌دهد. میزان وزن تر و خشک برگ تحت سطوح مختلف تنش شوری در زمان‌های مختلف  
۳۵۸ نمونه‌برداری در ارقام حساس و مقاوم به طور معنی‌داری کاهش یافت به طوری که بیشترین میزان وزن تر و خشک در ارقام حساس  
۳۵۹ و مقاوم در شرایط بدون تنش مشاهده شد. همچنین کمترین میزان این صفت‌ها در زمان نمونه‌برداری ۹۶ ساعت پس از تنش در  
۳۶۰ تیمار ۱۷۵ میلی‌مولار در رقم سپیده مشاهده (شکل‌های ۱۴ و ۱۵). در مجموع نیز میزان فعالیت وزن تر و خشک گیاه در متوسط  
۳۶۱ شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش ۴۰ و ۴۳ درصد کاهش یافت (جدول ۲). همچنین با بررسی روند تغییرات، بین زمان‌های

مختلف نمونه برداری پس از اعمال تنش در شرایط تنش شدید و بدون تنش تفاوت معنی داری مشاهده نشد اما با کاهش شدت تنش میزان وزن تر و خشک گیاه روند افزایشی داشت و تفاوت معنی داری بین زمان های مختلف نمونه برداری وجود داشت به طوری که در شرایط تنش ملایم، متوسط با گذشت زمان میزان این صفات کاهش یافت و بالاترین میزان وزن خشک و تر گیاه در زمان نمونه برداری ۲۴ ساعت پس از اعمال تنش به دست آمد که نشان می دهد در شرایط بدون تنش و تنش شدید به ترتیب به دلیل اثرگذاری کم و زیاد تنش شوری بر میزان رشد گیاه ذرت خوشه ای، بین زمان های مختلف نمونه برداری تفاوت معنی داری مشاهده نشد اما در شرایط تنش ملایم و متوسط شوری با گذشت زمان میزان رشد دو رقم ذرت خوشه ای با شیب ملایمی کاهش یافت که موجب تفاوت معنی داری بین وزن خشک و تر برگ در زمان های مختلف پس از تیمار تنش شوری گردید (شکل های ۱۴ و ۱۵). همچنین میزان وزن خشک و تر برگ در سطوح مختلف تنش شوری در رقم متحمل فومن نسبت به رقم حساس سپیده بیشتر بود که نشان دهنده مقابله بهتر این رقم در مقابله با شرایط تنش می باشد. تنش شوری یکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان می باشد که به طور قابل ملاحظه ای وزن تر و خشک برگ و ساقه را کاهش می دهد. محققین نشان دادند که کاهش وزن خشک گیاه با افزایش شوری ممکن است به دلیل کاهش سطح برگ، جذب کمتر نور و در نتیجه کاهش فتوسنتز باشد. رقابت پتاسیم با سدیم، و نیترات با کلر باعث اختلال در جذب عناصر غذایی می شود. در نتیجه گیاه با صرف انرژی بیشتر برای تولید مواد آلی خود، انرژی لازم برای مقابله با تنش شوری را از دست داده و کارایی ریشه با کاهش مواجه شده و در نهایت وزن خشک برگ و اندام هوایی با کاهش مواجه می شود (Akram et al; 2007). همچنین رانی و همکاران (Rani et al., 2012) با بررسی تحمل شوری سیزده رقم ذرت خوشه ای گزارش کردند که با افزایش غلظت شوری وزن خشک گیاهچه، درصد جوانه زنی، طول ریشه چه، ساقه چه و رشد گیاهچه در همه ای ارقام به طور معنی داری کاهش یافت.



