فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۰، خرداد و تیرماه ۱۴۰۳ صفحه: ۱۲۱-۱۴۵
https://doi.org/10.22034/13.60.121

مقاله پژوهشی

ارزیابی روند تغییرات صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک ذرت خوشه‌ای (*Sorghum bicolor* L.) تحت سطوح مختلف شوری در بازه‌های زمانی متفاوت

حسین کاظمی[۱]، عاطفه صبوری[۱*]، علی اعلمی[۲] و امین عابدی[۲]
[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران
[۲] گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸)

چکیده
ذرت خوشه‌ای با کارایی بالا فتوسنتزی و تولید زیست‌توده به عنوان مواد غذایی، خوراک دام، فیبر و سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شود. تنش شوری یکی از مهمترین تنش‌های غیرزیستی است که تأثیرات منفی زیادی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی از جمله ذرت خوشه‌ای دارد. به منظور بررسی روند پاسخ‌های فیزیولوژی و مورفولوژی ذرت خوشه‌ای به تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۰ در گلخانه و آزمایشگاه دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان به صورت گلدانی اجرا شد. 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 مرحله ۵-۴ برگی اعمال شد. صفات مورد نظر در طی چهار مرحله زمانی شامل ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از اعمال تنش اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش ارقام فومن و سپیده، سطوح مختلف شوری و زمان‌های نمونه‌برداری تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های مورد اندازه‌گیری در سطح یک درصد داشتند. نتایج مقایسات میانگین ترکیبات تیماری نشان داد که صفات پرولین، قندهای محلول، فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز، نشت یونی و طول ریشه تحت تنش شوری روند افزایشی داشتند به‌طوری‌که با افزایش شدت تنش میزان این صفات افزایش یافت. در مقابل میزان صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، پروتئین، ارتفاع گیاه، محتوای نسبی آب، سطح برگ، وزن تر گیاه و وزن خشک گیاه تحت تنش شوری روند کاهشی داشتند و با افزایش سطح تنش میزان این صفات کاهش یافت. براساس درصد تغییرات، صفات قندهای محلول و محتوی نسبی آب برگ بیشترین و کمترین تأثیر را از تنش نشان دادند. براساس نتایج، می‌توان دریافت که در ذرت خوشه‌ای از سازوکارهایی همچون افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پروتئین و تنظیم اسمزی از طریق اسمولیت‌های مهم از جمله پرولین و قندهای محلول برای ایجاد تحمل به تنش به شوری استفاده می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که تحت تنش شوری رقم فومن 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 مناطقی که در معرض تنش شوری هستند، با اعمال مدیریت مناسب، بهره‌برداری بهینه کرد.

کلمات کلیدی: آنتی‌اکسیدان، حفاظت‌کننده‌های اسمزی، رنگدانه‌های فتوسنتزی، سورگوم

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: a.sabouri@guilan.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

مقدمه

تنش شوری از مهمترین تنش‌های محیطی است که آثار منفی آن بر رشد، بهره‌وری و تولید گیاهان زراعی باعث افزایش مطالعات در این زمینه با هدف بهبود تحمل گیاهان شده است. برآوردها نشان می‌دهد که حدود ۲۰ درصد از زمین‌های کشاورزی تحت تأثیر تنش شوری قرار دارند و وسعت این اراضی به دلیل فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب و هوایی به‌طور مداوم در حال افزایش می‌باشد (Seleiman, 2022). همچنین پیش‌بینی می‌شود جمعیت جهان از ۷/۷ میلیارد نفر در سال ۲۰۲۰ به ۱۰/۶ میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰ افزایش می‌یابد که منجر به افزایش تقاضا برای تولید غذا و فیبر می‌شود (Mottaleb *et al*., 2023). این بدان معنی است که اقدامات مناسب برای اطمینان از امنیت غذایی یک اولویت است (Ahmad and Prasad, 2011). در نتیجه هدف اولیه برنامه‌های به‌نژادی گیاهی، شناسایی مکانیسم‌های مولکولی، فیزیولوژیکی و گسترش ارقامی است که می‌توانند شرایط تنش را تحمل کنند. هنگامی که محصولات تحت تنش‌های غیرزیستی قرار می‌گیرند، درک و انتقال سیگنال‌های تنش باعث می‌شود که ژن‌های مرتبط با تنش فعال شوند و درنتیجه تغییرات مولکولی، فیزیولوژیکی و متابولیکی ایجاد می‌شود که گیاه را با تنش‌های محیطی از جمله شوری سازگار می‌کند (Qin *et al*., 2011; Zhang *et al*., 2018).

ذرت خوشه‌ای با نام علمی *Sorghum bicolor* L. گیاهی است از تیره غلات، یک‌ساله، روز کوتاه، دیپلوئید (۲n = ۲۰)، خودگشن و دارای سیستم فتوسنتزی C_4 با کارایی بالا فتوسنتزی و تولید زیست‌توده است که از نظر تولید در سطح جهانی بعد از گندم (*Triticum aestivum*)، ذرت (*Zea mays*)، برنج (*Oryza sativa*) و جو (*Hordeum vulgare*) در ردیف پنجم می‌باشد و از آن به عنوان مواد غذایی، خوراک دام، فیبر و سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شود (Stoskopf, 1985; Rooney *et al*., 2007; Sanjari *et al*., 2019). سطح زیر کشت ذرت خوشه‌ای در جهان حدود ۴۲/۶۳ میلیون هکتار با بهره‌وری کل ۶۱/۸۲ میلیون تن و میزان تولید ۱/۳۳ تن در هکتار است که هندوستان، نیجریه، سودان و ایالات‌متحده آمریکا بیشترین سطح زیرکشت ذرت خوشه‌ای در جهان را دارند (FAO, 2022). همچنین، ذرت خوشه‌ای به دلیل تکامل در مناطق با بارش کم و نامنظم آفریقا و تحمل بالا به شرایط تنش از جمله شوری به عنوان گیاه مدل برای مطالعات ژنتیکی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی تحمل به تنش در گونه‌های غلات محسوب می‌شود (Kapanigowda *et al*., 2012; Tari *et al*., 2013).

پاسخ گیاهان زراعی به تنش شوری از جنبه‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مورفولوژیکی از جمله افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پروتئین و تنظیم اسمزی توسط محققین زیادی بررسی شده است. برخی از این پژوهش‌ها، منجر به شناخت رهیافت‌های مهمی برای بهبود تحمل به شوری شده‌اند. تنظیم اسمزی یکی از سازوکارهای مؤثر تحمل به تنش در گیاهان است و با حفظ پتانسیل تورگر سلول‌ها از طریق کاهش پتانسیل اسمزی با تجمع اسمولیت‌های سازگار به رشد و توسعه سلولی گیاه در شرایط تنش 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).

محققین با مطالعه اثر تنش شوری بر روی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کیتوزان ذرت خوشه‌ای نشان دادند که شوری با ایجاد تنش‌های اسمزی و یونی بر رشد محصول تأثیر می‌گذارد که باعث آسیب اکسیداتیو به دلیل افزایش گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. در این مطالعه تنش شوری باعث کاهش رشد، وزن تر و وزن خشک، شکل و اندازه روزنه‌ها، تغییر شکل لایه‌های آوند چوبی و آبکش و افزایش نسبت Na^+/Si^+ شد. همچنین شوری باعث افزایش پرولین، قندهای محلول، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز شد که نشان‌دهنده مقابله مناسب ذرت خوشه‌ای در کاهش آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش شوری می‌باشد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کیتوزان برای کاهش اثرات تنش شوری به نقش آن در بهبود تجمع سیلیکون در ذرت خوشه‌ای مرتبط است که منجر به کاهش آسیب اکسیداتیو می‌گردد (Mulaudzi *et al*., 2022).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

پیراسته انوشه و همکاران، (۱۳۹۹) با مطالعه اثر تنش شوری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و وزن خشک ذرت خوشه‌ای نشان دادند که تنش شوری موجب تغییرات معنی‌داری در رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک ذرت خوشه‌ای شد؛ به‌طوری‌که شوری ۱۴ دسی‌زیمنس در متر باعث کاهش وزن خشک و غلظت پتاسیم و افزایش غلظت سدیم، کلر و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز، آسکوربیک پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز شد.

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

مواد و روش‌ها

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

جهت اندازه‌گیری 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 اندازه‌گیری شد (Irigoyen *et al.*, 1992). برای اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ، وزن تازه (Fresh weight) برگ‌ها بلافاصله پس از چیده شدن یادداشت شد. سپس نمونه‌های گیاهی در فالکون‌های حاوی آب‌مقطر در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند و سپس وزن آماس (Turgid weight) آنها اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری وزن خشک (Dry weight)، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت درون پاکت‌های کاغذی در آون (۷۰ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند تا کاملاً خشک شوند. در نهایت با استفاده از رابطه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

۴ محتوی نسبی آب برگ برآورد شد (Pask *et al.*, 2012).
(رابطه ۱)

RWC(%) = [(وزن تازه – وزن خشک) / (وزن آماس – وزن خشک)] ×۱۰۰

جهت تعیین مقدار پروتئین کل از روش (Bradford, 1976) استفاده شد. سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از گایاکول و اندازه‌گیری میزان جذب تتراگایاکول تشکیل‌شده از گایاکول در نتیجه فعالیت پراکسیداز، در ۴۷۰ نانومتر انجام گرفت. مخلوط واکنش شامل بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷، پراکسید هیدروژن (۰/۳٪) و گایاکول (۱٪) است. واکنش با افزودن ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به مخلوط واکنش در ۲۵ درجه سلسیوس آغاز شد. میزان جذب تتراگایاکول (حاصل از اکسیدشدن 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 تتراگایاکول (ε=۲۵/۵ $mMol^{-1}cm^{-1}$) و فرمول $A=\varepsilon bc$، مقدار تتراگایاکول تشکیل‌شده محاسبه شد. این مقدار از تتراگایاکول معادل فعالیت یک واحد آنزیم پراکسیداز می‌باشد (Plewa *et al.*, 1991). مخلوط واکنش جهت سنجش آسکوربات پراکسیداز شامل بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷، آسکوربات ۰/۵ میلی‌مولار، H_2O_2 ۰/۱۵ میلی‌مولار، EDTA ۰/۱ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. به دنبال اکسیدشدن 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 طول‌موج ۲۹۰ نانومتر، ضریب خاموشی آسکوربات (ε=۲/۸ $mMol^{-1}cm^{-1}$) و فرمول $A=\varepsilon bc$، میزان آسکوربات برجای مانده پس از ۲ دقیقه انجام واکنش آنزیمی محاسبه شد. یک واحد آنزیمی آسکوربات پراکسیداز مقدار آنزیمی است که یک میلی‌مول آسکوربات را در یک دقیقه اکسید می‌کند (Nakano and Asada, 1981).

