



ارزیابی پارامترهای فتوسنتزی، محتوا و فلورسانس کلروفیل برگ ارقام گلرنگ تحت تنش شوری

زهرا جوادی پور^۱، * محسن موحدی دهنوی^۲ و حمیدرضا بلوچی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه یاسوج، آستادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه یاسوج
تاریخ دریافت: ۹۱/۰۴/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۹/۱۴

چکیده

به منظور مقایسه مؤلفه‌های فتوسنتزی، محتوا و فلورسانس کلروفیل برگ ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) تحت تنش شوری، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج در تابستان ۱۳۹۰ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید. عامل اول ۴ سطح شوری صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ میلی‌مولار و عامل دوم ۶ رقم گلرنگ بهاره محلی اصفهان، سینا خاردار، اصفهان ۱۴، گلدشت، پدیده و سینا ۴۱۱ بودند. مؤلفه‌های فتوسنتز خالص، تعرق، هدایت روزنه‌ای و مزوفیلی، محتوا و فلورسانس کلروفیل اندازه‌گیری شدند. برهم‌کنش رقم و شوری برای تمامی صفات به جز حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو (F_v/F_m) معنی‌دار بود. روند کاهش کلروفیل و مؤلفه‌های فتوسنتزی با افزایش سطوح شوری در ارقام مختلف متفاوت بود. مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل، F_m (فلورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با تاریکی) و F_0 (فلورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با تاریکی) با افزایش سطوح شوری در ارقام مختلف روند افزایشی داشتند. در سطح بدون تنش، رقم پدیده برتری نسبی از نظر کلروفیل a و b ، میزان تعرق، سرعت فتوسنتزی و کارایی مصرف آب داشت. در شوری ۷۵ میلی‌مولار، رقم سینا خاردار از نظر کلروفیل b ، مجموع کلروفیل، کاروتنوئید، هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز برتری نسبی در مقایسه با سایر ارقام نشان داد. در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، رقم پدیده از نظر صفات کلروفیل a ، کلروفیل b ، سرعت فتوسنتز و کارایی مصرف آب نسبت به سایر ارقام برتری داشت و در شوری ۲۲۵ میلی‌مولار، رقم اصفهان ۱۴ از نظر کلروفیل a ، کلروفیل b ، کاروتنوئید، سرعت فتوسنتز و کارایی مصرف آب نسبت به سایر ارقام برتری نشان داد.

واژه‌های کلیدی: تعرق، سرعت فتوسنتز، کاروتنوئید، هدایت روزنه‌ای.

* مسئول مکاتبه: movahhedi54@yahoo.com

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) گیاهی مقاوم به شوری است و در بسیاری از شرایط سخت محیطی رشد می‌کند. مقاومت گلرنگ به شوری از گندم بیش‌تر و از جو کم‌تر است و این گیاه شوری به‌دست آمده از یون سدیم را به‌خوبی تحمل می‌کند، اما در برابر نمک‌های دو یا سه ظرفیتی که شامل کلسیم و منیزیم می‌باشد، مقاومت کم‌تری دارد (دمیر و ازترک، ۲۰۰۳). شوری خاک یکی از عمده‌ترین مشکلات کشاورزی در نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیاست. در این نواحی کافی نبودن آب، وجود گرما و اقلیم بسیار خشک، غالباً علت اصلی افزایش شوری می‌باشد که تولید گیاهان را در این نواحی محدود می‌کند (میرمحمدی‌مبیدی و قره‌یاضی، ۲۰۰۲).

شوری با کلرید سدیم باعث کاهش کربوهیدرات‌هایی می‌شود که برای رشد سلول‌ها و مراحل اصلی فرآیند فتوسنتز و سرعت آن ضروری است. کربوهیدرات‌ها مراحل اصلی فرآیند فتوسنتز و سرعت فتوسنتز را حمایت می‌کنند و معمولاً پایین‌ترین سرعت‌های فتوسنتزی در گیاهان تحت تنش شوری مخصوصاً شوری با کلرید سدیم مشاهده شده است (پریدا و داس، ۲۰۰۵).

فتوسنتز تعیین‌کننده اصلی رشد و عملکرد گیاهان است و توانایی حفظ آن در شرایط تنش‌های محیطی برای حفظ ثبات عملکرد مهم است. کاهش رشد گیاهان زراعی به‌واسطه محدود شدن فتوسنتز صورت می‌گیرد. کاهش فتوسنتز را می‌توان به نقصان هدایت روزنه‌ای نسبت داد که تحت تنش کاهش می‌یابد. بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش گرچه به‌منظور کاهش هدررفت آب صورت می‌گیرد، اما به واسطه جلوگیری از ورود CO_2 می‌تواند فتوسنتز را به کم‌تر از نقطه جبرانی کاهش دهد (اشرف و هریس، ۲۰۰۴). توران و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی روی گیاه ذرت تحت شوری، ارتباط منفی بین مقاومت روزنه‌ای و کلرید سدیم را گزارش دادند. همچنین آن‌ها اظهار داشتند که کل محتوای کلروفیل تحت تیمار شوری، کاهش و مقاومت روزنه‌ای آن افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش‌ها همچنین نشان می‌دهد که تنش شوری موجب تخریب کلروپلاست و تغییر تعداد و اندازه کلروپلاست‌ها می‌شود. کل محتوای کلروفیل برگ‌های ذرت به‌وسیله افزایش سطوح تیمارهای شوری کاهش می‌یابد. یکی از اثرات شوری در گیاه کاهش فعالیت فتوسنتزی در آن است که موجب کاهش مقدار کلروفیل و کاهش جذب CO_2 و ظرفیت فتوسنتزی می‌گردد (فرانسیس و همکاران، ۲۰۰۲). کاهش شدت فتوسنتز ناشی از تنش شوری به‌دلیل عوامل متعددی مانند دهیدراسیون غشاء سلول و در نتیجه کاهش نفوذپذیری CO_2 ، سمیت ناشی از نمک، کاهش میزان CO_2 به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها، تسریع در فرآیند پیری در

نتیجه نمک، تغییر فعالیت آنزیم‌ها به دلیل تغییرات ساختاری در سیتوپلاسم و بازخورد منفی به دلیل کاهش فعالیت منبع می‌باشد. همچنین تنش شوری باعث جلوگیری انتقال الکترون فتوسنتزی، کاهش هدایت روزنه‌ای و افزایش تولید انواع اکسیژن فعال شده که باعث آسیب اکسیداسیونی به فتوسیستم‌ها می‌گردد (مانس، ۲۰۰۲).

با توجه به گزارش چا-اوم و کردمانی (۲۰۰۹)، شوری غلظت کل کلروفیل ذرت را کاهش می‌دهد. کاهش عملکرد کوانتوم در گیاهچه‌های تحت تنش شوری گیاه ذرت، میزان فتوسنتز خالص را کاهش می‌دهد که در ادامه، منجر به کاهش قابل ملاحظه رشد می‌شود (توران و همکاران، ۲۰۰۹).

بررسی شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و رنگیزه‌ها در گیاه ذرت نشان می‌دهد که کاهش مقدار کلروفیل a در طی تیمار شوری دلیل عمده کاهش ظرفیت برانگیختگی فتوسیستم II بوده است؛ مقدار کلروفیل a در مراکز واکنش، یکی از عوامل تعیین‌کننده کارایی عملی یا ظرفیت برانگیختگی فتوسیستم II است (اکسپروگ، ۲۰۰۴). میزان فلورسانس کلروفیل می‌تواند توانایی گیاه در تحمل به تنش‌های محیطی و میزان خسارتی که تنش به گیاه وارد می‌کند را به خوبی نشان دهد. تنش شوری موجب افزایش فلورسانس متغیر (F_v)، فلورسانس حداکثر (F_m)، فلورسانس اولیه (F_0) و کاهش حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی (F_v/F_m) می‌شود (ژاو و همکاران، ۲۰۰۷). گزارش‌های به دست آمده درباره تأثیر شوری بر فلورسانس کلروفیل متناقض می‌باشند. برای مثال برخی از پژوهش‌گران (بروگنولی و لاوتری، ۱۹۹۱ در پنبه؛ میسرا و همکاران، ۱۹۹۱ در لوبیا؛ جیمنز و همکاران، ۱۹۹۷ در رز) گزارش دادند که تغییرات حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) در سطوح مختلف شوری معنی‌دار نمی‌باشد. این پژوهش‌گران نتیجه گرفتند که حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) نمی‌تواند به عنوان یک شاخص، در تنش شوری مطرح باشد. در مقابل، بونجی و لورتو (۱۹۸۹) در خانواده چلیپانیان و میسرا و همکاران (۲۰۰۱) در زیتون، بیان کردند که حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) می‌تواند یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی تنش شوری باشد. نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر فلورسانس (F_v/F_m)، نشان‌دهنده پتانسیل یا بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (PS_{II}) می‌باشد و مقدار آن برای گیاهانی که در شرایط تنش قرار ندارند، در دامنه‌ای بین ۰/۸۵-۰/۶۵ می‌باشد. چنانچه گیاهان در شرایط تنش خشکی، شوری، گرما و تشعشع زیاد قرار گیرند، مقدار آن کم‌تر خواهد شد (ژاو و همکاران، ۲۰۰۷).