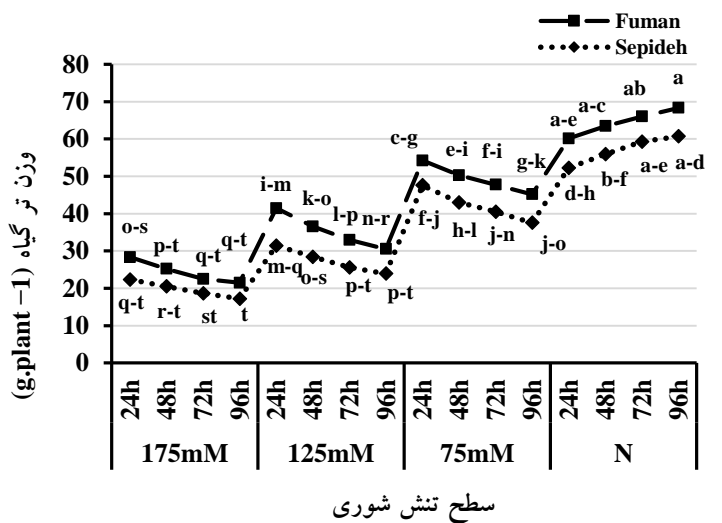
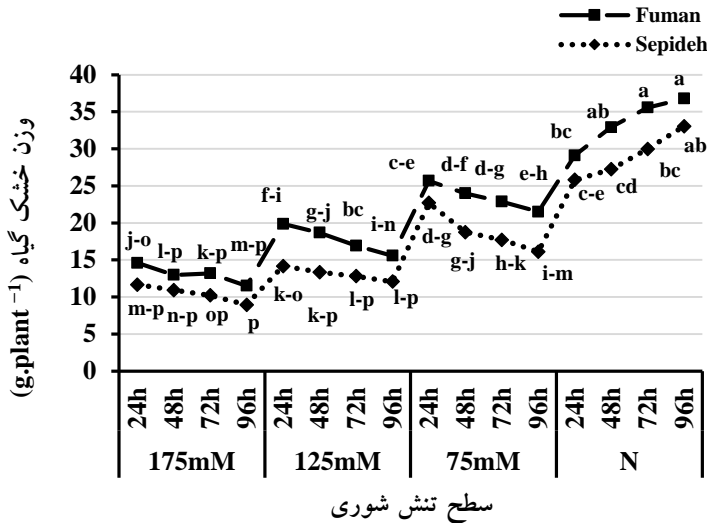
شکل ۱۱- مقایسه میانگین میزان محتوی نسبی آب برگ در دو رقم ذرت خوشه ای در زمان های مختلف نمونه برداری در شرایط شاهد (آب) (N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

۱۰- مقایسه میانگین میزان طول ریشه در دو رقم ذرت خوشه ای در زمان های مختلف نمونه برداری در شرایط شاهد (آب) (N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.



شکل ۱۳- مقایسه میانگین صفت سطح برگ در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب) (N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

۱۲- مقایسه میانگین میزان ارتفاع گیاه در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب) (N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.



شکل ۱۵- مقایسه میانگین وزن خشک گیاه در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب) (N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

۱۴- مقایسه میانگین وزن تر گیاه در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب) (N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

- ۳۷۹
- ۳۸۰ به طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش شوری موجب کاهش میزان کلروفیل های *a*, *b*. کاروتنوئید، محتوی
- ۳۸۱ نسبی آب برگ، وزن خشک و تر بوته و سطح برگ در گیاه ذرت خوشه‌ای شد و این گیاه به عنوان یک پاسخ در برابر شوری، میزان
- ۳۸۲ قندهای محلول، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز خود را افزایش داد تا با تنظیم اسمزی و فعالیت
- ۳۸۳ آنتی‌اکسیدانی به شرایط تنش، سازگاری یافته و بتواند با شوری مقابله کند. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده از بررسی روند
- ۳۸۴ تغییرات متغیرها در طی زمان، می‌توان دریافت که با گذشت زمان در سطوح مختلف تنش شوری، صفات رنگدانه‌های فتوسنتزی،
- ۳۸۵ سطح برگ، محتوی نسبی آب برگ، وزن خشک و تر برگ در ذرت خوشه‌ای کاهش یافت اما در مقابل گیاه برای مقابله با شرایط
- ۳۸۶ تنش میزان قندهای محلول، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را بتدریج افزایش داد. علاوه بر این در رقم فومن که متحمل‌تر
- ۳۸۷ می‌باشد نسبت به رقم حساس مکانیسم‌های تحمل به تنش با افزایش بیشتر در صفات یاد شده به طور مؤثرتری رخ داد. با توجه به
- ۳۸۸ پتانسیل قابل توجه ذرت خوشه‌ای به ویژه ارقام متحمل همچون فومن در مقابله با تنش شوری، می‌تواند نویدبخش امکان استفاده
- ۳۸۹ بهینه از این ارقام در مناطق شور با اعمال مدیریت مناسب برای بهره‌برداری بهینه از منابع موجود باشد.