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه، پس از بررسی مفروضات تجزیه واریانس و اطمینان از برقراری مفروضات، با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه واریانس شدند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD (حداقل اختلاف معنی‌دار) انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژی و مورفولوژی مورد بررسی نشان داد که برهمکنش ارقام متحمل فومن و حساس سپیده، سطوح مختلف شوری و زمان‌های نمونه‌برداری تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های مورد اندازه‌گیری در سطح یک درصد داشتند. نتایج مقایسات میانگین ترکیبات تیماری نیز نشان داد که صفات پرولین، قندهای محلول، آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز و طول ریشه تحت تنش شوری روند افزایشی داشتند به‌طوری‌که با افزایش شدت تنش میزان این صفات افزایش یافت. میزان صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، پروتئین، ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن تر گیاه و وزن خشک گیاه تحت تنش شوری روند کاهشی داشتند و با افزایش سطح تنش میزان این صفات کاهش یافت. همچنین میزان صفات پرولین، قندهای محلول، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز دو برابر و طول ریشه و نشت الکترولیت به ترتیب ۸۲ و ۷۵ درصد در شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش افزایش یافت و میزان صفات کلروفیل a، b، کاروتنوئید، پروتئین، محتوی نسبی آب برگ، ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن تر و خشک 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 صفات میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و اسمولیت‌های سازگار از جمله پرولین و قندهای محلول بیشترین تأثیر را از تنش داشتند و می‌توان نتیجه گرفت که گیاه ذرت خوشه‌ای بیشتر از طریق این مکانیسم‌ها برای مقابله با شرایط تنش استفاده می‌کند (جدول ۲).

دیگر محققین نیز با مطالعه اثر تنش شوری بر رشد،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

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

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		پرولین	قندهای محلول	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	آسکوربات پراکسیداز	پراکسیداز	نشت الکترولیت
بلوک (تکرار)	۲	۰/۷۴**	۰/۵۵^{ns}	۱۱/۸۹**	۶/۶۰**	۵/۶۲**	۰/۶۲^{ns}	۰/۳۶^{ns}	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**
(A×B)	۳	۳/۸۳**	۹۰/۸۲**	۶/۱۷*	۱۸/۳۹**	۴/۵۲**	۷/۹۳**	۱/۶۳**	۴/۲۳^{ns}
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**
(A×C)	۹	۹/۴۰**	۱۷۴/۲۷**	۱۴/۷۹**	۳/۰۹*	۱/۵۳**	۳/۳۲**	۲/۳۰۳**	۱۸/۳۰۵^{ns}
(B×C)	۳	۰/۱۲**	۲/۳۲^{ns}	۴/۴۶^{ns}	۰/۸۸^{ns}	۰/۲۸^{ns}	۰/۲۶^{ns}	۰/۴۷*	۰/۱۶^{ns}
(A×B×C)	۹	۰/۴۴**	۲/۰۵^{ns}	۱/۵۵^{ns}	۰/۵۵^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۰/۷۲*	۰/۲۹^{ns}	۱/۳۸^{ns}
خطای ۲	۴۸	۰/۲۴	۱/۱۹	۱/۸	۱/۳۸	۰/۵۳	۰/۳۴	۰/۱۶	۱۱/۴۶
ضریب تغییرات (٪)		۴/۲۷	۹/۹۶	۱۰/۵۷	۱۳/۵	۱۱/۱۲	۱۳/۹	۱۲/۴۹	۷/۸۱

^{ns} غیرمعنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ادامه جدول ۱-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		پروتئین	طول ریشه	محتوی نسبی آب برگ	ارتفاع گیاه	سطح برگ	وزن تر گیاه	وزن خشک گیاه
بلوک (تکرار)	۲	۰/۱۶^{ns}	۰/۳۸^{ns}	۶/۵۷^{ns}	۱۰۴/۷۹**	۱۸/۴۱^{ns}	۱۱/۳۹^{ns}	۱۲۳/۷۲**
شوری (A)	۳	۷۴۳/۹۰۲**	۱۰۸/۷۹**	۱۵۶۹/۴۴**	۲۵۰۲/۲۲**	۲۷۴۳/۸۰۲**	۶۸۹۶/۶۰۷**	۱۷۴۳/۱۷**
ارقام (B)	۱	۱۴۷/۹۸**	۳۰/۶۰**	۱۶۶/۰۵**	۱۰۰۸/۸۰۶**	۱۸۱۳/۴۲**	۱۱۲۵/۴۵**	۴۱۲/۰۹**
(A×B)	۳	۶/۸۷**	۰/۱۳^{ns}	۲۲/۳۷^{ns}	۱۳/۵۴^{ns}	۷/۶۲^{ns}	۱۲/۸۴^{ns}	۶/۱۰*
خطای ۱	۱۴	۰/۱۸	۰/۱۷	۲۲/۴۳	۳۵/۴۷	۳۴/۸۹	۸/۶۵	۲/۹۰۳
زمان نمونه‌برداری (C)	۳	۲۵/۱۶**	۳/۹۸**	۷۲/۱۴**	۳۵/۴۹^{ns}	۳۶/۵۷^{ns}	۷۵/۴۲**	۴/۱۴^{ns}
(A×C)	۹	۳/۷۱**	۵/۶۵**	۶/۴۶^{ns}	۱۰/۴۸^{ns}	۳۸/۰۰۵^{ns}	۸۰/۵۱**	۳۶/۶۴**
(B×C)	۳	۰/۷۲*	۰/۱۲^{ns}	۴/۵۹^{ns}	۱/۰۷^{ns}	۰/۲۵^{ns}	۲/۱^{ns}	۱/۱۷^{ns}
(A×B×C)	۹	۰/۷۳**	۰/۱۵^{ns}	۲/۶۰۹^{ns}	۱/۳۶^{ns}	۱/۱۵^{ns}	۱/۰۲^{ns}	۱/۶۶^{ns}
خطای ۲	۴۸	۰/۲۸	۰/۵۷	۲۳/۹۲	۱۷/۷۸	۲۲/۳۵	۱۰/۱۷	۲/۲۲
ضریب تغییرات (٪)		۱۴/۰۲	۱۱/۷۸	۶/۸۵	۷/۹۵	۹/۵۸	۹/۷۸	۹/۴۷

^{ns} غیرمعنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ارقام ذرت خوشه‌ای دریافتند که بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از لحاظ صفات میزان مالون دی‌آلدهید و پرولین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، نسبت وزن تر و خشک برگ به ساقه و وزن خشک و تر اندام هوایی تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین نتایج این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

جدول ۲- میانگین و درصد تغییرات صفات اندازه‌گیری شده در متوسط شرایط تنش (میانگین صفات در شرایط تنش) نسبت به بدون تنش

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

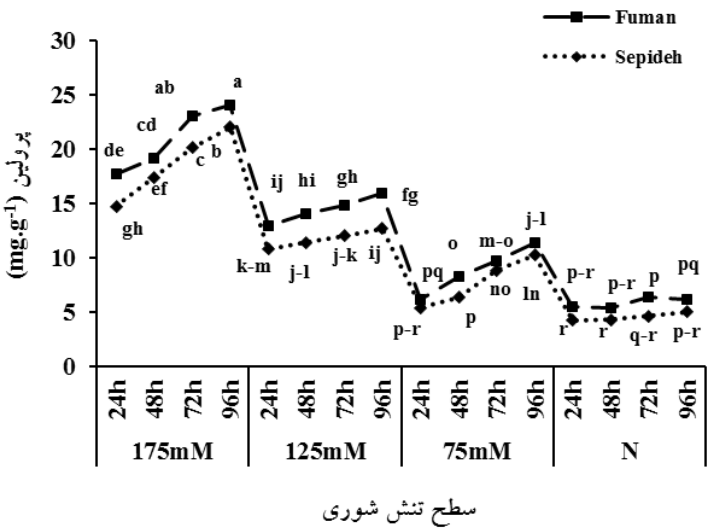
مطالعه نشان داد که تنش شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، میزان مالون دی‌آلدهید و پرولین و کاهش ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، نسبت وزن خشک و تر برگ به ساقه و وزن خشک و تر اندام هوایی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شد (کاظمینی و علی‌نیا، ۱۳۹۵).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

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

قندهای محلول: براساس نتایج تجزیه واریانس، ژنوتیپ‌های مورد بررسی، سطوح مختلف تنش شوری و زمان‌های مختلف نمونه‌برداری از لحاظ میزان قندهای محلول تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۱). نتیجه مقایسه میانگین نیز نشان داد که کمترین میزان قندهای محلول در حالت بدون تنش در رقم حساس سپیده به دست آمد. در بررسی روند تغییرات این صفت در طی زمان مشاهده شد با افزایش شدت تنش میزان قندهای محلول افزایش می‌یابد به‌طوری‌که بیشترین میزان در زمان نمونه برداری ۹۶ ساعت پس از اعمال تنش در تیمار ۱۲۵ میلی‌مولار در رقم متحمل فومن مشاهده شد. همچنین قابل ذکر است که میزان این صفت در حالت تنش شدید شوری (۱۷۵ میلی‌مولار) نسبت به حالت تنش متوسط (۱۲۵ میلی‌مولار) کاهش یافت و در مجموع نیز میزان قندهای محلول در متوسط شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش، در میانگین ارقام، دو برابر افزایش یافت (جدول ۲). همچنین در بررسی چگونگی تغییرات این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

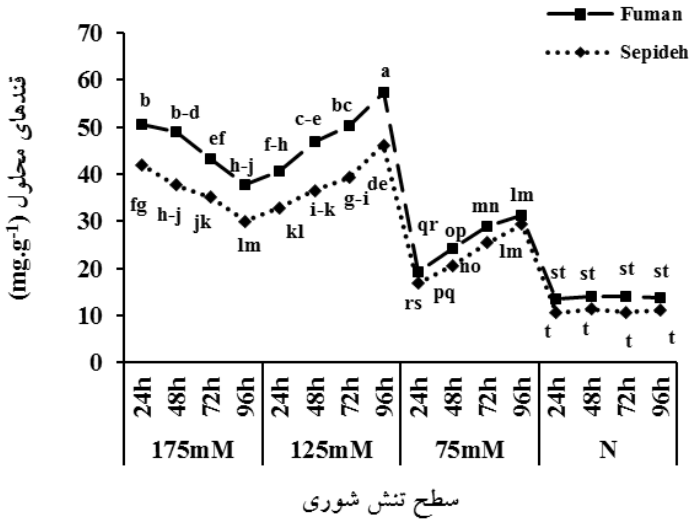


شکل ۱- مقایسه میانگین میزان پرولین در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب) (N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