تنش شوری با ایجاد تنش ثانویه خشکی، منجر به بسته شدن روزنه‌ها در گیاه تحت تنش می‌گردد (فرانکبود و لپینر، ۲۰۰۳). بسته شدن روزنه‌ها در شرایط شوری به دلیل مقابله با اتلاف بیش‌تر آب و کاهش پتانسیل آب بافت‌های تحت‌تأثیر شوری است و در بسیاری دیگر از گونه‌ها نیز دیده شده است (تاتینی و همکاران، ۱۹۹۹). پژوهش‌گران گزارش کرده‌اند که بین رقم‌های مختلف گلرنگ از نظر تحمل به سطوح مختلف شوری در مراحل مختلف رشد تفاوت‌هایی وجود دارد (دمیر و ازترک، ۲۰۰۳). کومر و همکاران (۲۰۰۳) دریافتند که در ارقام مقاوم‌تر، کلروفیل کم‌تر تجزیه می‌شود. واریته‌های خاردار مقاومت بیش‌تری به شوری دارند و اگر قرار بر کشت گلرنگ در زمین‌های شور است بهتر است از واریته‌های خاردار استفاده شود.

در این پژوهش سعی شده است تا صفات محتوای کلروفیل، پارامترهای فتوسنتزی و فلورسانس کلروفیل برگ ارقام گلرنگ در سطوح مختلف شوری به دست آمده از کلرید سدیم و کلرید کلسیم مورد بررسی قرار گیرد تا واکنش ارقام شناسایی گردند.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی مؤلفه‌های فتوسنتزی، محتوا و فلورسانس کلروفیل ارقام بهاره گلرنگ تحت تنش شوری، آزمایشی در گل‌خانه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج به صورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی در ۳ تکرار به اجرا درآمد. عامل اول شامل ۴ سطح شوری صفر (شاهد)، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ میلی‌مولار با نسبت مولی ۲۰ به ۱ به دست آمده از اضافه نمودن کلرید سدیم و کلرید کلسیم به محلول هوگلند^۱ (۱۹۵۰) (به ترتیب معادل ۱/۲۰، ۲/۹۰، ۶/۵۰ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر) و عامل دوم ۶ رقم گلرنگ شامل رقم محلی اصفهان، سینا خاردار، اصفهان ۱۴، گلدشت، پدیده و سینا ۴۱۱ بودند. واحدهای آزمایشی شامل گلدان‌هایی با ابعاد ۴۰×۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر و شامل ماسه نرم و کاملاً شسته شده بود. تعداد ۱۰ عدد بذر ارقام در عمق ۳ سانتی‌متر در گلدان‌ها کشت شدند. از مرحله کاشت تا مرحله جوانه‌زنی آبیاری با آب صورت گرفت و پس از ثبت تاریخ دقیق سبز شدن (زمانی که ۵۰ درصد سبز شدن صورت گرفت)، گلدان‌ها با محلول شامل نصف غلظت عناصر غذایی محلول هوگلند، آبیاری شدند. در مرحله ۴ برگ، با افزودن تدریجی کلرید سدیم و کلرید کلسیم به نسبت مولی ۲۰ به ۱ در محلول هوگلند، اعمال شوری آغاز گردید (رشید و همکاران، ۱۹۹۹)، به نحوی که همه گلدان‌ها به جز سطح

1- Hogland

شاهد با اضافه کردن تدریجی شوری به میزان ۲۵ میلی مولار در هر سطح (برای سازگار شدن گیاهان) آبیاری شدند. بعد از یک هفته کل تیمار شوری مربوط به هر سطح اعمال گردید. اعمال تیمارهای شوری تا پایان مرحله رویشی با نسبت‌های ذکر شده و هم‌زمان با نیاز آبی گیاه ادامه داشت و در زمان مشاهده شوره در سطح گلدان‌ها، به منظور جلوگیری از تجمع بیش از حد نمک، علاوه بر زه‌کشی گلدانی، آب‌شویی با آب معمولی به‌طور یکنواخت برای تمامی تیمارها صورت گرفت.

میزان کلروفیل موجود در برگ قبل از مرحله زایشی و از جوان‌ترین برگ بالغ به روش پیشنهادی آرنون (۱۹۴۹) و کارتوتنید به روش لیچتندر (۱۹۸۷) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل از دستگاه فلورومتر^۱ مدل (OSI-FL)^۲ با توانایی اندازه‌گیری فلورسانس در دو حالت روشنایی و تاریکی، استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها تنها یک‌بار در مرحله رویشی (یک ماه بعد از اعمال سطوح شوری)، در ساعت اولیه صبح انجام شد. در هر گلدان از هر بوته دو برگ کاملاً باز شده جوان انتخاب گردید و مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل شامل F_m (فلورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با تاریکی)، F_0 (فلورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با تاریکی) و F_v/F_m (حداکثر عملکرد کوآتومی در شرایط سازگار شده با تاریکی) اندازه‌گیری شد.

به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر وضعیت فتوسنتز جاری در مرحله رویشی گلرنگ طی دوره تنش‌های مختلف شوری، شاخص‌های مربوط به تبادلات گازی شامل سرعت فتوسنتز، میزان تعرق، میزان CO_2 زیر روزنه‌ای، هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی ظاهری یا نسبت فتوسنتز به CO_2 زیرروزنه (فیشر و همکاران، ۱۹۹۸) و کارایی مصرف آب لحظه‌ای یا نسبت فتوسنتز به تعرق (ساین و سینگ، ۲۰۰۱) با استفاده از دستگاه IRGA^۳ اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها در مرحله رویشی (یک ماه بعد از اعمال سطوح شوری)، در ساعت ۱۰ صبح تا ۱۴ بعد از ظهر انجام شد. در هر گلدان از هر بوته دو برگ کاملاً باز شده جوان انتخاب گردید و پارامترها اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری تعداد روزنه لاک شفاف (برق ناخن) به اندازه تقریبی ۱ سانتی‌متر در وسط سطح رویی جوان‌ترین برگ قرار داده شد و بعد از خشک شدن لاک، لایه لاک چسبیده به برگ به‌صورت یک لایه پیوسته جدا گردید. پس از این جداسازی، تعداد روزنه برگ انعکاس‌یافته روی لاک در محدوده دید عدسی ۲۰، شمارش گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل برش‌دهی انجام شد و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون Lsmeans در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

1- Florimeter

2- Model (OSI-FL), USA

3- Model (LCA4), USA

نتایج و بحث

محتوای کلروفیل برگ: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که برهم‌کنش شوری و رقم بر مقدار کلروفیل a ، b و مجموع کلروفیل a و b در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. نتایج برش‌دهی (جدول ۲) نشان داد که در همه سطوح مختلف شوری، اثر ارقام بر کلروفیل a ، b و مجموع کلروفیل a و b معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری و رقم (در جدول ۳) نشان داده است.

جدول ۱- میانگین مربعات به‌دست آمده از تجزیه واریانس محتوای کلروفیل، کاروتنوئید و فلورسانس کلروفیل در ارقام گلرنگ تحت تنش شوری.