## منابع

- ۳۹۰
- ۳۹۱ پیراسته انوشه، هادی، رنجبر، غلامحسین، طباطبایی، سیدعلی (۱۳۹۹). اثر تنش شوری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و وزن
- ۳۹۲ خشک در کشت مخلوط سورگوم (*Sorghum bicolor*) و کوشیا (*Bassia indica*). دو فصلنامه علمی-پژوهشی خشک بوم،
- ۳۹۳ ۱۰(۱)، ۳۰-۱۴. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008790.1399.10.1.2.3>
- ۳۹۴ پیری، حلیمه، انصاری، حسین، و پارسا، مهدی (۱۳۹۵). بررسی عملکرد کمی و کیفی سورگوم علوفه‌ای در سطوح مختلف شوری
- ۳۹۵ و آب آبیاری در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۰(۴)، ۴۸۲-۴۶۸. <https://doi.org/10.22092/jwra.2017.109010>
- ۳۹۶
- ۳۹۷ حیدری، نسرین، علیزاده، یاسر، و علیزاده، حمزه علی (۱۳۹۸). بررسی برهمکنش تنش‌های شوری، خشکی و کود نیتروژن بر
- ۳۹۸ عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک ذرت (*Zea mays* L.). تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۲(۳)، ۹۰۵-
- ۳۹۹ <http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1448.1321> ۸۸۹
- ۴۰۰ حیدری شریف آبادی، حسین (۱۳۸۰). گیاه و شوری. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران.
- ۴۰۱ زارع بنادکوکي، حمیده، پوستینی، کاظم، عباسی، علیرضا (۱۳۹۹). اثر تنش شوری بر ویژگی‌های ریشه و توزیع یونی شش رقم گندم
- ۴۰۲ نان (*Triticum aestivum* L.). تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۳(۴)، ۱۳۱۸-۱۳۰۷. <http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.2090.1515>
- ۴۰۳
- ۴۰۴ سرمندیا، غلامحسین، و کوچکی، عوض (۱۳۷۴). جنبه‌های فیزیولوژیکی زراعت دیم. انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد.
- ۴۰۵ عمادی، علیرضا، علیزاده، امید، امیری، بهرام، پیراسته انوشه، هادی، و زارع، مهدی (۱۴۰۱). تأثیر تنش خشکی و شوری بر عملکرد،
- ۴۰۶ ویژگی‌های بیوشیمیایی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سورگوم علوفه‌ای. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۵(۲)، ۲۳۲-
- ۴۰۷ <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22287140.1401.36.2.6.5> ۲۱۸

- ۴۰۸ فرسرای، سارا، مهدی‌زاده، لیلا، مقدم، محمد و ابراهیمی، حسن (۱۳۹۸). تأثیر محلول‌پاشی پوترسین بر زیست‌توده، محتوای نسبی  
 ۴۰۹ آب برگ و میزان عناصر معدنی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت تنش شوری. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۸(۳۳)، ۴۱۱-  
 ۴۱۰ ۴۰۰.
- ۴۱۱ کاظمینی، عبدالرضا، و علی‌نبا، مژگان (۱۳۹۵). اثر تنش شوری بر رشد، عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ارقام سورگوم  
 ۴۱۲ علوفه‌ای. *نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*، ۲. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1396.7.2.3.0>.
- ۴۱۳ میری کندری، منیر، محمدی، سیدابوالقاسم، بنده‌حق، علی (۱۳۹۳). اثر تنش شوری بر خصوصیات ریشه ارقام جو Sahara 3771  
 ۴۱۴ (متحمل) و Clipper (حساس) به شوری. *تحقیقات غلات*، ۴(۱)، ۱۷۵-۱۸۴.
- ۴۱۵ مولوی، حسین، محمدی، مسعود، و لیاقت، عبدالمجید (۱۳۹۱). اثر مدیریت آب شور طی دوره رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد  
 ۴۱۶ ذرت دانه‌ای و پروفیل شوری خاک. *مجله علوم و مهندسی آبیاری اهواز*، ۳۵(۳)، ۱۱-۱۸. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.25885952.1391.35.3.2.0>  
 ۴۱۷ 25885952.1391.35.3.2.0  
 ۴۱۸
- ۴۱۹ Ahmad, P. and Prasad, M. N. V. (2011). Environmental adaptations and stress tolerance of plants in the era of climate  
 ۴۲۰ change. Springer Science & Business Media.
- ۴۲۱ Ahmed, I. M., Cao, F., Zhang, M., Chen, X., Zhang, G., and Wu, F. (2013). Difference in yield and physiological features  
 ۴۲۲ in response to drought and salinity combined stress during anthesis in Tibetan wild and cultivated barleys. *Plos One*,  
 ۴۲۳ 8(10), e77869. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077869>
- ۴۲۴ Akram, M., Malik, M. A., Ashraf, M. Y., Saleem, M. F., and Hussain, M. (2007). Competitive seedling growth and K/Na  
 ۴۲۵ ratio in different maize (*zea mays* L.) Hybrids under salinity stress. *Pakistan Journal of Botany*, 39(7), 2553-2563
- ۴۲۶ Angon, P.B., Tahjib-Ul-Arif, M., Samin, S.I., Habiba, U., Hossain, M.A., and Brestic, M. (2022). How do plants respond  
 ۴۲۷ to combined drought and salinity stress?—A systematic review. *Plants*, 11(21), 2884. <https://doi.org/10.3390/plants11212884>  
 ۴۲۸ 11212884
- ۴۲۹ AnsarShourijeh, F., and Sadeghi, H. (2017). Effects of salt stress on some growth parameters and chemical contents of  
 ۴۳۰ two forage sorghum lines. *Iran Agricultural Research*, 36(1), 25-32.
- ۴۳۱ Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*,  
 ۴۳۲ 24(1), 1. <https://doi.org/10.1104/2Fpp.24.1.1>
- ۴۳۳ Ashraf, M., and Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance.  
 ۴۳۴ *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206-216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
- ۴۳۵ Avila, R. G., Magalhães, P. C., da Silva, E. M., de Souza, K. R. D., Campos, C. N., de Alvarenga, A. A., and de Souza,  
 ۴۳۶ T. C. (2021). Application of silicon to irrigated and water deficit sorghum plants increases yield via the regulation of  
 ۴۳۷ primary, antioxidant, and osmoregulatory metabolism. *Agricultural Water Management*, 255, 107004. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107004>  
 ۴۳۸ /10.1016/j.agwat.2021.107004
- ۴۳۹ Azeem, M., Sultana, R., Mahmood, A., Qasim, M., Siddiqui, Z.S., Mumtaz, S., Javed, T., Umar, M., Adnan, M.Y., and  
 ۴۴۰ Siddiqui, M.H. (2023). Ascorbic and Salicylic Acids Vitalized Growth, Biochemical Responses, Antioxidant  
 ۴۴۱ Enzymes, Photosynthetic Efficiency, and Ionic Regulation to Alleviate Salinity Stress in Sorghum bicolor. *Journal of*  
 ۴۴۲ *Plant Growth Regulation*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-10907-2>
- ۴۴۳ Bajji, M., Lutts, S., and Kinet, J.-M. (2000). Physiological changes after exposure to and recovery from polyethylene  
 ۴۴۴ glycol-induced water deficit in callus cultures issued from durum wheat (*Triticum durum*.) cultivars differing in  
 ۴۴۵ drought resistance. *Journal of Plant Physiology*, 156(1), 75-83. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(00\)80275-8](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(00)80275-8)
- ۴۴۶ Bates, L., Waldren, R. A., and Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and*  
 ۴۴۷ *Soil*, 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>