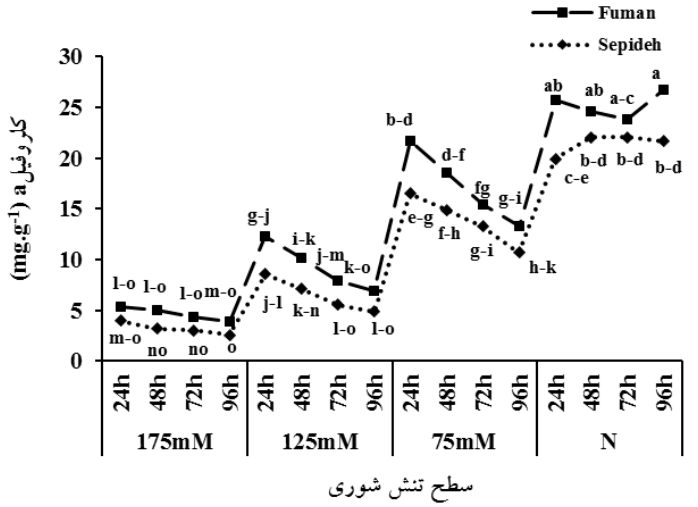
صفت در طی مراحل نمونه‌برداری در شرایط نرمال بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و در شرایط تنش بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری تحت شرایط تنش شوری تفاوت معنی‌داری وجود داشت به‌طوری‌که در شرایط تنش ملایم و متوسط با گذشت زمان میزان قندهای محلول افزایش یافت و بیشترین میزان این صفت در زمان نمونه‌برداری ۹۶ ساعت پس از اعمال تنش مشاهده شد اما در شرایط تنش شدید شوری با گذشت زمان میزان قندهای محلول کاهش یافت و در زمان نمونه‌برداری ۲۴ ساعت پس از اعمال تنش بیشترین میزان این صفت به دست آمد که می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که ارقام حساس و متحمل در شرایط تنش ملایم و متوسط با گذشت زمان میزان قندهای محلول را را برای مقابله با تنش افزایش می‌دهند تا به شرایط تنش سازگارتر شوند، اما در شرایط تنش شدید با گذشت زمان احتمالاً گیاه توانایی مقابله با تنش شوری را نداشته و میزان قندهای محلول کاهش یافت (شکل ۲). علاوه‌براین نتایج نشان داد با افزایش شوری میزان قندهای محلول در رقم فومن نسبت به رقم سپیده بیشتر بود که نشان‌دهنده تحمل بیشتر آن در مقابله با تنش شوری است. قندهای محلول نقش مهمی در کاهش پتانسیل آب و تنظیم اسمزی، سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از تنش شوری، عملکردهای حفاظتی و پایداری پروتئین‌ها و غشای زیستی در شرایط شوری ایفا می‌کنند (Mansour *et al*., 2021). قندهای محلول همچنین به‌عنوان مولکول‌های پیام‌رسان مهم نیز شناخته می‌شوند (Pinheiro and Chaves, 2011). تنش شوری از طریق تجزیه و کاهش نشاسته در اثر افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز باعث افزایش قندهای محلول می‌شود (Hajihashemi *et al*., 2020). محققین بیان کردند که بین افزایش قندهای محلول و تحمل به تنش شوری همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد (Sharif *et al*., 2018; Naeem *et al*., 2020; Mulaudzi *et al*., 2022).

رنگدانه‌های فتوسنتزی: رنگدانه‌های فتوسنتزی یکی از مهمترین فاکتورهای تعیین‌کننده تنش‌های غیرزیستی وارد بر گیاهان زراعی است (Pask *et al*., 2012). همچنین، میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاهان یکی از شاخص‌های مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است (Jiang and Huang, 2001). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی، سطوح مختلف تنش شوری و زمان‌های مختلف نمونه‌برداری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد از لحاظ صفات میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئید داشتند (جدول ۱). همچنین نتایج مقایسات میانگین در شرایط تنش شوری برای صفت‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]



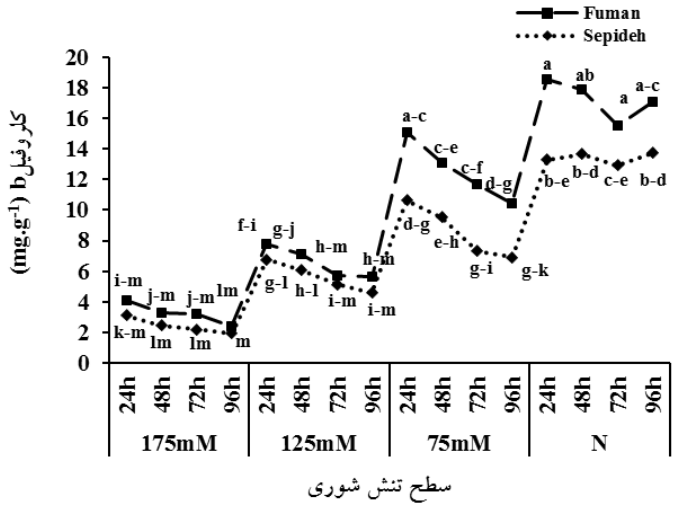
شکل ۲- مقایسه میانگین میزان قندهای محلول در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب) (N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.



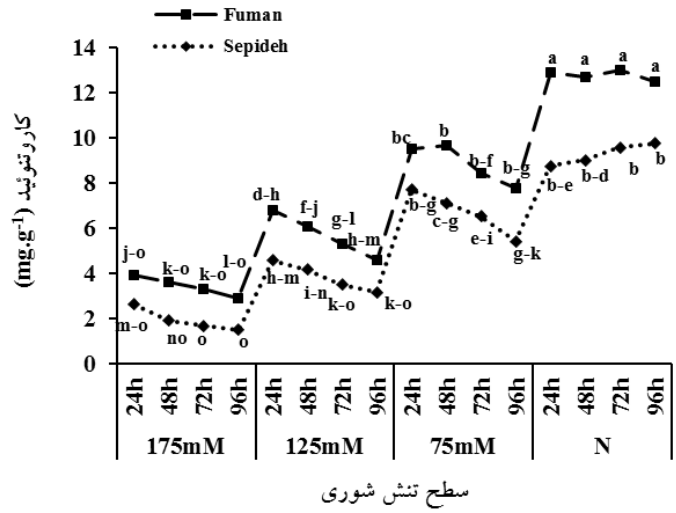
شکل ۳- مقایسه میانگین میزان کلروفیل a در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب)(N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند.

کلروفیل a، b و کاروتنوئید نشان داد که بیشترین میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در حالت بدون تنش در رقم فومن (متحمل به شوری) به دست آمد و با افزایش شدت تنش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به طوری‌که کمترین میزان در تیمار ۱۷۵ میلی‌مولار ظرفیت در رقم سپیده (حساس به شوری) مشاهده شد (شکل‌های ۳، ۴ و ۵). در مجموع نیز میزان کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئید در متوسط شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش، در میانگین ارقام ۶۰، ۵۷ و ۵۳ درصد کاهش یافت (جدول ۲). قابل ذکر است که در شرایط تنش شدید شوری و شرایط نرمال بین زمان‌های مختلف پس از نمونه‌برداری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت اما در تنش‌های ملایم و متوسط با گذشت زمان میزان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]



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 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.

رنگدانه‌های فتوسنتزی کاهش یافتند به‌طوری‌که بیشترین میزان این صفات در زمان نمونه‌برداری ۲۴ ساعت پس از اعمال تنش مشاهده شد (شکل‌های ۳، ۴ و ۵). در بررسی روند تغییرات رنگدانه‌های فتوسنتزی، تحت شرایط تنش‌های 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).

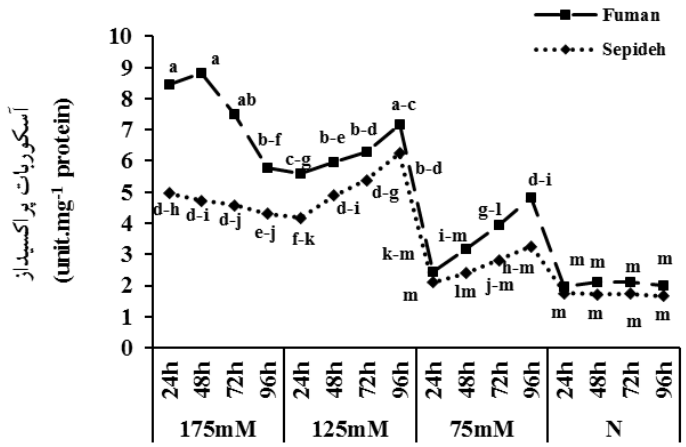
همچنین افزایش شوری باعث کاهش میزان کلروفیل در دو

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

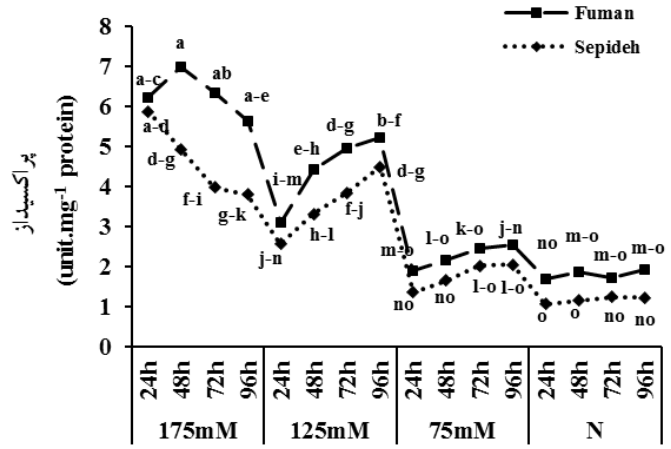
رقم فومن و سپیده شد، اما در رقم متحمل فومن میزان کلروفیل کمتر تحت تأثیر قرار گرفت که می‌تواند به علت مقابله بهتر آن با شرایط تنش باشد. کاهش میزان کلروفیل تحت شرایط تنش شوری را می‌توان به اکسیداسیون کلروفیل، تجزیه ساختار کلروپلاست، مهار بیوسنتز کلروفیل، تخریب پیش‌سازهای سنتز کلروفیل، مهار بیوسنتز جدید کلروفیل و فعال‌شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده مثل کلروفیلاز نسبت داد (Angon *et al*., 2022). تجمع بیش از حد یون‌های Na^+ و Cl^- 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.

فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز: براساس نتایج تجزیه واریانس، ژنوتیپ‌های مورد بررسی، سطوح مختلف تنش‌های شوری، زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در صفت میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار داشتند. همچنین اثرات متقابل تنش شوری و ارقام (A×B)، رژیم آبیاری و زمان نمونه‌برداری (A×C) برای صفات پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز و تنش شوری و ارقام و زمان نمونه‌برداری (A×B×C) برای آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتیجه مقایسه میانگین ترکیبات تیماری برای صفت‌های میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نشان داد که کمترین میزان در حالت بدون تنش در رقم حساس سپیده به دست آمد و با افزایش شدت تنش میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین میزان فعالیت آنزیم در زمان نمونه‌برداری ۴۸ ساعت پس از اعمال تنش در تیمار ۱۷۵ میلی‌مولار در رقم متحمل فومن مشاهده شد (شکل‌های ۶ و ۷). در مجموع نیز میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز در متوسط شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش دو برابر افزایش یافت (جدول ۲). همچنین در بررسی روند تغییرات بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری پس از اعمال تنش در شرایط نرمال تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما با افزایش شدت تنش میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز روند افزایشی و با اختلاف معنی‌دار بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری وجود داشت، به‌طوری‌که در شرایط تنش ملایم و متوسط با گذشت زمان میزان فعالیت این آنزیم افزایش یافت و بالاترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در زمان نمونه‌برداری ۹۶ ساعت پس از اعمال تنش به دست آمد. اما در شرایط تنش شدید با گذشت زمان میزان فعالیت آنزیم‌ها کاهش یافت و بالاترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز در رقم متحمل فومن در زمان نمونه‌برداری ۴۸ ساعت پس از اعمال تنش و در رقم حساس سپیده در زمان نمونه‌برداری ۲۴ ساعت پس از اعمال تنش مشاهده شد (شکل‌های ۶ و ۷). بر طبق نتایج تحت شرایط تنش‌های ملایم و متوسط، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ارقام حساس و متحمل جهت مقابله با شرایط تنش با گذشت زمان افزایش یافت اما با افزایش شدت تنش، تحمل ارقام به تنش شوری کاهش یافت به‌طوری‌که رقم حساس سپیده نسبت به رقم متحمل فومن ۲۴ ساعت سریع‌تر شروع به کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نمود (شکل ۲). همچنین در رقم فومن در سطوح مختلف تنش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بیشتری نسبت به رقم سپیده به دست آمد که می‌تواند نشان‌دهنده تحمل بیشتر آن در مقابله با تنش شوری می‌باشد. آنزیم پراکسیداز نقش مهمی در حذف مالون دی‌آلدئید، کاهش خسارت H_2O_2 تولید شده ناشی از تنش، حفظ و پایداری غشاء و دیواره سلولی ایفاء می‌کند (Hojati *et al*., 2011; Pakar *et al*., 2016). همچنین آنزیم پراکسیداز به علت نقشی که در سازوکارهای مهم مانند پیوستن پروتئین‌ها در دیواره سلولی، کاتابولیسم اکسین و کنترل رشد توسط چوبی‌شدن دارد، به عنوان شاخصی بیوشیمیایی برای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]



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 براساس آزمون LSD ندارند.

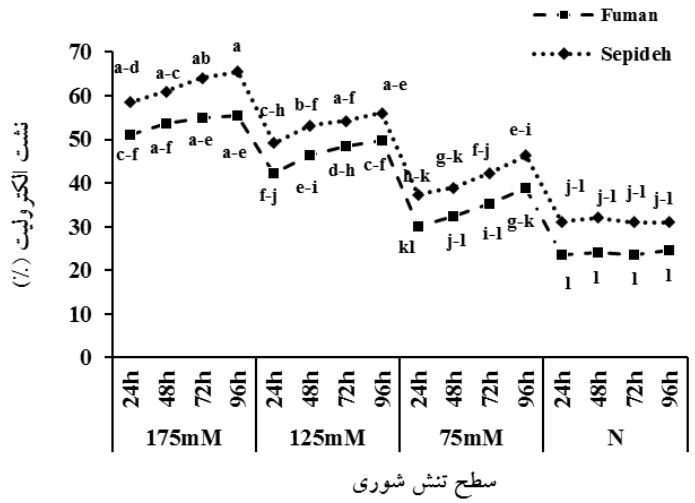


شکل ۷- مقایسه میانگین میزان پراکسیداز در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب)(N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند.

انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی استفاده می‌شود (Hashemi *et al*., 2010). افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت شرایط تنش شوری در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (Bavei *et al*., 2011; Chakraborty *et al*., 2019; Hozayn and Ahmed, 2019). آنزیم آسکوربات پراکسیداز نیز باعث تجزیه مؤثر پراکسید هیدروژن و در نتیجه تحمل بیشتر نسبت به تنش اکسیداتیو می‌گردد (Yoshimura *et al*., 2000). محققین زیادی نشان دادند که افزایش گونه‌های فعال اکسیژن موجب فعال‌شدن مسیرهای ترارسانی پیام و افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز می‌گردد (Bian and Jiang, 2009; Farooq *et al*., 2020; Avila *et al*., 2021).

نشت الکترولیت: میزان نشت الکترولیت تحت سطوح

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]



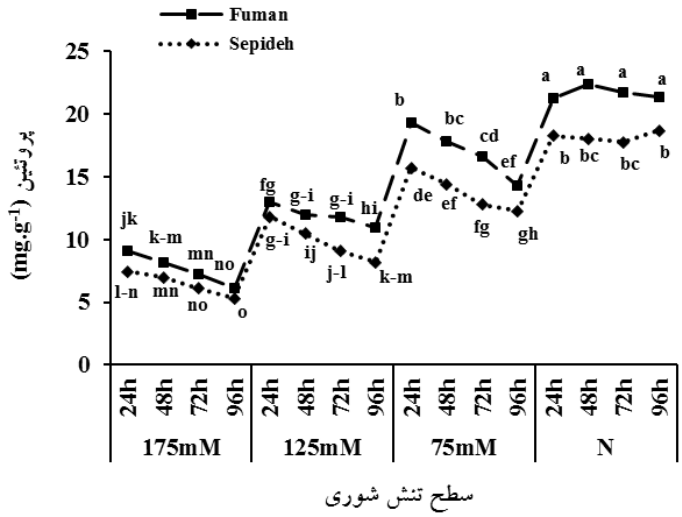
شکل ۸- مقایسه میانگین میزان نشت الکترولیت **در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب)(N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند.**

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

در مطالعه حیدری و همکاران (۱۳۹۸) رقم منصور با داشتن میزان نشت یونی کمتر در شرایط تنش شوری توانایی بیشتری برای مقابله و کاهش آسیب ناشی از تنش نشان داد که بیانگر تحمل بیشتر این رقم است. افزایش نفوذپذیری غشاء سلولی در گیاه در معرض تنش‌های محیطی، سبب افزایش نشت محلول‌های سلولی مانند پتاسیم، آمینواسیدها، کربوهیدرات‌ها و در مجموع الکترولیت‌های مختلف به خارج از سلول می‌شود. محققین بیان کردند که افزایش نشت الکترولیت می‌تواند به علت گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو باشد. این گونه‌های فعال اکسیژن که در شرایط بروز تنش افزایش می‌یابند، موجب کاهش معنی‌دار ضخامت 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 افزایش نشت یونی را در پی دارد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۸).

پروتئین: نتایج تجزیه داده‌های ثبت‌شده برای پروتئین نشان داد که میزان پروتئین تحت سطوح مختلف تنش شوری در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در ارقام حساس و مقاوم به طور معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین میزان پروتئین در حالت بدون تنش در رقم فومن و کمترین میزان پروتئین تحت شرایط تنش شوری ۱۷۵ میلی‌مولار به دست آمد (شکل ۹). در مجموع نیز میزان پروتئین در متوسط شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش ۴۴ درصد کاهش یافت (جدول ۲). همچنین در بررسی روند تغییرات پروتئین، بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط نرمال تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما با افزایش شدت تنش میزان پروتئین روند

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

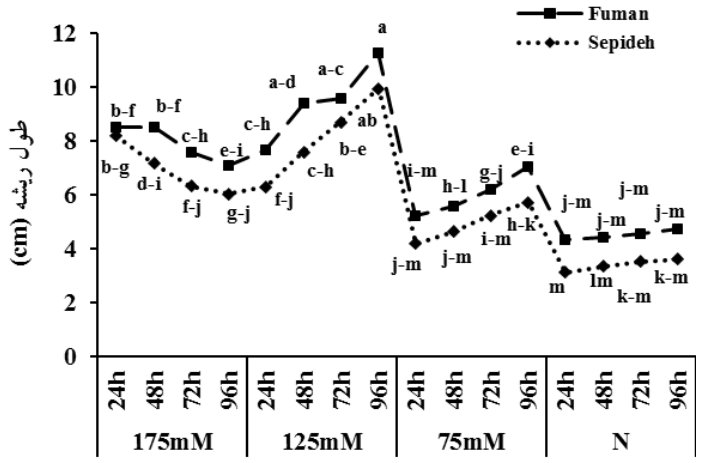


شکل ۹- مقایسه میانگین میزان پروتئین **در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب)(N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند.**

کاهشی داشت و تفاوت معنی‌داری بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری وجود داشت به‌طوری‌که در شرایط تنش با گذشت زمان میزان پروتئین کاهش یافت و بالاترین میزان پروتئین در زمان نمونه‌برداری ۲۴ ساعت پس از اعمال تنش به دست آمد (شکل ۹). با گذشت زمان میزان پروتئین تحت سطوح مختلف تنش شوری در ارقام حساس و متحمل کاهش یافت که می‌تواند به دلیل اثرگذاری بیشتر تنش در تجزیه پروتئین‌ها باشد. همچنین افزایش شوری کاهش میزان پروتئین را به دنبال داشت، این تغییرات و تاثیرپذیری در رقم فومن کمتر از سپیده بود که نشان‌دهنده مقابله بهتر آن با شرایط تنش می‌باشد. سنتز پروتئین‌ها تحت شرایط تنش یکی از مهمترین عوامل در رشد سلول‌ها است. پروتئین‌ها همچنین وظایف مهمی از جمله نقش‌های آنزیمی و ساختمانی را در سطح سلولی بر عهده دارند که بدون آنها امکان تداوم رشد طولانی مدت وجود ندارد (Boyer, 2006). کاهش محتوای پروتئین تحت شرایط تنش شوری در نتیجه فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین، واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد و تغییر اسیدآمینه، و نیز کاهش سنتز پروتئین مرتبط است. همچنین تنش شوری با کاهش جذب یون‌های نیترات و یا آمونیوم، سبب کاهش ازت و در نهایت کاهش پروتئین‌ها در گیاه می‌شود (Parvaiz and Satyawati, 2008). پیری و همکاران (۱۳۹۵) نیز با بررسی عملکرد کمی و کیفی ذرت خوشه‌ای علوفه‌ای در سطوح مختلف آب آبیاری و شوری نشان دادند که با افزایش شوری و کاهش آب آبیاری درصد پروتئین گیاه، عملکرد و کارایی علوفه تر و خشک کاهش و مقدار کربوهیدرات و پرولین افزایش یافت.