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل $a+b$	کاروتنوئید	F_o	F_m	F_v/F_m
رقم	۵	۰/۱۵۲**	۰/۴۵**	۱/۸۲**	۰/۰۰۰۱۲**	۳۱۸/۲۵*	۹۹۳/۷۸**	۰/۰۰۰۴۰۳ ^{ns}
شوری	۳	۱/۵۹**	۵/۴۴**	۶/۱۷**	۰/۰۰۳۳**	۳۰۵۸/۳۸**	۲۳۸۴۳۱/۱۹**	۰/۰۳۷**
شوری × رقم	۱۵	۰/۱۴۴**	۰/۹۱**	۱/۰۵۳**	۰/۰۰۱۲**	۳۷۸۳۵**	۴۵۸/۶۹*	۰/۰۰۱۱۶ ^{ns}
خطا	۴۸	۰/۰۰۰۵۲	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۰۰۲۳	۱۱۰/۲۵	۱۹۲/۰۶۹	۰/۰۰۰۹۴۹
درصد ضریب تغییرات	۳/۱۸	۲/۹۴	۲/۵۴	۱۳/۰۱	۳/۳۵	۳/۹۲		

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار.

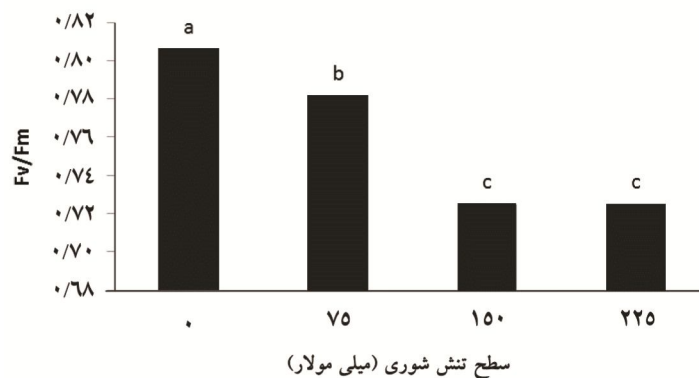
در هر ۳ سطح شوری صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار، رقم پدیده بیش‌ترین میزان کلروفیل a را به خود اختصاص داد. ولی در سطح شوری ۲۲۵ میلی‌مولار، رقم پدیده دارای کم‌ترین میزان کلروفیل a (۰/۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) و رقم سینا ۴۱۱ دارای بیش‌ترین میزان کلروفیل a (۰/۵۴ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) بود. در سطح شوری صفر و ۷۵ میلی‌مولار، رقم گلدشت دارای کم‌ترین میزان کلروفیل a بود (جدول ۳). با افزایش سطوح شوری میزان کلروفیل a کاهش یافت که این میزان کاهش برای ارقام مختلف و در سطوح شوری مختلف متفاوت بود و این نشان‌دهنده تأثیر متفاوت شوری در ارقام است. بین صفات کلروفیل a با سرعت فتوسنتز، میزان CO_2 زیرروزنه‌ای و کارایی مصرف آب لحظه‌ای همبستگی مثبت و معنی‌دار و با میانگین تعداد روزنه و F_m همبستگی منفی و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۷).

زهرا جوادی پور و همکاران

جدول ۲- میانگین مربعات به دست آمده از تجزیه واریانس برش‌دهی اثر سطوح شوری بر محتوای کلروفیل و کاروتنوئید ارقام گلرنگ.

شوری	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	کاروتنوئید	F _o	F _m	F _v /F _m
صفر	۵	۰/۲۰۳**	۱/۲۷۰**	۱/۴۳**	۰/۰۰۱۶۰**	۳۴۰/۴۰*	۱۹۹/۳۰ ^{ns}	۰/۰۰۱۱۸ ^{ns}
۷۵	۵	۰/۱۷۱**	۱/۶۲۰**	۲/۹۹**	۰/۰۰۰۷۶**	۴۸۷/۸۲**	۴۲۸/۴۰ ^{ns}	۰/۰۰۱۱۰ ^{ns}
۱۵۰	۵	۰/۰۸۱**	۰/۱۰۹**	۰/۴۳**	۰/۰۰۱۱۰**	۴۰۰/۹۸**	۱۳۴/۲۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۲۱ ^{ns}
۲۲۵	۵	۰/۱۳۰**	۰/۲۰۹**	۰/۱۲**	۰/۰۰۰۲۵**	۲۲۴/۰۸ ^{ns}	۱۶۰۷/۹۵**	۰/۰۰۱۳۰ ^{ns}

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری برای حداکثر کارایی کوانتوم فتوسنتز (F_v/F_m) برگ گلرنگ.

مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری و رقم برای کلروفیل b (جدول ۳) نشان داد که در کم‌ترین سطح شوری، بالاترین میزان کلروفیل b در رقم سینا ۴۱۱ (۲/۵۵ میلی‌گرم بر گرم) و کم‌ترین میزان آن در رقم گلدشت (۰/۷۴ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد. رقم سینا خاردار در سطح شوری ۷۵ میلی‌مولار دارای بیش‌ترین میزان کلروفیل b (معادل ۲/۸۶ میلی‌گرم بر گرم) بود. رقم محلی اصفهان و گلدشت در سطح تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کم‌ترین میزان کلروفیل b را دارا بودند (جدول ۳). در بیش‌ترین سطح تنش شوری (۲۲۵ میلی‌مولار)، رقم محلی اصفهان بیش‌ترین میزان کلروفیل b معادل ۱/۵۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ را دارا بود و کم‌ترین میزان کلروفیل b در این سطح مربوط به رقم گلدشت با میزان کلروفیل ۰/۷۵ میلی‌گرم بر گرم بود.

جدول (۳) نشان داد که در سطح شوری صفر بیش‌ترین میزان کلروفیل کل در رقم سینا ۴۱۱ (۳/۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کم‌ترین میزان آن در رقم گلدشت مشاهده شد. در سطح

شوری ۷۵ میلی مولار رقم محلی اصفهان کمترین کلروفیل کل (۱/۱۹ میلی گرم بر گرم) و بیشترین میزان کلروفیل کل در رقم سینا خاردار (۳/۵۹ میلی گرم بر گرم) بود.

جدول ۳- مقایسه میانگین برهم کنش رقم و شوری برای محتوای کلروفیل و مؤلفه‌های فلورسانس اندازه‌گیری شده در گلرنگ.