- ٤٤٨ Bavei, V., Shiran, B., and Arzani, A. (2011). Evaluation of salinity tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor* L.) using ion  
 ٤٤٩ accumulation, proline and peroxidase criteria. *Plant Growth Regulation*, 64, 275-285. <https://doi.org/10.1007/s107>  
 ٤٥٠ 25-011-9568-z
- ٤٥١ Bavei, V., Shiran, B., and Arzani, A. (2011). Evaluation of salinity tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor* L.) using ion  
 ٤٥٢ accumulation, proline and peroxidase criteria. *Plant Growth Regulation*, 64, 275-285. <https://doi.org/10.1007/s10725-011-9568-z>  
 ٤٥٣
- ٤٥٤ Bian, S., and Jiang, Y. (2009). Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in  
 ٤٥٥ leaves and roots of Kentucky bluegrass in response to drought stress and recovery. *Scientia Horticulturae*, 120(2),  
 ٤٥٦ 264-270. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.10.014>
- ٤٥٧ Blum, A. (2000). Towards standard assays of drought resistance in crop plants. *Production in Water-Limited*  
 ٤٥٨ *Environments*, 29.
- ٤٥٩ Blum, A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or  
 ٤٦٠ mutually exclusive?. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(11), 1159-1168. <https://doi.org/10.1071/AR>  
 ٤٦١ 05069
- ٤٦٢ Blum, A. (2011). Drought resistance and its improvement. *Plant Breeding for Water-Limited Environments*, 53-152.  
 ٤٦٣ [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7491-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7491-4_3)
- ٤٦٤ Boyer, T. W. (2006). The development of risk-taking: A multi-perspective review. *Developmental Review*, 26(3), 291-  
 ٤٦٥ 345. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2006.05.002>
- ٤٦٦ Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing  
 ٤٦٧ the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- ٤٦٨ Chakraborty, U., Chakraborty, B., Dey, P., Chakraborty, A., and Sarkar, J. (2019). Biochemical responses of wheat plants  
 ٤٦٩ primed with *Ochrobactrum pseudogrignonense* and subjected to salinity stress. *Agricultural Research*, 8, 427-440.  
 ٤٧٠ <https://doi.org/10.1007/s40003-018-0394-7>
- ٤٧١ Croser, C., Renault, S., Franklin, J., and Zwiazek, J. (2001). The effect of salinity on the emergence and seedling growth  
 ٤٧٢ of *Picea mariana*, *Picea glauca*, and *Pinus banksiana*. *Environmental Pollution*, 115(1), 9-16. [https://doi.org/10.1016/](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00097-5)  
 ٤٧٣ [S0269-7491\(01\)00097-5](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00097-5)
- ٤٧٤ Earl, H.J., and Davis, R.F. (2003). Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of  
 ٤٧٥ maize. *Agronomy journal*, 95(3), 688-696. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.6880>
- ٤٧٦ El-Moneim, D. A., Alqahtani, M. M., Abdein, M. A., and Germoush, M. O. (2020). Drought and salinity stress response  
 ٤٧٧ in wheat: physiological and TaNAC gene expression analysis in contrasting Egyptian wheat genotypes. *Journal of*  
 ٤٧٨ *Plant Biotechnology*, 47(1), 1-14.
- ٤٧٩ Emadi, A., Alizadeh, O., Amiri, B., Pirasteh, H., and Zareh, M. (2022). Effect of drought and salinity stress on yield,  
 ٤٨٠ biochemical characteristics, and activity of antioxidant enzymes of sorghum. *Journal of Water Research in*  
 ٤٨١ *Agriculture*, 36, 2. <https://doi.org/10.22092/jwra.2022.358226.919>
- ٤٨٢ FAO. 2022. FAO data based online. Available at, <http://faostat.fao.org>.
- ٤٨٣ Farooq, A., Bukhari, S. A., Akram, N. A., Ashraf, M., Wijaya, L., Alyemeni, M. N., and Ahmad, P. (2020). Exogenously  
 ٤٨٤ applied ascorbic acid-mediated changes in osmoprotection and oxidative defense system enhanced water stress  
 ٤٨٥ tolerance in different cultivars of safflower (*Carthamus tinctorious* L.). *Plants*, 9(1), 104. [https://doi.org/10.3390/](https://doi.org/10.3390/plants9010104)  
 ٤٨٦ [plants9010104](https://doi.org/10.3390/plants9010104)
- ٤٨٧ Hajihashemi, S., Skalicky, M., Brestic, M., and Pavla, V. (2020). Cross-talk between nitric oxide, hydrogen peroxide and  
 ٤٨٨ calcium in salt-stressed *Chenopodium quinoa* Willd. At seed germination stage. *Plant Physiology and*  
 ٤٨٩ *Biochemistry*, 154, 657-664. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.022>
- ٤٩٠ Hashemi, A., Abdolzadeh, A., and Sadeghipour, H. R. (2010). Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity  
 ٤٩١ stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L., plants. *Soil Science & Plant Nutrition*, 56(2), 244-253.  
 ٤٩٢ <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00443.x>