طول ریشه: طول ریشه به عنوان شاخصی برای توانایی گیاهان جهت جذب آب از لایه‌های عمیق‌تر خاک و نفوذپذیری بهتر ریشه‌ها در خاک محسوب می‌شود. از این رو، آگاهی از وضعیت طول ریشه و توزیع آن در پروفایل خاک و همچنین آگاهی از اندازه و شکل سیستم ریشه، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Wasson *et al.*, 2012). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که دو رقم، سطوح مختلف تنش شوری و زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در صفت میزان طول ریشه با هم تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۱). نتایج مقایسات میانگین ترکیبات تیماری نیز نشان داد که بیشترین میزان طول ریشه در حالت ۱۲۵ میلی‌مولار در رقم فومن (متحمل به شوری) در زمان نمونه‌برداری ۹۶ ساعت پس از تنش به دست آمد و در شرایط تنش شدید (۱۷۵ میلی‌مولار) میزان طول ریشه نسبت به حالت تنش ملایم کاهش یافت (شکل ۱۰). بررسی روند تغییرات رشد ریشه نشان داد تحت شرایط تنش‌های ملایم و متوسط، میزان طول

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

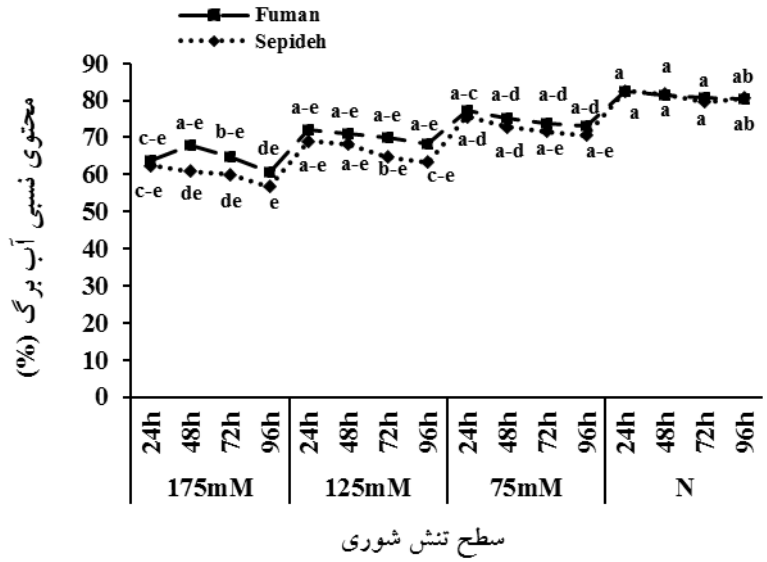


۱۰- مقایسه میانگین میزان طول ریشه در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب)(N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند.

ریشه در دو رقم حساس و متحمل با گذشت زمان افزایش یافت اما با افزایش شدت تنش رشد ریشه تحت تأثیر قرار گرفت و با گذشت زمان کاهش یافت که می‌تواند به دلیل سمیت یونی و تنش اسمزی زیاد باشد. همچنین افزایش شدت شوری کاهش میزان رشد ریشه را به دنبال داشت، اما در رقم متحمل فومن مقدار رشد ریشه کمتر از رقم حساس سپیده تحت تأثیر قرار گرفت. ریشه، مهمترین بخش کنترل‌کننده وضعیت آبی و تغذیه‌ای گیاه و یکی از مهمترین اجزای سازگاری به شرایط تنش در اکثر گیاهان زراعی محسوب می‌شود (Blum, 2005). کاهش رشد ریشه در شرایط تنش شوری ممکن است به دلیل کاهش دسترسی ریشه به مواد فتوسنتزی اندام هوایی و تنش اسمزی و سمیت یونی ناشی از تنش شوری در اطراف ریشه باشد (زارع بنادکوکی و همکاران، ۱۳۹۹). محققین همچنین بیان کردند که رشد گیاه نتیجه توسعه یکپارچه سلول‌های جوان است که به وسیله تقسیم مداوم مریستمی تولید می‌شوند. شور شدن می‌تواند تقسیم و توسعه سلولی را در بافت‌های در حال رشد ریشه‌ها، ساقه‌ها و برگ‌ها محدود کند (میری‌کندری و همکاران، ۱۳۹۳). افزایش طول ریشه تحت شرایط تنش شوری در مطالعات متعددی گزارش شده است (Tabatabaei and Anagholi, 2012; Mai *et al*., 2013; Rahnama *et al*., 2019).

محتوی نسبی آب برگ: در میان ویژگی‌های فیزیولوژیک، وضعیت آب برگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. محتوای آب نسبی بالاتر گیاه، به معنی توانایی برگ در حفظ مقادیر بیشتر آب در شرایط تنش است. براساس نتایج تجزیه واریانس، ارقام، سطوح مختلف تنش شوری و زمان‌های مختلف نمونه‌برداری از لحاظ محتوی نسبی آب برگ، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۱). شکل ۱۱ مقایسات میانگین میزان محتوی نسبی آب برگ را در دو رقم مورد بررسی در سطوح مختلف شوری و زمان‌های مختلف نمونه‌برداری نشان می‌دهد. مقایسات میانگین نشان داد که تنش باعث کاهش محتوی نسبی آب برگ می‌شود، به‌طوری‌که بیشترین میزان محتوی نسبی آب برگ در حالت بدون تنش و کمترین میزان در حالت ۱۷۵ میلی‌مولار مشاهده شد. در مجموع نیز محتوی نسبی آب در متوسط شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش ۱۶ درصد کاهش یافت (جدول ۲). بررسی روند تغییرات محتوی نسبی آب برگ نشان داد که بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در سطوح مختلف تنش شوری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۱۱). اما در رقم متحمل مقدار محتوی نسبی آب برگ کمتر تحت تأثیر قرار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

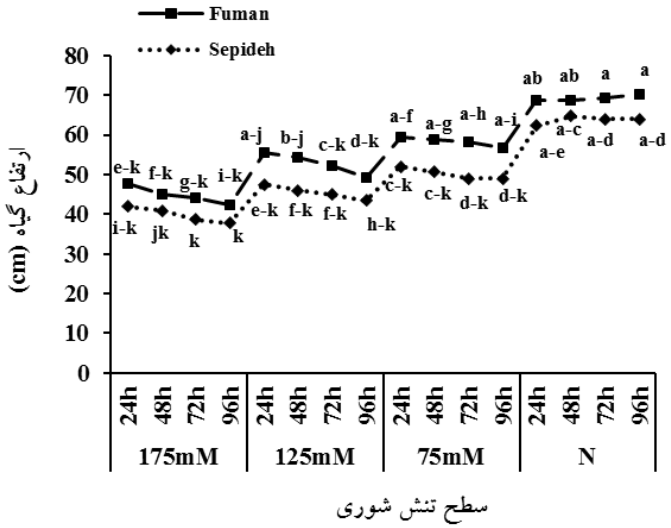


شکل ۱۱- مقایسه میانگین میزان محتوی نسبی آب برگ در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب)(N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

گرفت که نشان‌دهنده مقابله بهتر این رقم تحت شرایط تنش است همچنین به نظر برخی از پژوهشگران محتوای نسبی آب برگ، بهترین معیار از وضعیت آبی گیاه است که تورژسانس، پتانسیل اسمزی و تغییرات پتانسیل آب به آن وابسته است (Blum, 2000). محققین بیان داشتند که محتوای نسبی آب برگ تعادل بین سرعت تعرق و تأمین آب برای برگ را بهتر از سایر اجزاء روابط آبی منعکس می‌کند، لذا آن را شاخص مناسبی برای نشان‌دادن وضعیت آبی برگ دانسته‌اند. آنها همچنین با مقایسه محتوای نسبی آب در ارقام گوجه‌فرنگی نشان دادند که این پارامتر یکی از بهترین فاکتورها برای تشخیص ارقام حساس و متحمل بوده، و همبستگی بالایی با سایر پارامترهای فیزیولوژیک از جمله شاخص‌های رشد و آنتی‌اکسیدان‌ها داشته است. هر عامل فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان که در حفظ آب گیاه نقش داشته باشد، می‌تواند یکی از عوامل مؤثر در معرفی رقم متحمل باشد (Sanchez-Rodriguez *et al*., 2010). با افزایش سطح شوری جذب آب توسط برگ‌ها کاهش می‌یابد و از سوی دیگر این کاهش سبب می‌شود تا گیاه نتواند محتوی آب برگ خود را حفظ کند و از این رو با گذشت زمان محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (فرسرایی و همکاران، ۱۳۹۸). کاهش محتوی نسبی آب بر اثر تنش یک پدیده معمولی است که در مطالعات مختلف مشاهده شده است. علت کاهش مقدار نسبی آب از خاک به علت محدودیت آب ناشی از شوری در خاک است که باعث برهم‌خوردن تعادل بین دو فرآیند جذب آب و تعرق می‌شود و در نتیجه آب گیاه کاهش می‌یابد (Moradi, 2002; El-Moneim *et al*., 2020; Azeem *et al*., 2023).

ارتفاع گیاه: میزان ارتفاع گیاه یکی از مهمترین صفات خصوصاً تحت شرایط تنش برای رسیدن به حداکثر عملکرد و شاخص برداشت است (Bavei *et al*., 2011). محققین بیان کردند که ارتفاع گیاه با پتانسیل تولید گیاه همبستگی بالایی داشته و نقش مهمی در ذخیره‌سازی کربوهیدرات و انتقال آنها به دانه را دارد (Vaezi *et al*., 2010). براساس نتایج تجزیه واریانس تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف مشاهده شد، همچنین تنش شوری به طور معنی‌داری باعث کاهش ارتفاع گیاه شد به‌طوری‌که بیشترین میزان ارتفاع گیاه تحت شرایط بدون تنش به دست آمد و با افزایش شدت تنش میزان میزان ارتفاع گیاه کاهش یافت (شکل ۱۲). محققین بیان کردند که با افزایش غلظت املاح، فشار اسمزی محلول خاک زیاد می‌شود،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

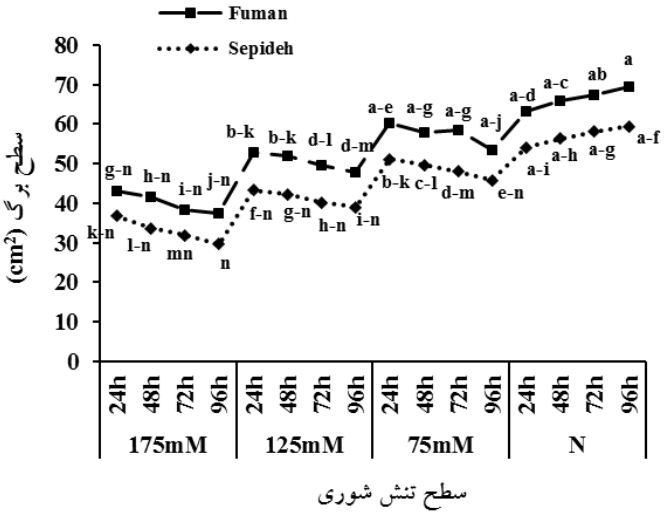


۱۲- مقایسه میانگین میزان ارتفاع گیاه در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب)(N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند.