F _m	F _o	کاروتنوئیدها	کلروفیل			رقم	سطوح شوری (میلی مولار)
			a+b	b	a		
(میلی گرم بر گرم وزن تر برگ)							
۲۷۱/۶۶ ^a	۴۹/۶۶ ^b	۰/۰۵۶ ^b	۳/۱۴ ^a	۱/۷۳ ^b	۱/۴۱ ^a	پدیده	صفر
۲۷۶/۶۶ ^a	۵۳/۰۰ ^b	۰/۰۴۹ ^b	۲/۲۵ ^c	۱/۰۴ ^d	۱/۲۱ ^c	محلی اصفهان	
۲۸۷/۰۰ ^a	۶۱/۶۶ ^{ab}	۰/۰۸۱ ^a	۲/۲۱ ^c	۱/۱۴ ^c	۱/۰۷ ^d	اصفهان ۱۴	
۲۶۵/۰۰ ^a	۷۰/۶۶ ^a	۰/۰۴۹ ^b	۱/۴۶ ^d	۰/۷۴ ^c	۰/۷۳ ^f	گلدشت	
۲۸۴/۶۶ ^a	۶۵/۰۰ ^{ab}	۰/۰۲۴ ^c	۳/۰۹ ^b	۱/۷۳ ^b	۱/۳۶ ^b	سینا خاردار	
۲۷۶/۰۰ ^a	۷۸/۰۰ ^a	۰/۰۱۷ ^c	۳/۴۸ ^a	۲/۵۵ ^a	۰/۹۳ ^c	سینا ۴۱۱	
۳۶۸/۰۰ ^a	۸۰/۳۳ ^a	۰/۰۴۲ ^c	۱/۴۲ ^c	۲/۱۸ ^c	۱/۲۴ ^a	پدیده	۷۵
۳۶۷/۳۳ ^a	۸۰/۰۰ ^a	۰/۰۱۴ ^e	۲/۶۹ ^b	۲/۰۴ ^d	۰/۶۵ ^c	محلی اصفهان	
۳۸۲/۳۳ ^a	۸۱/۶۶ ^a	۰/۰۳۰ ^d	۳/۳۵ ^a	۲/۶۸ ^b	۰/۶۷ ^c	اصفهان ۱۴	
۳۵۷/۰۰ ^a	۹۵/۰۰ ^a	۰/۰۴۸ ^{bc}	۲/۸۴ ^b	۲/۲۴ ^c	۰/۶۰ ^d	گلدشت	
۳۸۴/۳۳ ^a	۵۵/۶۶ ^b	۰/۰۵۳ ^{ab}	۳/۴۹ ^a	۲/۸۴ ^a	۰/۶۵ ^c	سینا خاردار	
۳۸۷/۰۰ ^a	۸۰/۶۶ ^a	۰/۰۵۷ ^a	۱/۴۷ ^c	۰/۷۶ ^e	۰/۷۱ ^b	سینا ۴۱۱	
۴۵۳/۰۰ ^a	۹۱/۳۳ ^{ab}	۰/۰۵۴ ^d	۱/۸۴ ^a	۱/۰۸ ^a	۰/۷۶ ^a	پدیده	۱۵۰
۴۴۷/۳۳ ^a	۱۰۲/۳۳ ^a	۰/۰۶۳ ^c	۱/۳۵ ^b	۰/۶۴ ^c	۰/۷۱ ^b	محلی اصفهان	
۴۵۶/۰۰ ^a	۱۰۲/۳۳ ^a	۰/۰۶۱ ^{cd}	۱/۳۵ ^b	۰/۸۵ ^b	۰/۵۰ ^d	اصفهان ۱۴	
۴۵۸/۰۰ ^a	۷۶/۳۳ ^b	۰/۰۶۲ ^c	۱/۲۰ ^b	۰/۶۵ ^c	۰/۵۵ ^c	گلدشت	
۴۶۴/۶۶ ^a	۸۲/۶۶ ^b	۰/۱۰۰ ^a	۱/۲۱ ^b	۰/۸۶ ^b	۰/۳۵ ^f	سینا خاردار	
۴۶۴/۳۳ ^a	۷۸/۶۶ ^b	۰/۰۸۰ ^b	۱/۴۵ ^b	۱/۰۶ ^a	۰/۳۹ ^e	سینا ۴۱۱	
۵۱۸/۳۳ ^b	۷۸/۳۳ ^c	۰/۰۶۳ ^a	۱/۴۰ ^c	۱/۲۲ ^b	۰/۱۸ ^e	پدیده	۲۲۵
۵۶۲/۶۶ ^a	۸۶/۰۰ ^{bc}	۰/۰۶۰ ^a	۲/۰۶ ^a	۱/۵۴ ^a	۰/۵۲ ^b	محلی اصفهان	
۵۶۰/۳۳ ^a	۱۰۳/۳۳ ^a	۰/۰۴۳ ^c	۱/۷۶ ^b	۱/۰۲ ^c	۰/۷۴ ^a	اصفهان ۱۴	
۵۳۶/۶۶ ^b	۹۵/۶۶ ^{ab}	۰/۰۵۲ ^b	۱/۲۱ ^c	۰/۷۵ ^d	۰/۴۶ ^c	گلدشت	
۵۲۴/۰۰ ^b	۹۴/۶۶ ^{abc}	۰/۰۴۳ ^c	۱/۴۰ ^b	۱/۱۷ ^b	۰/۲۳ ^d	سینا خاردار	
۵۷۵/۳۳ ^a	۹۳/۳۳ ^{abc}	۰/۰۴۳ ^c	۱/۵۶ ^b	۱/۰۲ ^c	۰/۵۴ ^b	سینا ۴۱۱	

در هر ستون و هر سطح شوری حرف مشترک نشان‌دهنده نبود تفاوت آماری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون Lsmeans می‌باشد.

در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار سینا خاردار بیش‌ترین (۲/۲۶) و محلی اصفهان کم‌ترین میزان کلروفیل کل (۱/۳۳ میلی‌گرم بر گرم) را به خود اختصاص دادند. در سطح شوری ۲۲۵ میلی‌مولار کم‌ترین میزان آن در رقم اصفهان ۱۴ (۱/۱۷ میلی‌گرم بر گرم) و بیش‌ترین در رقم سینا خاردار (۱/۷۴) مشاهده گردید به طوری که نسبت به بیش‌ترین میزان کلروفیل کل حدود ۲/۴۲ میلی‌گرم بر گرم کاهش نشان داد. بین ارقام اصفهان ۱۴، سینا خاردار و سینا ۴۱۱؛ همچنین گلدشت و پدیده، تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. علت افزایش محتوای کلروفیل از سطح شوری صفر به ۷۵ میلی‌مولار شاید به این دلیل باشد که در سطح تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار، سطح برگ بیش‌تر تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفته و کاهش یافته ولی در سطوح بالای شوری، با افزایش شوری و کاهش بیش‌تر سطح برگ، محتوای کلروفیل بیش‌تر تحت تأثیر قرار گرفت و به شدت در ارقام مختلف کاهش یافت. از دیگر دلایل، گمان می‌رود که کاهش غلظت کلروفیل برخی ارقام تحت تأثیر تنش شوری، به علت مشترک بودن مسیر بیوسنتزی کلروفیل و آلفا توکوفرول باشد که گیاه در این شرایط (تنش شوری) می‌تواند با توقف بیوسنتز کلروفیل، مسیر بیوسنتزی آنتی‌اکسیدان آلفا توکوفرول را فعال نماید و همچنین به دلیل تغییر مسیر متابولیسم نیتروژن در ساخت ترکیب‌هایی مانند پرولین باشد که برای تنظیم اسمزی به کار می‌روند (کایا و همکاران، ۲۰۰۱). پس می‌توان بیان نمود که گیاهانی که تحت شرایط شوری قرار می‌گیرند، محتوای کلروفیل آن‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد و در بیش‌تر آن‌ها محتوای کلروفیل کاهش می‌یابد. در این میان، آن دسته از گیاهانی که به شوری متحمل هستند، می‌توانند این کاهش محتوای کلروفیل را تعدیل کنند. پیری برگ نیز در نتیجه کاهش محتوای کلروفیل، تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرد. کایا و همکاران (۲۰۰۱) و کایا و همکاران (۲۰۰۲) با مقایسه ارقام توت‌فرنگی و اسفناج دریافتند که شوری غلظت کلروفیل را کاهش می‌دهد.

محتوای کاروتنوئید برگ: با بررسی جدول تجزیه واریانس مشاهده می‌شود که برهم‌کنش تنش شوری و رقم برای محتوای کاروتنوئید در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۱). جدول برش‌دهی (جدول ۲) نیز نشان داد که بین ارقام در تمامی سطوح شوری تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در سطح شوری شاهد (صفر) بیش‌ترین محتوای کاروتنوئید در رقم اصفهان ۱۴ (۰/۰۸۱ میلی‌گرم بر گرم) و کم‌ترین آن در رقم سینا ۴۱۱ (۰/۰۱۷) مشاهده شد. بین ارقام سینا خاردار و سینا ۴۱۱ تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. در تیمار ۷۵ میلی‌مولار بیش‌ترین میزان کاروتنوئید در رقم سینا ۴۱۱ (۰/۰۵۷) بود که نسبت به رقم شاهد ۰/۰۲۴ میلی‌گرم بر گرم اختلاف داشت و کم‌ترین میزان در رقم محلی

اصفهان معادل ۰/۰۱۴ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۳). بین ارقام پدیده، محلی اصفهان و گلدشت تفاوت آماری معنی داری وجود نداشت. کمترین میزان کاروتنوئید در سطح شوری ۱۵۰ میلی مولار متعلق به رقم پدیده با میزان ۰/۰۵۴ میلی گرم بر گرم و بیشترین آن در رقم سینا خاردار (۰/۱ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) بود. کمترین میزان کاروتنوئید در بیشترین سطح شوری، در ارقام سینا ۴۱۱، سینا خاردار و اصفهان ۱۴ مشاهده گردید که این ارقام از نظر آماری تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند. نتایج نشان داد که با افزایش شوری میزان کاروتنوئید در برخی از ارقام روند کاهشی داشته است. کاهش میزان محتوای کاروتنوئید با افزایش تنش شوری به دلیل تخریب بتاکاروتن در جو و سورگوم گزارش شده است (شارما و هال، ۱۹۹۱). کاروتنوئیدها نقش حفاظتی در مقابل تنش اکسیداتیو القاء شده دارند و در سمیت‌زدایی از کلروفیل نیز مؤثرند و باعث کاهش اثرات سمی رادیکال‌های آزاد می‌شوند (سانیتاتا و گابریلا، ۱۹۹۹).