- ٤٩٣ Hojati, M., Modarres-Sanavy, S. A. M., Karimi, M., and Ghanati, F. (2011). Responses of growth and antioxidant systems  
 ٤٩٤ in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33, 105-112. [https://doi.org/](https://doi.org/10.1007/s11738-010-0521-y)  
 ٤٩٥ /10.1007/s11738-010-0521-y
- ٤٩٦ Hossain, A., da Silva, J. A. T., Lozovskaya, M. V., and Zvolinsky, V. P. (2012). High temperature combined with drought  
 ٤٩٧ affect rainfed spring wheat and barley in South-Eastern Russia: I. Phenology and growth. *Saudi journal of Biological*  
 ٤٩٨ *Sciences*, 19(4), 473-487. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.07.005>
- ٤٩٩ Hozayn, M., and Ahmed, A. A. (2019). Effect of magneto-priming by tryptophan and ascorbic acid on germination  
 ٥٠٠ attributes of barley (*Hordeum vulgare* L.) under salinity stress. *EurAsian Journal of Bio Sciences*, 13(1), 245-251.
- ٥٠١ Hu, L., Wang, Z., Du, H., and Huang, B. (2010). Differential accumulation of dehydrins in response to water stress for  
 ٥٠٢ hybrid and common bermudagrass genotypes differing in drought tolerance. *Journal of plant physiology*, 167(2), 103-  
 ٥٠٣ 109. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.07.008>
- ٥٠٤ Huang, C., Zong, L., Buonanno, M., Xue, X., Wang, T., and Tedeschi, A. (2012). Impact of saline water irrigation on  
 ٥٠٥ yield and quality of melon (*Cucumis melo* cv. Huanghemi) in northwest China. *European Journal of Agronomy*, 43,  
 ٥٠٦ 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.05.008>
- ٥٠٧ Huang, C.C., Lee, Y.T., Ly, T.T., Wang, C.Y., Chang, Y.T., Hou, P.F., Liu, Z.H., and Huang, H.J. (2023). Volatile  
 ٥٠٨ cinnamaldehyde induces systemic salt tolerance in the roots of rice (*Oryza sativa*). *Physiologia Plantarum*, 13938.  
 ٥٠٩ <https://doi.org/10.1111/ppl.13938>
- ٥١٠ Irigoyen, J., Eimerich, D., and Sánchez-Díaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and  
 ٥١١ total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84(1), 55-60. [https://doi.org/](https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x)  
 ٥١٢ /10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x
- ٥١٣ Jiang, Y., and Huang, B. (2001). Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant  
 ٥١٤ metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science*, 41(2), 436-442. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412436x>
- ٥١٥ Jouyban, A., Give, H. S., and Noryan, M. (2015). Relationship between agronomic and morphological traits in barley  
 ٥١٦ varieties under drought stress condition. *International Research Journal of Applied & Basic Sciences*, 9(9), 1507-  
 ٥١٧ 1511.
- ٥١٨ Kafi, M., Nabati, J., Masoumi, A., and Mehrgerdi, M. Z. (2011). Effect of salinity and silicon application on oxidative  
 ٥١٩ damage of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.]. *Pakistan Journal of Botany*, 43(5), 2457-2462.
- ٥٢٠ Kapanigowda, M. H., Payne, W. A., Rooney, L., and Mullet, J. E. (2012). Transpiration ratio in sorghum [*Sorghum*  
 ٥٢١ *bicolor* (L.) Moench] for increased water-use efficiency and drought tolerance. *Journal of Arid Land Studies*, 21(2),  
 ٥٢٢ 175-178.
- ٥٢٣ Kariola, T., Brader, G., Li, J., and Palva, E. T. (2005). Chlorophyllase 1, a damage control enzyme, affects the balance  
 ٥٢٤ between defense pathways in plants. *The Plant Cell*, 17(1), 282-294. <https://doi.org/10.1105/tpc.104.025817>
- ٥٢٥ Mai, W., Tian, C., and Li, C. (2013). Soil salinity dynamics under drip irrigation and mulch film and their effects on  
 ٥٢٦ cotton root length. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44(9), 1489-1502. [https://doi.org/10.1080/](https://doi.org/10.1080/00103624.2012.760573)  
 ٥٢٧ 00103624 .2012.760573
- ٥٢٨ Mansour, M. M. F., and Ali, E. F. (2017). Evaluation of proline functions in saline conditions. *Phytochemistry*, 140, 52-  
 ٥٢٩ 68. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2017.04.016>
- ٥٣٠ Mansour, M.M.F., Emam, M.M., Salama, K.H.A., and Morsy, A.A. (2021). Sorghum under saline conditions: Responses,  
 ٥٣١ tolerance mechanisms, and management strategies. *Planta*, 254, 1-38. <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03671-8>
- ٥٣٢ Moradi, F. (2002). Physiological characterization of rice cultivars for salinity tolerance during vegetative and reproductive  
 ٥٣٣ stages. *Los Baños, Laguna, Philippines*, 190, p
- ٥٣٤ Mottaleb, K.A., Kruseman, G., Frija, A., Sonder, K., and Lopez-Ridaura, S. (2023). Projecting wheat demand in China  
 ٥٣٥ and India for 2030 and 2050: Implications for food security. *Frontiers in Nutrition*, 26(9), 1077443.  
 ٥٣٦ <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1077443>