در نتیجه مقدار انرژی که گیاه باید صرف جذب آب از خاک نماید، افزایش می‌یابد. که این عمل باعث افزایش تنفس و کاهش ارتفاع و عملکرد گیاه می‌شود (مولوی و همکاران، ۱۳۹۱). پژوهشگران همچنین نشان دادند که در شرایط تنش تولیدات فتوسنتزی گیاه، فرآیند تقسیم سلولی و روند دیواره‌سازی در سلول‌های گیاهی کاهش یافته که در نهایت منجر به کاهش اندازه کلی اندام‌های گیاه ارتفاع گیاه در طول دوره رشد می‌گردد (Earl and Davis, 2003). کاهش ارتفاع گیاه با افزایش سطح تنش در مطالعات بسیاری گزارش شده است (Hossain *et al*., 2012; Ahmed *et al*., 2013; Xia *et al*., 2013; Jouyban *et al*., 2015).

سطح برگ: شاخص سطح برگ بیان‌کننده نسبت سطح برگ به زمینی است که آن برگ‌ها اشغال می‌کنند. این شاخص، رشد گیاه و عملکرد نهایی ماده خشک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷۴). میزان سطح برگ تحت سطوح مختلف تنش شوری در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در دو رقم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین میزان سطح برگ در شرایط بدون تنش مشاهده شد. با بررسی روند تغییرات سطح برگ مشخص شد کمترین میزان سطح برگ نیز در هر دو رقم در زمان نمونه‌برداری ۹۶ ساعت پس از تنش در ۱۷۵ میلی‌مولار به دست آمد که نشان می‌دهد تنش شوری با گذشت زمان موجب اثر بیشتر در کاهش فضای بین سلولی، صدمه به مولکول‌های پروتئینی و غشاها می‌گردد و موجب کاهش میزان سطح برگ می‌گردد. قابل ذکر است که میزان سطح برگ در رقم متحمل فومن در سطوح مختلف تنش شوری نسبت به رقم حساس سپیده بیشتر بود که بیانگر مقابله بهتر رقم متحمل نسبت به شرایط تنش است (شکل ۱۳). همچنین بررسی روند تغییرات نشان داد که بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری پس از اعمال تنش در سطوح مختلف تنش شوری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما با افزایش شدت تنش میزان سطح برگ روند کاهشی داشت و کمترین میزان سطح برگ در شرایط تنش شدید به دست آمد (شکل ۱۳). در مجموع نیز میزان سطح برگ در متوسط شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش ۲۶ درصد کاهش یافت (جدول ۲). سطح برگ، یکی از حساس‌ترین اندام هوایی به تنش شوری بوده (Parida and Das, 2005) و کاهش آن با افزایش سطح تنش در مطالعات دیگری نیز نشان داده شده است (Blum, 2011; Huang *et al*., 2012). تنش اسمزی ناشی از تنش شوری، با کاهش فضای بین سلولی و افزایش آستانه فشار آماس لازم برای رشد سلول‌های برگ از یک سو و ایجاد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

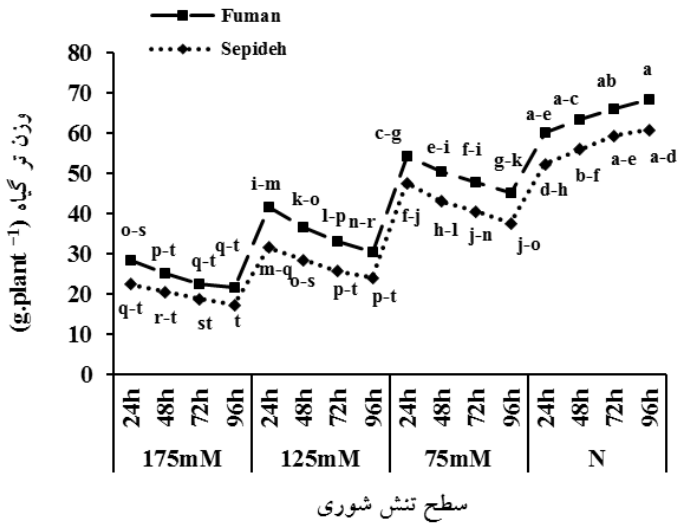


شکل ۱۳- مقایسه میانگین صفت سطح برگ در دو رقم ذرت خوشه‌ای در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در شرایط شاهد (آب)(N)، ۷۵، ۱۲۵ و ۱۷۵ میلی‌مولار کلرید سدیم. مقادیر با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون LSD ندارند.

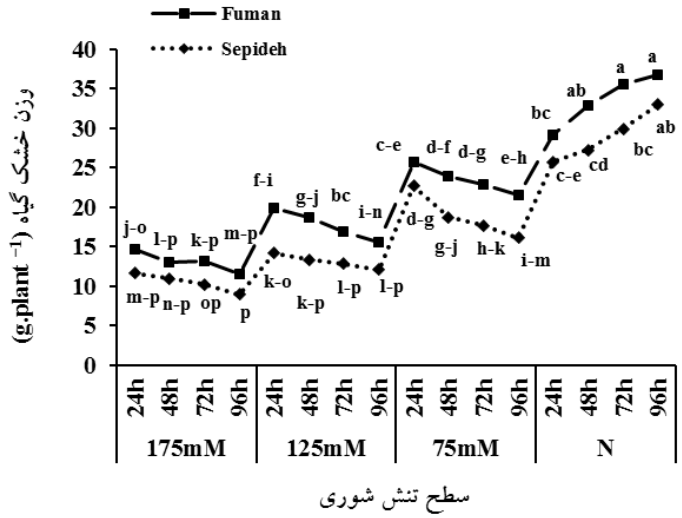
مسمومیت یونی ناشی از تجمع یون‌های کلر و سدیم و در نتیجه، صدمه به مولکول‌های پروتئینی و صدمه به غشاها از سوی دیگر، باعث کاهش سطح برگ می‌گردد (Croser *et al.*, 2001). کاهش سطح برگ نیز متعاقباً باعث کاهش جذب نور و فتوسنتز و در نهایت کاهش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی لازم برای رشد برگ شده و در نتیجه، توسعه برگ‌های جدید را با مشکل مواجه می‌سازد (حیدری شریف آبادی، ۱۳۸۰).

وزن تر و خشک گیاه: براساس نتایج تجزیه واریانس، میزان وزن تر و خشک برگ تحت سطوح مختلف تنش شوری در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در ارقام مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). شکل‌های ۱۴ و ۱۵ مقایسه میانگین ترکیبات تیماری را برای میزان وزن تر و خشک برگ نشان می‌دهد. میزان وزن تر و خشک برگ تحت سطوح مختلف تنش شوری در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری در ارقام حساس و مقاوم به طور معنی‌داری کاهش یافت به طوری‌که بیشترین میزان وزن تر و خشک در ارقام حساس و مقاوم در شرایط بدون تنش مشاهده شد. همچنین کمترین میزان این صفت‌ها در زمان نمونه‌برداری ۹۶ ساعت پس از تنش در تیمار ۱۷۵ میلی‌مولار در رقم سپیده مشاهده (شکل‌های ۱۴ و ۱۵). در مجموع نیز میزان فعالیت وزن تر و خشک گیاه در متوسط شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش ۴۰ و ۴۳ درصد کاهش یافت (جدول ۲). همچنین با بررسی روند تغییرات، بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری پس از اعمال تنش در شرایط تنش شدید و بدون تنش تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما با کاهش شدت تنش میزان وزن تر و خشک گیاه روند افزایشی داشت و تفاوت معنی‌داری بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری وجود داشت به‌طوری‌که در شرایط تنش ملایم، متوسط با گذشت زمان میزان این صفات کاهش یافت و بالاترین میزان وزن خشک و تر گیاه در زمان نمونه‌برداری ۲۴ ساعت پس از اعمال تنش به دست آمد که نشان می‌دهد در شرایط بدون تنش و تنش شدید به‌ترتیب به دلیل اثرگذاری کم و زیاد تنش شوری بر میزان رشد گیاه ذرت خوشه‌ای، بین زمان‌های مختلف نمونه‌برداری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما در شرایط تنش ملایم و متوسط شوری با گذشت زمان میزان رشد دو رقم ذرت خوشه‌ای با شیب ملایمی کاهش یافت که موجب تفاوت معنی‌داری بین وزن خشک و تر برگ در زمان‌های مختلف پس از تیمار تنش شوری گردید (شکل‌های 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]



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 براساس 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.

نشان‌دهنده مقابله بهتر این رقم در مقابله با شرایط تنش است. تنش شوری یکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان می‌باشد که به طور قابل ملاحظه‌ای وزن تر و خشک برگ و ساقه را کاهش می‌دهد. 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 می‌شود. در نتیجه گیاه با صرف انرژی بیشتر برای تولید مواد آلی خود، انرژی لازم برای مقابله با تنش شوری را از دست داده و کارآیی ریشه با کاهش مواجه شده و در نهایت وزن خشک برگ و اندام هوایی با کاهش مواجه می‌شود (Akram *et al.*, 2007). همچنین رانی و همکاران (Rani *et al.*, 2012) با بررسی تحمل شوری سیزده رقم ذرت خوشه‌ای گزارش کردند که با افزایش غلظت شوری وزن خشک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

گیاهچه، درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و رشد گیاهچه در همه ارقام به طور معنی‌داری کاهش یافت.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش شوری موجب کاهش میزان کلروفیل‌های a، b، کاروتنوئید، محتوی 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 قندهای محلول، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز خود را افزایش داد تا با تنظیم اسمزی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به شرایط تنش، سازگاری یافته و بتواند با شوری مقابله کند. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده از بررسی روند تغییرات متغیرها در طی زمان، می‌توان دریافت که با گذشت زمان در سطوح مختلف تنش شوری، صفات رنگدانه‌های فتوسنتزی، سطح برگ، محتوی نسبی آب برگ، وزن خشک و تر برگ در ذرت خوشه‌ای کاهش یافت اما در مقابل گیاه برای مقابله با شرایط تنش میزان قندهای محلول، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را بتدریج افزایش داد. علاوه‌براین در رقم فومن که متحمل‌تر نسبت به رقم حساس است مکانیسم‌های تحمل به تنش با افزایش بیشتر در صفات یاد شده به طور مؤثرتری رخ داد. با توجه به پتانسیل قابل توجه ذرت خوشه‌ای به ویژه ارقام متحمل همچون فومن در مقابله با تنش شوری، می‌تواند نویدبخش امکان استفاده بهینه از این ارقام در مناطق شور با اعمال مدیریت مناسب برای بهره‌برداری بهینه از منابع موجود باشد.