پارامترهای فلورسانس کلروفیل: اثر سطوح مختلف شوری و رقم و همچنین برهم‌کنش شوری و رقم بر مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل به‌جز F_v/F_m معنی دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین به روش برش‌دهی برای F_0 نشان داد که در تمامی سطوح به‌جز سطح شوری ۲۲۵ میلی مولار تفاوت بین ارقام معنی دار بود. برای F_m فقط در سطح شوری ۲۲۵ میلی مولار تفاوت بین ارقام معنی دار بود و بقیه سطوح شوری تفاوت معنی داری از نظر آماری نداشتند (جدول ۲). در سطح شوری صفر کمترین F_0 مربوط به رقم پدیده (۴۹/۶۶) و بیشترین مربوط به رقم سینا ۴۱۱ (۷۸) بود و بین ارقام سینا ۴۱۱ و گلدشت با ارقام پدیده و محلی اصفهان تفاوت معنی داری مشاهده شد. در سطح شوری ۷۵ میلی مولار کمترین F_0 به رقم سینا خاردار (۵۵/۶۶) و بین سایر ارقام نیز اختلاف معنی داری وجود نداشت. در سطح شوری ۱۵۰ میلی مولار کمترین مقدار به رقم F_0 گلدشت با میانگین ۷۶/۳۳ و بیشترین آن مربوط به رقم محلی اصفهان و اصفهان ۱۴ با میانگین ۱۰۲/۳۳ بود و رقم‌های پدیده، محلی اصفهان و اصفهان ۱۴ از نظر آماری تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند. در سطح شوری ۲۲۵ میلی مولار کمترین F_0 متعلق به رقم پدیده با ۷۸/۳۳ و بیشترین متعلق به رقم اصفهان ۱۴ با ۱۰۳/۳۳ بود و بین ارقام اصفهان ۱۴، گلدشت، سینا خاردار و سینا ۴۱۱ تفاوت معنی داری مشاهده نشد (جدول ۳). افزایش F_0 در اثر تنش شوری ناشی از افزایش بازدارندگی نوری فتوسیستم ۲ می‌باشد (ماکسول و جانسون، ۲۰۰۰). بنابراین به‌نظر می‌رسد ارقامی که بتوانند در شرایط تنش از افزایش F_0 جلوگیری کنند تحمل بیشتری به تنش نشان خواهند داد.

در سطح شوری ۲۲۵ میلی مولار، کمترین F_m در رقم پدیده با میانگین $518/3$ و بیشترین در رقم سینا ۴۱۱ با میانگین $575/3$ مشاهده گردید و بین ارقام محلی اصفهان، اصفهان ۱۴ و سینا ۴۱۱ از نظر آماری تفاوت معنی داری مشاهده نشد.

اثر اصلی شوری بر F_v/F_m معنی دار گردید (جدول ۱) و این نشان دهنده این است که با افزایش شوری میزان آن کاهش داشته است (شکل ۱). براساس نتایج به دست آمده از پژوهش‌های انجام شده، شوری باعث کاهش عملکرد فتوسیستم II و ماکزیمم عملکرد فتوسیستم II در برگ‌های ذرت گردیده است. کاهش عملکرد فتوسیستم II و ماکزیمم عملکرد فتوسیستم II در نتیجه یک اثر ساختمانی بر فتوسیستم II و یکی از فاکتورهای اصلی مسئول برای کاهش تدریجی در سرعت فتوستز از طریق تأثیر بر کاهش در سرعت انتقال الکترون می‌باشد (پاک‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۷). نتایج مشابه در گیاه سورگوم (لوتوس، ۱۹۹۶) و کلزا گزارش شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده شد که با افزایش شوری میزان حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (PS_{II}) در شرایط سازگار با تاریکی (F_v/F_m)، که نشان دهنده ظرفیت انتقال الکترون در فتوسیستم II می‌باشد (دمیگ-آدامز، ۱۹۸۹)، در مرحله رویشی کاهش یافت اما این کاهش در سطح تنش شوری ۱۵۰ و ۲۲۵ میلی مولار معنی دار نمی‌باشد (شکل ۱). این موارد با نتایج ژائو و همکاران (۲۰۰۷) در گندم مبنی بر کاهش F_v/F_m در اثر افزایش شوری تطابق دارد. پس با توجه به مطالب ذکر شده چنین می‌توان استنتاج نمود که کاهش F_v/F_m در این آزمایش، به‌طور عمده به‌خاطر وجود آشفستگی در کلروپلاست بوده و کاهش میزان محتوای کلروفیل نیز این موضوع را تأیید می‌کند. نتونند و همکاران (۲۰۰۴) گزارش دادند که شوری باعث کاهش ظرفیت فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m) می‌شود. مقدار F_v/F_m نشان دهنده ظرفیت انتقال الکترون PS_{II} می‌باشد. روند کاهشی F_v/F_m مربوط به افزایش F_m می‌باشد که با عملکرد کوانتوم فتوستز خالص همبستگی بالایی دارد. پارامترهای فلورسانس کلروفیل نیز به‌واسطه این‌که دارای یک تطبیق خوبی با ارقام با عملکرد بالا در شرایط تنش بودند می‌توانند برای گزینش ارقام قبل از رسیدگی و برای صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

فلورسانس کلروفیل به‌طور مستقیم به فعالیت کلروفیل در مراکز واکنش فتوسیستم‌ها ارتباط دارد و وجود هر گونه آشفستگی، مانند جلوگیری از تولید تعدادی از پروتئین‌های تیلاکوئید رمز شده توسط کلروپلاست، در مقایسه با پروتئین‌های رمز شده توسط هسته سلول و یا دگرگونی ساختار و تغییر در رنگ‌دانه‌های فتوسیستم II، منجر به کاهش حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم در شرایط سازگار با

تاریکی (F_v/F_m) می‌گردد (فرانکبود و لیپنر، ۲۰۰۳).

پارامترهای فتوسنتزی: در خصوص عوامل روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای محدودکننده فتوسنتز در سطوح مختلف تنش شوری، نتایج تجزیه واریانس صفات بیانگر معنی‌دار بودن برهم‌کنش رقم و سطوح تنش شوری برای تمامی صفات در سطح ۱ درصد بود (جدول ۴). مقایسه میانگین برهم‌کنش با روش برش‌دهی نیز نشان داد که در تمامی سطوح شوری برای صفات تعرق، هدایت روزنه‌ای (g_s)، سرعت فتوسنتز، میزان CO_2 زیرروزنه (C_i) و هدایت مزوفیلی (A/C_i) تفاوت بین ارقام در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۵).

جدول ۴- میانگین مربعات به‌دست آمده از تجزیه واریانس پارامترهای فتوسنتزی ارقام گلرنگ تحت تأثیر سطوح مختلف تنش شوری.

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعرق	هدایت روزنه‌ای	سرعت فتوسنتز	میزان CO_2 زیرروزنه	هدایت مزوفیلی	کارایی مصرف آب لحظه‌ای	تعداد روزنه
رقم	۵	۰/۳۰۷**	۰/۰۰۷۰**	۱۷/۰۲۰**	۲۹۰۶۸/۲۴**	۰/۰۰۰۰۵۱**	۱۴۷/۲۹**	۹/۵۸**
شوری	۳	۳/۶۶۰**	۰/۰۲۳۰**	۱۱۸/۳۰**	۱۸۷۰۴۹/۶۱**	۰/۰۰۰۰۳۴۰**	۷۲۵/۱۰**	۶۱۲۵/۴۰**
شوری × رقم	۱۵	۰/۵۹۰**	۰/۰۰۶۹**	۱۶/۱۸۰**	۳۴۷۱۸/۲۷**	۰/۰۰۰۰۳۳**	۵۵/۷۶**	۱۰/۹۰**
خطا	۴۸	۰/۰۰۰۵۸	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۹	۳۰۲/۵۱	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۸۶۸	۱/۳۴
درصد ضریب تغییرات	۲/۰۳	۱۴/۷۳	۱/۳۷	۳/۲۵	۱۲/۹۵	۱۰/۲۰	۲/۸۱	

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۵- میانگین مربعات به‌دست آمده از تجزیه واریانس برش‌دهی اثر سطوح مختلف شوری بر پارامترهای فتوسنتزی ارقام گلرنگ مورد مطالعه.