- 037 Mulaudzi, T., Nkuna, M., Sias, G., Doumbia, I.Z., Njomo, N., and Iwuoha, E. (2022). Antioxidant capacity of chitosan  
038 on sorghum plants under salinity stress. *Agriculture*, 12(10), 1544. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101544>
- 039 Mulaudzi, T., Nkuna, M., Sias, G., Doumbia, I.Z., Njomo, N., and Iwuoha, E. (2022). Antioxidant capacity of chitosan  
040 on sorghum plants under salinity stress. *Agriculture*, 12(10),1544. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101544>
- 041 Naeem, M., Basit, A., Ahmad, I., Mohamed, H.I., and Wasila, H. (2020). Effect of Salicylic Acid and Salinity Stress on  
042 the Performance of Tomato Plants. *Gesunde Pflanzen*, 72(4). <https://doi.org/10.1007/s10343-020-00521-7>
- 043 Nakano, Y., and Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach  
044 chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22(5), 867-880. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>
- 045 Pakar, N., Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., and Pessarakli, M. (2016). Barley growth, yield, antioxidant enzymes, and  
046 ion accumulation affected by PGRs under salinity stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 39(10), 1372-1379.  
047 <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1143498>
- 048 Parida, A. K., and Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and  
049 Environmental Safety*, 60(3), 324-349. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>
- 050 Parvaiz, A. and Satyawati, S. (2008). Salt stress and phyto-biochemical responses of plants-a review. *Plant soil and  
051 environment*, 54(3), 89. <http://dx.doi.org/10.17221/2774-PSE>
- 052 Pask, A., Pietragalla, J., Mullan, D., and Reynolds, M. (2012). Physiological Breeding II: A Field Guide to Wheat  
053 Phenotyping.
- 054 Pinheiro, C., and Chaves, M. (2011). Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available  
055 data?. *Journal of Experimental Botany*, 62(3), 869-882. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq340>
- 056 Plewa, M. J., Smith, S. R., and Wagner, E. D. (1991). Diethyldithiocarbamate suppresses the plant activation of aromatic  
057 amines into mutagens by inhibiting tobacco cell peroxidase. *Mutation Research/Fundamental and Molecular  
058 Mechanisms of Mutagenesis*, 247(1), 57-64. [https://doi.org/10.1016/0027-5107\(91\)90033-K](https://doi.org/10.1016/0027-5107(91)90033-K)
- 059 Qin, F., Shinozaki, K., and Yamaguchi-Shinozaki, K. (2011). Achievements and challenges in understanding plant abiotic  
060 stress responses and tolerance. *Plant and Cell Physiology*, 52(9), 1569-1582. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcr106>
- 061 Rahal, A., Kumar, A., Singh, V., Yadav, B., Tiwari, R., Chakraborty, S., and Dhama, K. (2014). Oxidative stress,  
062 prooxidants, and antioxidants: the interplay. *BioMed Research International*. <https://doi.org/10.1155/2014/761264>
- 063 Rahnama, A., Fakhri, S., and Meskarbashee, M. (2019). Root growth and architecture responses of bread wheat cultivars  
064 to salinity stress. *Agronomy Journal*, 111(6), 2991-2998. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.12.0795>
- 065 Rani, C. R., Reema, C., Alka, S., and PK, S. (2012). Salt tolerance of Sorghum bicolor cultivars during germination and  
066 seedling growth. *Research Journal of Recent Sciences*. 2277: 2502.
- 067 Rooney, W. L., Blumenthal, J., Bean, B., and Mullet, J. E. (2007). Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock.  
068 *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 1(2), 147-157. <https://doi.org/10.1002/bbb.15>
- 069 Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., Romero, L., and Ruiz,  
070 J.M. (2010). Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate  
071 drought in tomato plants. *Plant Science*, 178(1), 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.10.001>
- 072 Sanjari, S., Shirzadian-Khorramabad, R., Shobbar, Z.-S., and Shahbazi, M. (2019). Systematic analysis of NAC  
073 transcription factors' gene family and identification of post-flowering drought stress responsive members in sorghum.  
074 *Plant Cell Reports*, 38, 361-376. <https://doi.org/10.1007/s00299-019-02371-8>
- 075 Seleiman, M.F., Aslam, M.T., Alhammad, B.A., Hassan, M.U., Maqbool, R., Chattha, M.U., Khan, I., Gitari, H.I., Uslu,  
076 O.S., Roy, R., and Battaglia, M.L. (2022). Salinity stress in wheat: effects, mechanisms and management strategies.  
077 *Phyton*, 91(4), <http://dx.doi.org/10.32604/phyton.2022.017365>
- 078 Shakeri, E., Emam, Y., Tabatabaei, S., and Sepaskhah, A. (2017). Evaluation of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.)  
079 lines/cultivars under salinity stress using tolerance indices. *International Journal of Plant Production*, 11(1).