منابع

پیراسته انوشه، هادی، رنجبر، غلامحسن، و طباطبایی، سیدعلی (۱۳۹۹). اثر تنش شوری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و وزن خشک در کشت مخلوط سورگوم (*Sorghum bicolor*) و کوشیا (*Bassia indica*). *دو فصلنامه علمی-پژوهشی خشک بوم*، ۱۰(۱)، ۳۰-۱۴. https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008790.1399.10.1.2.3

پیری، حلیمه، انصاری، حسین، و پارسا، مهدی (۱۳۹۵). بررسی عملکرد کمی و کیفی سورگوم علوفه‌ای در سطوح مختلف شوری 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

حیدری، نسرین، علیزاده، یاسر، و علیزاده، حمزه علی (۱۳۹۸). بررسی برهمکنش تنش‌های شوری، خشکی و کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک ذرت (*Zea mays* L.). *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۲(۳)، ۹۰۵-۸۸۹. http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1448.1321

حیدری شریف آبادی، حسین (۱۳۸۰). گیاه و شوری. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران.

زارع بنادکوکی، حمیده، پوستینی، کاظم، و عباسی، علیرضا (۱۳۹۹). اثر تنش شوری بر ویژگی‌های ریشه و توزیع یونی شش رقم گندم نان (*Triticum aestivum* L.). *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۳(۴)، ۱۳۱۸-۱۳۰۷. http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.2090.1515

سرمدنیا، غلامحسین، و کوچکی، عوض (۱۳۷۴). جنبه‌های فیزیولوژیکی زراعت دیم. انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد.

عمادی، علیرضا، علیزاده، امید، امیری، بهرام، پیراسته انوشه، هادی، و زارع، مهدی (۱۴۰۱). تأثیر تنش خشکی و شوری بر عملکرد، ویژگی‌های بیوشیمیایی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سورگوم علوفه‌ای. *نشریه پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۵(۲)، ۲۳۲-۲۱۸. https://dorl.net/dor/20.1001.1.22287140.1401.36.2.6.5

فرسرایی، سارا، مهدی‌زاده، لیلا، مقدم، محمد، و ابراهیمی، حسن (۱۳۹۸). تأثیر محلول‌پاشی پوترسین بر زیست‌توده، محتوای نسبی آب برگ و میزان عناصر معدنی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت تنش شوری. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۸(۳۳)، ۴۱۱-۴۰۰.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

کاظمینی، عبدالرضا، و علی‌نیا، مژگان (۱۳۹۵). اثر تنش شوری بر رشد، عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ارقام سورگوم علوفه‌ای. *نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*، ۲. http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1396.7.2.3.0

میری کندری، منیر، محمدی، سیدابوالقاسم، و بنده‌حق، علی (۱۳۹۳). اثر تنش شوری بر خصوصیات ریشه ارقام جو Sahara 3771 (متحمل) و Clipper (حساس) به شوری. *تحقیقات غلات*، ۴(۱)، ۱۸۴-۱۷۵.

مولوی، حسین، محمدی، مسعود، و لیاقت، عبدالمجید (۱۳۹۱). اثر مدیریت آب شور طی دوره رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای و پروفیل شوری خاک. *مجله علوم و مهندسی آبیاری اهواز*، ۳۵(۳)، ۱۸-۱۱. https://dorl.net/dor/20.1001.1. 25885952.1391.35.3.2.0

Ahmad, P. & Prasad, M. N. V. (2011). Environmental adaptations and stress tolerance of plants in the era of climate change. *Springer Science & Business Media*.

Ahmed, I. M., Cao, F., Zhang, M., Chen, X., Zhang, G., & Wu, F. (2013). Difference in yield and physiological features in response to drought and salinity combined stress during anthesis in Tibetan wild and cultivated barleys. *Plos One*, *8*(10), e77869. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077869

Akram, M., Malik, M. A., Ashraf, M. Y., Saleem, M. F., & Hussain, M. (2007). Competitive seedling growth and K/Na ratio in different maize (*Zea mays* L.) hybrids under salinity stress. *Pakistan Journal of Botany*, *39*(7), 2553-2563.

Angon, P. B., Tahjib-Ul-Arif, M., Samin, S. I., Habiba, U., Hossain, M. A., & Brestic, M. (2022). How do plants respond to combined drought and salinity stress?—A systematic review. *Plants*, *11*(21), 2884. https://doi.org /10.3390/plants 11212884

AnsarShourijeh, F. & Sadeghi, H. (2017). Effects of salt stress on some growth parameters and chemical contents of two forage sorghum lines. *Iran Agricultural Research*, *36*(1), 25-32.

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*(1), 1. https://doi.org/10.1104%2Fpp.24.1.1

Ashraf, M. & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, *59*(2), 206-216. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006

Avila, R. G., Magalhaes, P. C., da Silva, E. M., de Souza, K. R. D., Campos, C. N., de Alvarenga, A. A., & de Souza, T. C. (2021). Application of silicon to irrigated and water deficit sorghum plants increases yield via the regulation of primary, antioxidant, and osmoregulatory metabolism. *Agricultural Water Management*, *255*, 107004. https://doi.org /10.1016/j.agwat.2021.107004

Azeem, M., Sultana, R., Mahmood, A., Qasim, M., Siddiqui, Z. S., Mumtaz, S., Javed, T., Umar, M., Adnan, M. Y., & Siddiqui, M. H. (2023). Ascorbic and salicylic acids vitalized growth, biochemical responses, antioxidant enzymes, photosynthetic efficiency, and ionic regulation to alleviate salinity stress in *Sorghum bicolor*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-14. https://doi.org/10.1007/s00344-023-10907-2

Bajji, M., Lutts, S. & Kinet, J. M. (2000). Physiological changes after exposure to and recovery from polyethylene glycol-induced water deficit in callus cultures issued from durum wheat (*Triticum durum*) cultivars differing in drought resistance. *Journal of Plant Physiology*, *156*(1), 75-83. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(00)80275-8

Bates, L., Waldren, R. A., & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Bavei, V., Shiran, B., & Arzani, A. (2011). Evaluation of salinity tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor* L.) using ion accumulation, proline and peroxidase criteria. *Plant Growth Regulation*, *64*, 275-285. https://doi.org/10.1007/ s107 25-011-9568-z

Bavei, V., Shiran, B., & Arzani, A. (2011). Evaluation of salinity tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor* L.) using ion accumulation, proline and peroxidase criteria. *Plant Growth Regulation*, *64*, 275-285. https://doi.org/10. 1007/s 10725-011-9568-z

Bian, S. & Jiang, Y. (2009). Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of *Kentucky bluegrass* in response to drought stress and recovery. *Scientia Horticulturae*, *120*(2), 264-270. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.10.014

Blum, A. (2000). Towards standard assays of drought resistance in crop plants. *Production in Water-Limited Environments*, *29*.

Blum, A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive?. *Australian Journal of Agricultural Research*, *56*(11), 1159-1168. https://doi.org/10.1071/AR 05069

Blum, A. (2011). Drought resistance and its improvement. *Plant Breeding for Water-Limited Environments*, 53-152. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7491-4_3

Boyer, T. W. (2006). The development of risk-taking: A multi-perspective review. *Developmental Review*, *26*(3), 291-

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

345. https://doi.org/10.1016/j.dr.2006.05.002
Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*(1-2), 248-254.
Chakraborty, U., Chakraborty, B., Dey, P., Chakraborty, A., & Sarkar, J. (2019). Biochemical responses of wheat plants primed with *Ochrobactrum pseudogrignonense* and subjected to salinity stress. *Agricultural Research*, *8*, 427-440. https://doi.org/10.1007/s40003-018-0394-7
Croser, C., Renault, S., Franklin, J., & Zwiazek, J. (2001). The effect of salinity on the emergence and seedling growth of *Picea mariana*, *Picea glauca*, and *Pinus banksiana*. *Environmental Pollution*, *115*(1), 9-16. https://doi.org/10.1016/ S0269-7491(01)00097-5
Earl, H. J. & Davis, R. F. (2003). Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*, *95*(3), 688-696. https://doi.org/10.2134/agronj2003.6880
El-Moneim, D. A., Alqahtani, M. M., Abdein, M. A., & Germoush, M. O. (2020). Drought and salinity stress response in wheat: Physiological and TaNAC gene expression analysis in contrasting Egyptian wheat genotypes. *Journal of Plant Biotechnology*, *47*(1), 1-14.
FAO. (2022). FAO data based online. Available at, http://faostat.fao.org.
Farooq, A., Bukhari, S. A., Akram, N. A., Ashraf, M., Wijaya, L., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2020). Exogenously applied ascorbic acid-mediated changes in osmoprotection and oxidative defense system enhanced water stress tolerance in different cultivars of safflower (*Carthamus tinctorious* L.). *Plants*, *9*(1), 104. https://doi.org/10.3390/ plants9010104
Hajihashemi, S., Skalicky, M., Brestic, M., & Pavla, V. (2020). Cross-talk between nitric oxide, hydrogen peroxide and calcium in salt-stressed *Chenopodium quinoa* Willd. At seed germination stage. *Plant Physiology and Biochemistry*, *154*, 657-664. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.022
Hashemi, A., Abdolzadeh, A., & Sadeghipour, H. R. (2010). Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L., plants. *Soil Science & Plant Nutrition*, *56*(2), 244-253. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00443.x
Hojati, M., Modarres-Sanavy, S. A. M., Karimi, M., & Ghanati, F. (2011). Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, *33*, 105-112. https://doi.org /10.1007 /s11738-010-0521-y
Hossain, A., da Silva, J. A. T., Lozovskaya, M. V., & Zvolinsky, V. P. (2012). High temperature combined with drought affect rainfed spring wheat and barley in South-Eastern Russia: I. Phenology and growth. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *19*(4), 473-487. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.07.005
Hozayn, M. & Ahmed, A. A. (2019). Effect of magneto-priming by tryptophan and ascorbic acid on germination attributes of barley (*Hordeum vulgare* L.) under salinity stress. *EurAsian Journal of Bio Sciences*, *13*(1), 245-251.
Hu, L., Wang, Z., Du, H., & Huang, B. (2010). Differential accumulation of dehydrins in response to water stress for hybrid and common bermudagrass genotypes differing in drought tolerance. *Journal of Plant Physiology*, *167*(2), 103-109. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.07.008
Huang, C., Zong, L., Buonanno, M., Xue, X., Wang, T., & Tedeschi, A. (2012). Impact of saline water irrigation on yield and quality of melon (*Cucumis melo* cv. Huanghemi) in northwest China. *European Journal of Agronomy*, *43*, 68-76. https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.05.008
Huang, C. C., Lee, Y. T., Ly, T. T., Wang, C. Y., Chang, Y. T., Hou, P. F., Liu, Z. H., & Huang, H. J. (2023). Volatile cinnamaldehyde induces systemic salt tolerance in the roots of rice (*Oryza sativa*). *Physiologia Plantarum*, 13938. https://doi.org/10.1111/ppl.13938
Irigoyen, J., Einerich, D., & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, *84*(1), 55-60. https://doi.org /10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x
Jiang, Y. & Huang, B. (2001). Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science*, *41*(2), 436-442. https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412436x
Jouyban, A., Give, H. S., & Noryan, M. (2015). Relationship between agronomic and morphological traits in barley varieties under drought stress condition. *International Research Journal of Applied & Basic Sciences*, *9*(9), 1507-1511.
Kafi, M., Nabati, J., Masoumi, A., & Mehrgerdi, M. Z. (2011). Effect of salinity and silicon application on oxidative damage of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.]. *Pakistan Journal of Botany*, *43*(5), 2457-2462.
Kapanigowda, M. H., Payne, W. A., Rooney, L., & Mullet, J. E. (2012). Transpiration ratio in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] for increased water-use efficiency and drought tolerance. *Journal of Arid Land Studies*, *21*(2), 175-178.
Kariola, T., Brader, G., Li, J., & Palva, E. T. (2005). Chlorophyllase 1, a damage control enzyme, affects the balance between defense pathways in plants. *The Plant Cell*, *17*(1), 282-294. https://doi.org/10.1105/tpc.104.025817
Mai, W., Tian, C., & Li, C. (2013). Soil salinity dynamics under drip irrigation and mulch film and their effects on