شوری	درجه آزادی	تعرق	هدایت روزنه‌ای	سرعت فتوسنتز	میزان CO_2 زیرروزنه	هدایت مزوفیلی	کارایی مصرف آب لحظه‌ای	تعداد روزنه
۰	۵	۰/۴۲**	۰/۰۱۵**	۵۶/۱۹**	۱۲۱۰۵۱/۰۰**	۰/۰۰۰۰۴۸**	۶۴/۷۴**	۵/۲۸**
۷۵	۵	۰/۱۹**	۰/۰۰۴۵**	۳/۴۸**	۱۵۷۲/۶۷**	۰/۰۰۰۰۴۸**	۲۳۲/۹۷**	۸/۱۳**
۱۵۰	۵	۰/۵۸**	۰/۰۰۸ ^{ns}	۴/۷۶**	۷۰۳۴/۰۲**	۰/۰۰۰۰۵۵**	۱۱/۱۹**	۹/۲**
۲۲۵	۵	۰/۸۸**	۰/۰۰۰۳*	۱/۱۳**	۳۵۶۵/۲۴**	۰/۰۰۰۰۴۸**	۵/۷۲**	۱۹/۶۸**

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار.

مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش شوری و رقم (جدول ۶) نشان داد که در سطح شوری صفر بیش‌ترین تعرق در رقم پدیده (۱/۹ مول بر مترمربع بر ثانیه) و کم‌ترین میزان تعرق در رقم سینا خاردار

($0/86$ مول بر مترمربع بر ثانیه) وجود داشت. بین ارقام در این سطح تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت. در سطح تنش شوری 75 میلی‌مولار کم‌ترین تعرق را رقم محلی اصفهان ($0/59$ مول بر مترمربع بر ثانیه) و بیش‌ترین تعرق را رقم اصفهان 14 و گلدشت به خود اختصاص دادند. در سطح تنش شوری 150 میلی‌مولار رقم پدیده کم‌ترین میزان تعرق ($1/15$ مول بر مترمربع بر ثانیه) را به خود اختصاص داد و بیش‌ترین میزان تعرق در رقم محلی اصفهان ($2/27$ مول بر مترمربع بر ثانیه) مشاهده شد. بین تمامی ارقام تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت. در سطح تنش شوری 225 میلی‌مولار رقم پدیده بیش‌ترین میزان تعرق ($1/61$ مول بر مترمربع بر ثانیه) را دارا بود. کم‌ترین میزان تعرق در رقم سینا خاردار ($0/32$ مول بر مترمربع بر ثانیه) مشاهده شد. بین ارقام اصفهان 14 و سینا 411 تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری و رقم برای هدایت روزنه‌ای (جدول ۶) نشان داد که در سطح تنش شوری صفر، رقم سینا خاردار ($0/21$) بیش‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای را دارا بود و کم‌ترین میزان آن متعلق به رقم گلدشت ($0/02$ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) بود و بین ارقام سینا 411 و اصفهان 14 اختلاف آماری معنی‌داری در سطح بدون تنش مشاهده نشد. در سطح تنش شوری 75 میلی‌مولار سینا خاردار دارای بیش‌ترین هدایت روزنه‌ای ($0/15$ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) و ارقام سینا 411 ، اصفهان 14 و پدیده دارای کم‌ترین هدایت روزنه‌ای بودند و رقم سینا خاردار دارای اختلاف معنی‌داری در این سطح با بقیه ارقام بود. در سطح شوری 150 میلی‌مولار بیش‌ترین هدایت روزنه‌ای را رقم محلی اصفهان ($0/15$ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) به خود اختصاص داد و کم‌ترین آن در رقم سینا خاردار ($0/02$ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) مشاهده گردید و بین ارقام پدیده، اصفهان 14 و سینا 411 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در بیش‌ترین سطح شوری کم‌ترین هدایت روزنه‌ای متعلق به رقم اصفهان 14 ($0/26$ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) و بیش‌ترین آن مربوط به رقم سینا خاردار ($0/06$) بود (جدول ۶). می‌توان چنین بیان کرد که در شرایط بدون تنش فضای روزنه‌ای کاملاً باز بوده و هیچ نوع رابطه معنی‌داری بین سرعت فتوسنتز و میزان هدایت روزنه‌ای وجود ندارد، ولی با افزایش تنش و به‌دنبال آن با افزایش مقاومت روزنه‌ای ارتباط این دو بیش‌تر و معنی‌دارتر می‌شود. افزایش مقاومت روزنه‌ای در شرایط تنش توسط پژوهش‌گران دیگر نیز گزارش شده است (فلکساس و همکاران، 2008 ؛ کرنیک و مساکی، 1996).

کنترل روزنه‌ای از دست دادن آب، به‌عنوان یک رویداد اولیه در واکنش گیاهان به کمبود محتوای آب ناشی از تنش شناخته می‌شود که منجر به محدودیت جذب کربن به‌وسیله برگ‌ها می‌شود. بالا بودن میزان درصد محتوای آب نسبی در ژنوتیپ‌های متحمل به تنش می‌تواند به‌دلیل وجود برخی عوامل

کم‌کننده تلفات آب از طریق بستن روزنه‌ها و یا جذب بیش‌تر آب از طریق گسترش ریشه باشد. کاهش در فتوسنتز به‌خاطر تنش شوری می‌تواند به‌خاطر هدایت روزنه‌ای پایین‌تر، کاهش در جذب کربن و متابولیسم، کاهش توانایی فتوشیمیایی یا ترکیبی از همه این فاکتورها باشد (کرنیک و مساک، ۱۹۹۶).

جدول ۶- مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم و شوری بر پارامترهای فتوسنتزی اندازه‌گیری شده در گلرنگ.