- ٥٨٠ Sharif, P., Seyedsalehi, M., Paladino, O., Van Damme, P., Sillanpää, M., and Sharifi, A.A. (2018). Effect of drought and  
 ٥٨١ salinity stresses on morphological and physiological characteristics of canola. *International Journal of Environmental*  
 ٥٨٢ *Science and Technology*, 15, 1859-1866. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1508-7>
- ٥٨٣ Stoskopf, N.C. (1985). *Cereal Grain Crops*. Reston Publishing Company Inc.
- ٥٨٤ Swami, A. K., Alam, S. I., Sengupta, N., and Sarin, R. (2011). Differential proteomic analysis of salt stress response in  
 ٥٨٥ *Sorghum bicolor* leaves. *Environmental and Experimental Botany*, 71(2), 321-328. [https://doi.org/10.1016/j.](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.12.017)  
 ٥٨٦ [envexpbot.2010.12.017](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.12.017)
- ٥٨٧ Tabatabaei, S., and Anaghali, A. (2012). Effects of salinity on some characteristics of forage sorghum genotypes at  
 ٥٨٨ germination stage. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, 4(14), 979-983
- ٥٨٩ Tari, I., Laskay, G., Takács, Z., and Poór, P. (2013). Response of sorghum to abiotic stresses: A review. *Journal of*  
 ٥٩٠ *Agronomy and Crop Science*, 199(4), 264-274. <https://doi.org/10.1111/jac.12017>
- ٥٩١ Vaezi, B., Bavei, V., and Shiran, B. (2010). Screening of barley genotypes for drought tolerance by agro-physiological  
 ٥٩٢ traits in field condition. *African Journal of Agricultural Research*, 5(9), 881-892. [https://doi.org/10.5897/AJ](https://doi.org/10.5897/AJAR09.294)  
 ٥٩٣ [AR09.294](https://doi.org/10.5897/AJAR09.294)
- ٥٩٤ Wasson, A.P., Richards, R.A., Chatrath, R., Misra, S.C., Prasad, S.S., Rebetzke, G.J., Kirkegaard, J.A., Christopher, J.,  
 ٥٩٥ and Watt, M. (2012). Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat  
 ٥٩٦ crops. *Journal of Experimental Botany*, 63(9), 3485-3498. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers111>
- ٥٩٧ Xia, Y., Li, R., Ning, Z., Bai, G., Siddique, K.H., Yan, G., Baum, M., Varshney, R.K., and Guo, P. (2013). Single  
 ٥٩٨ nucleotide polymorphisms in HSP17. 8 and their association with agronomic traits in barley. *PLoS One*, 8(2), e56816.  
 ٥٩٩ <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056816>
- ٦٠٠ Yoshimura, K., Yabuta, Y., Ishikawa, T., and Shigeoka, S. (2000). Expression of spinach ascorbate peroxidase  
 ٦٠١ isoenzymes in response to oxidative stresses. *Plant Physiology*, 123(1), 223-234. [https://doi.org/10.1104/](https://doi.org/10.1104/pp.123.1.223)  
 ٦٠٢ [pp.123.](https://doi.org/10.1104/pp.123.1.223)
- ٦٠٣ Zhang, Y., Li, D., Wang, Y., Zhou, R., Wang, L., Zhang, Y., Yu, J., Gong, H., You, J., and Zhang, X. (2018). Genome-  
 ٦٠٤ wide identification and comprehensive analysis of the NAC transcription factor family in *Sesamum indicum*. *PLoS*  
 ٦٠٥ *One*, 13(6), e0199262. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199262>
- ٦٠٦
- ٦٠٧
- ٦٠٨
- ٦٠٩
- ٦١٠
- ٦١١
- ٦١٢
- ٦١٣
- ٦١٤
- ٦١٥
- ٦١٦
- ٦١٧