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

cotton root length. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *44*(9), 1489-1502. https://doi.org/10.1080/00103624 .2012.760573

Mansour, M. M. F. & Ali, E. F. (2017). Evaluation of proline functions in saline conditions. *Phytochemistry*, *140*, 52-68. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2017.04.016

Mansour, M. M. F., Emam, M. M., Salama, K. H. A., & Morsy, A. A. (2021). Sorghum under saline conditions: Responses, tolerance mechanisms, and management strategies. *Planta*, *254*, 1-38. https://doi.org/10.1007/s00 425-021-03671-8

Moradi, F. (2002). Physiological Characterization of Rice Cultivars for Salinity Tolerance During Vegetative and Reproductive Stages. Los Banos, Laguna, Philippines.

Mottaleb, K. A., Kruseman, G., Frija, A., Sonder, K., & Lopez-Ridaura, S. (2023). Projecting wheat demand in China and India for 2030 and 2050: Implications for food security. *Frontiers in Nutrition*, *26*(9), 1077443. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1077443

Mulaudzi, T., Nkuna, M., Sias, G., Doumbia, I. Z., Njomo, N., & Iwuoha, E. (2022). Antioxidant capacity of chitosan on sorghum plants under salinity stress. *Agriculture*, *12*(10), 1544. https://doi.org/10.3390/agriculture12101544

Mulaudzi, T., Nkuna, M., Sias, G., Doumbia, I. Z., Njomo, N., & Iwuoha, E. (2022). Antioxidant capacity of chitosan on sorghum plants under salinity stress. *Agriculture*, *12*(10),1544. https://doi.org/10.3390/agriculture12101544

Naeem, M., Basit, A., Ahmad, I., Mohamed, H. I., & Wasila, H. (2020). Effect of salicylic acid and salinity stress on the performance of tomato plants. *Gesunde Pflanzen*, *72*(4). https://doi.org/10.1007/s10343-020-00521-7

Nakano, Y. & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, *22*(5), 867-880. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232

Pakar, N., Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., & Pessarakli, M. (2016). Barley growth, yield, antioxidant enzymes, and ion accumulation affected by PGRs under salinity stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, *39*(10), 1372-1379. https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1143498

Parida, A. K. & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *60*(3), 324-349. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010

Parvaiz, A. & Satyawati, S. (2008). Salt stress and phyto-biochemical responses of plants-a review. *Plant Soil and Environment*, *54*(3), 89. http://dx.doi.org/10.17221/2774-PSE

Pask, A., Pietragalla, J., Mullan, D., & Reynolds, M. (2012). Physiological Breeding II: A Field Guide to Wheat Phenotyping.

Pinheiro, C. & Chaves, M. (2011). Photosynthesis and drought: Can we make metabolic connections from available data?. *Journal of Experimental Botany*, *62*(3), 869-882. https://doi.org/10.1093/jxb/erq340

Plewa, M. J., Smith, S. R., & Wagner, E. D. (1991). Diethyldithiocarbamate suppresses the plant activation of aromatic amines into mutagens by inhibiting tobacco cell peroxidase. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, *247*(1), 57-64. https://doi.org/10.1016/0027-5107(91)90033-K

Qin, F., Shinozaki, K., & Yamaguchi-Shinozaki, K. (2011). Achievements and challenges in understanding plant abiotic stress responses and tolerance. *Plant and Cell Physiology*, *52*(9), 1569-1582. https://doi.org/10.1093/pcp/pcr106

Rahal, A., Kumar, A., Singh, V., Yadav, B., Tiwari, R., Chakraborty, S., & Dhama, K. (2014). Oxidative stress, prooxidants, and antioxidants: the interplay. *BioMed Research International*. https://doi.org/10.1155/2014/761264

Rahnama, A., Fakhri, S., & Meskarbashee, M. (2019). Root growth and architecture responses of bread wheat cultivars to salinity stress. *Agronomy Journal*, *111*(6), 2991-2998. https://doi.org/10.2134/agronj2018.12.0795

Rani, C. R., Reema, C., Alka, S., & PK, S. (2012). Salt tolerance of Sorghum bicolor cultivars during germination and seedling growth. *Research Journal of Recent Sciences*, 2277, 2502.

Rooney, W. L., Blumenthal, J., Bean, B., & Mullet, J. E. (2007). Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, *1*(2), 147-157. https://doi.org/10.1002/bbb.15

Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L. M., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales, M. A., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2010). Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*, *178*(1), 30-40. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.10.001

Sanjari, S., Shirzadian-Khorramabad, R., Shobbar, Z. S., & Shahbazi, M. (2019). Systematic analysis of NAC transcription factors' gene family and identification of post-flowering drought stress responsive members in sorghum. *Plant Cell Reports*, *38*, 361-376. https://doi.org/10.1007/s00299-019-02371-8

Seleiman, M. F., Aslam, M. T., Alhammad, B. A., Hassan, M. U., Maqbool, R., Chattha, M. U., Khan, I., Gitari, H. I., Uslu, O. S., Roy, R., & Battaglia, M. L. (2022). Salinity stress in wheat: Effects, mechanisms and management strategies. *Phyton*, *91*(4), http://dx.doi.org/10.32604/phyton.2022.017365

Shakeri, E., Emam, Y., Tabatabaei, S., & Sepaskhah, A. (2017). Evaluation of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.) lines/cultivars under salinity stress using tolerance indices. *International Journal of Plant Production*, *11*(1).

Sharif, P., Seyedsalehi, M., Paladino, O., Van Damme, P., Sillanpaa, M., & Sharifi, A. A. (2018). Effect of drought and salinity stresses on morphological and physiological characteristics of canola. *International Journal of*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

Environmental Science and Technology, *15*, 1859-1866. https://doi.org/10.1007/s13762-017-1508-7

Stoskopf, N. C. (1985). Cereal Grain Crops. Reston Publishing Company Inc.

Swami, A. K., Alam, S. I., Sengupta, N., & Sarin, R. (2011). Differential proteomic analysis of salt stress response in *Sorghum bicolor* leaves. *Environmental and Experimental Botany*, *71*(2), 321-328. https://doi.org/10.1016/j. envexpbot.2010. 12.017

Tabatabaei, S. & Anagholi, A. (2012). Effects of salinity on some characteristics of forage sorghum genotypes at germination stage. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, *4*(14), 979-983

Tari, I., Laskay, G., Takacs, Z., & Poor, P. (2013). Response of sorghum to abiotic stresses: A review. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *199*(4), 264-274. https://doi.org/10.1111/jac.12017

Vaezi, B., Bavei, V., & Shiran, B. (2010). Screening of barley genotypes for drought tolerance by agro-physiological traits in field condition. *African Journal of Agricultural Research*, *5*(9), 881-892. https://doi.org/10.5897/AJ AR09.294

Wasson, A. P., Richards, R. A., Chatrath, R., Misra, S. C., Prasad, S. S., Rebetzke, G. J., Kirkegaard, J. A., Christopher, J., & Watt, M. (2012). Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. *Journal of Experimental Botany*, *63*(9), 3485-3498. https://doi.org/10.1093/jxb/ers111

Xia, Y., Li, R., Ning, Z., Bai, G., Siddique, K. H., Yan, G., Baum, M., Varshney, R. K., & Guo, P. (2013). Single nucleotide polymorphisms in HSP17. 8 and their association with agronomic traits in barley. *PLoS One*, *8*(2), e56816. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056816

Yoshimura, K., Yabuta, Y., Ishikawa, T., & Shigeoka, S. (2000). Expression of spinach ascorbate peroxidase isoenzymes in response to oxidative stresses. *Plant Physiology*, *123*(1), 223-234. https://doi.org/10.1104/ pp.123. 1.223

Zhang, Y., Li, D., Wang, Y., Zhou, R., Wang, L., Zhang, Y., Yu, J., Gong, H., You, J., & Zhang, X. (2018). Genome-wide identification and comprehensive analysis of the NAC transcription factor family in *Sesamum indicum*. *PloS One*, *13*(6), e0199262. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199262

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]

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

Hossein Kazemi[1], Atefeh Sabouri[1*], Ali Aalami[2], Amin Abedi[2]

1 **Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Guilan, Iran**
2 **Department of Plant Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Guilan, Iran**
(Received: 2023/07/20, Accepted: 2023/10/30)

Abstract

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

Keywords: Antioxidant, Compatible osmolytes, Photosynthetic pigments, Sorghum

Corresponding author, Email: a.sabouri@guilan.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-01]