تعداد روزنه	کارایی مصرف آب لحظه‌ای (میکرومول CO ₂ بر میلی‌مول H ₂ O)	هدایت مزوفیلی (مول CO ₂ بر مترمربع بر ثانیه)	CO ₂ زیر روزنه‌ای (میکرولیتر بر لیتر بر ثانیه)	سرعت فتوسنتز (میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه)	هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول CO ₂ بر مترمربع بر ثانیه)	تعرق (مول بر مترمربع بر ثانیه)	رقم	شوری (میلی‌مولار)															
									۲۱/۳۳ ^{ab}	۱۸/۳۳ ^d	۲۰/۳۳ ^{bc}	۲۲/۰۰ ^a	۲۰/۰۰ ^{cd}	۱۹/۳۳ ^{cd}	۳۲/۰۰ ^b	۳۵/۰۰ ^a	۳۴/۳۳ ^a	۳۱/۶۶ ^b	۳۴/۰۰ ^a	۳۱/۰۰ ^b	۴۷/۰۰ ^d	۵۱/۳۳ ^a	۴۹/۳۳ ^{bc}
	۲۶/۱۳ ^a	۰/۰۲۶ ^a	۸۵۶/۷۶ ^a	۱۷/۶۲ ^a	۰/۰۸ ^c	۱/۹۰ ^a		پدیده															
	۱۵/۳۶ ^d	۰/۰۲ ^a	۸۵۱/۰۳ ^a	۱۴/۱۵ ^b	۰/۲۰ ^a	۱/۱۱ ^c		محلی اصفهان															
	۱۳/۴۵ ^e	۰/۰۱ ^b	۸۷۳/۶۰ ^a	۷/۴۳ ^c	۰/۱۳ ^b	۱/۱۷ ^b		اصفهان ۱۴															
	۱۸/۶۱ ^b	۰/۰۲ ^a	۴۸۵/۸۶ ^c	۶/۷۲ ^f	۰/۰۲ ^d	۰/۹۳ ^e		صفیر گلدشت															
	۱۶/۹۹ ^c	۰/۰۲ ^a	۵۲۳/۱۰ ^b	۹/۵۶ ^c	۰/۲۱ ^a	۰/۸۶ ^f		سینا خاردار															
	۱۴/۲۰ ^{de}	۰/۰۲ ^a	۴۷۶/۳۰ ^c	۸/۲۴ ^d	۰/۱۲ ^b	۱/۰۶ ^d		سینا ۴۱۱															
	۲۷/۷۴ ^a	۰/۰۲ ^b	۵۲۵/۹۳ ^{abc}	۶/۵۲ ^c	۰/۰۵ ^c	۰/۸۱ ^d		پدیده															
	۱۲/۴۴ ^b	۰/۰۳ ^a	۵۴۴/۸۶ ^{ab}	۷/۶۷ ^b	۰/۰۶ ^{bc}	۰/۵۹ ^e		محلی اصفهان															
	۴/۶۹ ^c	۰/۰۲ ^b	۴۹۰/۸۰ ^d	۵/۵۷ ^d	۰/۰۵ ^c	۱/۲۳ ^a		اصفهان ۱۴															
	۵/۳۱ ^{de}	۰/۰۲ ^b	۵۱۰/۳۰ ^{cd}	۷/۷۳ ^b	۰/۰۷ ^b	۱/۲۰ ^a		صفیر گلدشت															
	۷/۰۳ ^c	۰/۰۲ ^b	۵۵۳/۲۳ ^a	۸/۶۱ ^a	۰/۱۵ ^a	۱/۱۵ ^b		سینا خاردار															
	۶/۶۸ ^{cd}	۰/۰۲ ^b	۵۱۷/۸۶ ^{bcd}	۷/۶۷ ^b	۰/۰۵ ^c	۰/۹۶ ^e		سینا ۴۱۱															
	۷/۲۲ ^a	۰/۰۲ ^a	۴۱۸/۸۶ ^c	۸/۱۹ ^a	۰/۰۶ ^c	۱/۱۵ ^f		پدیده															
	۳/۵۵ ^b	۰/۰۲ ^a	۳۸۳/۳۰ ^d	۵/۲۹ ^d	۰/۱۵ ^a	۲/۲۷ ^a		محلی اصفهان															
	۱/۴۹ ^c	۰/۰۲ ^a	۴۳۸/۸۳ ^{bc}	۷/۶۶ ^b	۰/۰۵ ^c	۲/۱۶ ^b		اصفهان ۱۴															
	۲/۹۲ ^{bc}	۰/۰۲ ^a	۵۲۵/۵۶ ^a	۶/۳۱ ^c	۰/۱۲ ^b	۲/۰۴ ^c		صفیر گلدشت															
	۳/۲۷ ^b	۰/۰۲ ^a	۴۱۴/۰۰ ^c	۶/۲۰ ^c	۰/۰۲ ^d	۱/۴۲ ^e		سینا خاردار															
	۲/۸۴ ^{bc}	۰/۰۲ ^a	۴۴۹/۰۰ ^b	۵/۰۴ ^e	۰/۰۴ ^c	۱/۸۱ ^d		سینا ۴۱۱															
	۲/۸۷ ^d	۰/۰۲ ^a	۴۹۵/۱۶ ^{bc}	۴/۶۷ ^b	۰/۰۵ ^a	۱/۶۱ ^a		پدیده															
	۴/۵۲ ^{bc}	۰/۰۱ ^b	۵۳۶/۴۳ ^a	۴/۷۲ ^b	۰/۰۴ ^b	۱/۲۶ ^b		محلی اصفهان															
	۵/۶۶ ^{ab}	۰/۰۱ ^b	۵۲۲/۱۳ ^{ab}	۵/۴۱ ^a	۰/۰۳ ^b	۰/۴۱ ^d		اصفهان ۱۴															
	۵/۷۴ ^{ab}	۰/۰۱ ^b	۵۱۴/۳۰ ^{abc}	۳/۹۲ ^d	۰/۰۴ ^b	۰/۵۲ ^c		صفیر گلدشت															
	۶/۶۱ ^a	۰/۰۱ ^b	۴۸۶/۰۰ ^c	۳/۷۰ ^e	۰/۰۶ ^a	۰/۳۲ ^e		سینا خاردار															
	۳/۸۶ ^{cd}	۰/۰۱ ^b	۴۳۹/۱۰ ^d	۴/۳۸ ^c	۰/۰۴ ^b	۰/۴۲ ^d		سینا ۴۱۱															

در هر ستون و هر سطح شوری حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده نبود تفاوت آماری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون Lsmeans می‌باشد.

جدول مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری و رقم برای سرعت فتوسنتزی بیانگر این بود که در سطح شوری صفر رقم پدیده بیش‌ترین سرعت فتوسنتز ($17/62$ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه) را دارا بود و کم‌ترین سرعت فتوسنتز در رقم گلدشت ($6/72$ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه) مشاهده گردید. در سطح تنش شوری 75 میلی‌مولار رقم سینا خاردار دارای بیش‌ترین سرعت فتوسنتز ($8/61$ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه) و کم‌ترین آن متعلق به رقم اصفهان 14 ($5/57$ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه) بود. در سطح تنش شوری 150 میلی‌مولار بیش‌ترین سرعت فتوسنتز در رقم پدیده ($8/19$ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه) و کم‌ترین آن در رقم سینا 411 مشاهده شد. تفاوت معنی‌داری بین ارقام گلدشت و سینا خاردار مشاهده نشد. در بیش‌ترین سطح تنش شوری، بیش‌ترین سرعت فتوسنتز مربوط به رقم اصفهان 14 و کم‌ترین آن متعلق به رقم سینا خاردار بود. بین ارقام پدیده و محلی اصفهان تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۶). در گیاه فوتون شوری سبب کاهش 39 درصدی در شدت تثبیت خالص CO_2 گردید که همراه با کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش تعرق بود (حاجی‌بلند و ابراهیمی، ۲۰۱۲).

مقایسه میانگین میزان CO_2 زیرروزنه (C_i) نشان داد که در سطح شوری صفر بیش‌ترین میزان CO_2 مربوط به ارقام پدیده، محلی اصفهان و اصفهان 14 بود و بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در سطح تنش شوری 75 میلی‌مولار بیش‌ترین میزان CO_2 زیرروزنه‌ای مربوط به رقم سینا خاردار ($553/23$ میکرولیتر بر لیتر) و کم‌ترین آن متعلق به رقم اصفهان 14 ($490/8$) بود. بین ارقام اصفهان 14 و سینا خاردار اختلاف معنی‌داری مشاهده شد در حالی که بین بقیه ارقام تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در سطح تنش شوری 150 میلی‌مولار کم‌ترین میزان CO_2 زیرروزنه‌ای در رقم محلی اصفهان ($383/3$ میکرولیتر بر لیتر) و بیش‌ترین آن در رقم گلدشت ($525/56$ میکرولیتر بر لیتر) مشاهده شد. در بیش‌ترین سطح تنش شوری (225 میلی‌مولار) کم‌ترین میزان CO_2 زیرروزنه‌ای در رقم سینا 411 ($439/1$ میکرولیتر بر لیتر) و بیش‌ترین آن در رقم محلی اصفهان ($536/43$) مشاهده شد (جدول ۶). اولین واکنش گیاه به تنش محدود کردن هدایت روزنه‌ای و کاهش انتشار CO_2 به درون کلروپلاست می‌باشد.