618 **Evaluation of changes in the trend in physiological and morphological**  
619 **characteristics of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under different levels of**  
620 **salinity stress at different time intervals**

621  
622 **Hossein Kazemi<sup>1</sup>, Atefeh Sabouri<sup>2\*</sup>, Ali Aalami<sup>3</sup>, Amin Abedi<sup>4</sup>**

623 **1. Graduated Ph.D, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences,**  
624 **University of Guilan. Email: [hosseinkazemiii@yahoo.com](mailto:hosseinkazemiii@yahoo.com)**

625 **2. Assoc. Prof, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences,**  
626 **University of Guilan. Email: [a.sabouri@guilan.ac.ir](mailto:a.sabouri@guilan.ac.ir)**

627 **3. Assoc. Prof, Department of Plant Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, University of**  
628 **Guilan. Email: [ali\\_aalami@guilan.ac.ir](mailto:ali_aalami@guilan.ac.ir)**

629 **4. Graduated Ph.D, Department of Plant Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, University**  
630 **of Guilan. Email: [abedi.amin@yahoo.com](mailto:abedi.amin@yahoo.com)**

631 **\*Corresponding author address: Atefeh Sabouri: P.O.Box: 41635-1314, IRAN. Tell: +983133690274, Fax:**  
632 **+983133690281. E-mail: [a.sabouri@guilan.ac.ir](mailto:a.sabouri@guilan.ac.ir)**

633 **Abstract**

634 Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench), known for its high photosynthetic efficiency and biomass  
635 production, is utilized for various purposes, including food, animal feed, fiber, and fossil fuels. Salinity  
636 stress stands as a significant abiotic stressor that exerts numerous adverse effects on growth and crop yield.  
637 In order to investigate the physiological and morphological response of sorghum to salinity stress, a pot  
638 experiment was conducted in the greenhouse and laboratory of the University of Guilan, Iran, following a  
639 factorial split-plot design based on a randomized complete blocks design with three replications in 2021.  
640 The sorghum cultivars, Fuman and Sepideh, were subjected to salinity stress at four different levels,  
641 including control, 75 mM, 125 mM, and 175 mM NaCl, in the 4-5 leaf stage, with subsequent measurements  
642 taken at 24, 48, 72, and 96 hours after stress exposure. The results of the variance analysis demonstrated  
643 that the interaction between cultivars Fuman and Sepideh, various levels of salinity stress, and sampling  
644 times had a significant effect on the measured indices at the 1% level. Mean comparisons of treatment  
645 combinations indicated that proline, soluble sugars, ascorbate peroxidase, peroxidase, electrolyte leakage,  
646 and root length traits increased under salinity stress, showing a positive correlation with stress intensity. In  
647 contrast, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoid, protein, plant height, relative water content (RWC), leaf  
648 area, plant fresh weight, and plant dry weight decreased under salinity stress, with these traits declining as  
649 the stress level increased. In terms of the percentage of changes, soluble sugars had the greatest effect on  
650 stress, while RWC had the least impact. Based on the results, it can be concluded that sorghum employs  
651 mechanisms such as increasing the activity of antioxidant enzymes, proteins, and osmotic regulation  
652 through important osmolytes such as proline and soluble sugars to achieve tolerance to salinity stress.  
653 Additionally, the findings revealed that the Foman cultivar, known for its higher tolerance, exhibited a more  
654 favorable response to reducing oxidative damage caused by salinity stress compared to the Sepideh cultivar,  
655 making it a potential candidate for areas exposed to salinity stress through the implementation of  
656 appropriate management strategies.

657 **Keywords:** Antioxidant, Compatible osmolytes, Photosynthetic pigments, Sorghum.