در سطح بدون تنش رقم اصفهان 14 کم‌ترین ($0/011$ مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) و ارقام محلی اصفهان، گلدشت، سینا خاردار و سینا 411 بیش‌ترین هدایت مزوفیلی را دارا بودند و بین این ارقام تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت و در یک گروه آماری قرار می‌گرفتند (جدول ۶). در سطح

تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار بیش‌ترین هدایت مزوفیلی در رقم محلی اصفهان مشاهده شد و ارقام سینا خاردار، پدیده، اصفهان ۱۴، گلدشت و سینا ۴۱۱ کم‌ترین (۰/۰۲ مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) هدایت مزوفیلی را دارا بودند و بین این ارقام تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در بیش‌ترین سطح تنش شوری رقم پدیده بیش‌ترین هدایت مزوفیلی (۰/۰۲ مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) را به خود اختصاص داد و کم‌ترین هدایت مزوفیلی در تمامی ارقام به‌جز رقم پدیده مشاهده شد. با افزایش سطح تنش شوری هدایت مزوفیلی در برخی ارقام کاهش یافت. این حقیقت را می‌توان بیانگر تنوع قابل ملاحظه بین ارقام مختلف گلرنگ در واکنش به سطوح مختلف تنش شوری دانست. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین هدایت مزوفیلی و غلظت کلروفیل ممکن است بر این موضوع دلالت داشته باشد که کاهش غلظت کلروفیل عامل مهمی در کاهش هدایت مزوفیلی است. همبستگی مثبت بین غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای و غلظت کلروفیل b تحت تنش نشان می‌دهد که در ارقام دارای مقادیر بالاتر کلروفیل b فرآوری CO_2 بیش‌تر است (جدول ۱۰). کاردوویلا و همکاران (۱۹۹۵) بیان کردند که تحت‌تأثیر شوری عوامل غیرروزنه‌ای مثل کارایی RUBP کربوکسیلاز، تولید مجدد روبیسکو، مقاومت مزوفیلی و مقدار کلروفیل کاهش می‌یابند.

کارایی مصرف آب لحظه‌ای در ارقام و سطوح مختلف شوری دارای تفاوت معنی‌داری بود (جدول ۶). در سطح شوری صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار بیش‌ترین کارایی مربوط به رقم پدیده و در بیش‌ترین سطح شوری رقم پدیده دارای کم‌ترین کارایی (۲/۸۷) بود. کم‌ترین کارایی در شوری صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار مربوط به رقم اصفهان ۱۴ بود و در سطح شوری ۲۲۵ میلی‌مولار رقم سینا خاردار دارای بیش‌ترین (۶/۶۱) کارایی مصرف آب بود. کاهش کارایی مصرف آب با افزایش میزان تنش می‌تواند ناشی از کاهش میزان CO_2 زیرروزنه‌ای باشد که بیش‌تر متأثر از عوامل غیرروزنه‌ای است تا عوامل روزنه‌ای (فلکساس و همکاران، ۲۰۰۸). رقم پدیده تا سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار را به‌خوبی تحمل کرده ولی با افزایش بیش‌تر شوری افت شدیدی در کارایی مصرف آب آن مشاهده شد. از نظر این صفت متحمل‌ترین رقم سینا خاردار بود که توانست در بیش‌ترین سطح شوری بالاترین کارایی مصرف آب را داشته باشد. کارایی مصرف آب همبستگی مثبت و خوبی با سرعت فتوسنتز ($I^2=0/61$) و همبستگی منفی و البته ضعیفی با تعرق داشت (جدول ۷).

تعداد روزنه: به‌طورکلی با افزایش شوری تعداد کل روزنه‌ها افزایش یافت (جدول ۶). برهم‌کنش تنش شوری و رقم بر تعداد روزنه‌ها در برگ گلرنگ معنی‌دار گردید (جدول ۴). جدول برش‌دهی

(جدول ۵) بیانگر معنی داری اثر رقم بر تعداد روزنه در تمامی سطوح شوری می باشد. همان طور که در جدول ۶ آمده است، در سطح بدون تنش رقم گلدشت بیشترین میانگین تعداد روزنه (۲۲) و رقم محلی اصفهان با میانگین ۱۸/۳۳ عدد روزنه کمترین رتبه را به خود اختصاص دادند. در سطح تنش شوری ۷۵ میلی مولار رقم محلی اصفهان بیشترین (۳۵) و رقم سینا ۴۱۱ کمترین (۳۱) میانگین تعداد روزنه را دارا بودند. ارقام محلی اصفهان، اصفهان ۱۴ و سینا خاردار در یک گروه آماری قرار گرفتند و اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشتند. رقم پدیده در سطح تنش شوری ۱۵۰ و ۲۲۵ میلی مولار دارای کمترین تعداد میانگین روزنه به ترتیب (۴۷) و (۵۹) بود و رقم محلی اصفهان دارای بیشترین تعداد روزنه (۵۱/۳۳) بود. بیشترین تعداد روزنه در رقم سینا ۴۱۱ با میانگین (۶۵/۳۳) عدد روزنه در سطح تنش شوری ۲۲۵ میلی مولار مشاهده شد و رقم پدیده کمترین میانگین تعداد روزنه (۵۹) را در این سطح تنش داشت. در این سطح تیماری ارقام سینا خاردار و گلدشت تفاوت آماری معنی داری با یکدیگر نداشتند. اختلاف کمترین و بیشترین میانگین تعداد روزنه در سطح شاهد و بیشترین سطح تنش شوری میانگین ۴۷ عدد روزنه می باشد. همانند نتایج این آزمایش، افزایش میانگین تعداد روزنه در اثر شوری در برگ گندم نیز گزارش شده است (به نقل از دهداری، ۱۳۸۳). احتمال می رود که از دلایل افزایش روزنه ها کاهش سطح برگ و تجمع بیش تر یا تراکم روزنه ها در یک سطح کم تر و ثابت باشد. بین میانگین تعداد روزنه با F_0 و سرعت فتوسنتزی همبستگی مثبت و معنی دار و با صفات کلروفیل a ، مجموع کلروفیل a و b ، کارایی مصرف آب لحظه ای و F_0 همبستگی منفی و معنی داری وجود داشت (جدول ۷).

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که در سطح بدون تنش رقم پدیده برتری نسبی از نظر کلروفیل a ، کلروفیل b ، میزان تعرق، سرعت فتوسنتزی و کارایی مصرف آب داشت. در سطح تنش شوری ۷۵ میلی مولار رقم سینا خاردار از نظر کلروفیل b ، مجموع کلروفیل، کاروتنوئید، هدایت روزنه ای و سرعت فتوسنتز برتری نسبی نسبت به سایر ارقام نشان داد. در سطح تنش شوری ۱۵۰ میلی مولار رقم پدیده از نظر صفات کلروفیل a ، کلروفیل b ، سرعت فتوسنتز و کارایی مصرف آب نسبت به سایر ارقام برتری داشت و در سطح تنش شوری ۲۲۵ میلی مولار رقم اصفهان ۱۴ از نظر کلروفیل a ، کلروفیل b ، کاروتنوئید، سرعت فتوسنتز و کارایی مصرف آب نسبت به سایر ارقام برتری داشت.

جدول ۷- ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مورد ارزیابی در ارقام گلریگ مورد آزمایش.

صفات مورد ارزیابی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱- کربوفیل a	۱													
۲- کربوفیل b	۰/۲۸*	۱												
۳- کربوفیل a+b	۰/۴۰**	۰/۷۸**	۱											
۴- کاروتنوئید	-۰/۳۳**	-۰/۵۲**	-۰/۲۹*	۱										
F ₀ -۵	۰/۵۰**	-۰/۳۶*	-۰/۳۷**	-۰/۱۱ ^{ns}	۱									
F _m -۶	-۰/۸۳**	۰/۳۷**	-۰/۵۶**	۰/۲۵*	-۰/۶۰**	۱								
F _v /F _m -۷	۰/۲۰ ^{ns}	۰/۲۰ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	-۰/۴۱**	-۰/۰۸ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۱							
۸- تعرق	-۰/۰۲ ^{ns}	-۰/۱۷ ^{ns}	-۰/۰۸ ^{ns}	۰/۴۹**	-۰/۰۸ ^{ns}	-۰/۱۰ ^{ns}	-۰/۵۸*	۱						
۹- هدایت روزنه‌ای	۰/۵۴**	۰/۱۷ ^{ns}	۰/۴۰**	-۰/۱۹ ^{ns}	-۰/۴۴**	-۰/۵۱**	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}	۱					
۱۰- سرعت فتوسنتز	۰/۷۴**	۰/۲۱ ^{ns}	-۰/۲۸*	-۰/۱۱ ^{ns}	-۰/۶۰**	-۰/۶۹**	۰/۵۱ ^{ns}	۰/۴۶**	۰/۴۶**	۱				
۱۱- میزان CO ₂ زیرروزنه‌ای	۰/۶۱**	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}	-۰/۳۳**	-۰/۵۴**	۰/۳۴**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۴۰**	۰/۶۹**	۱			
۱۲- هدایت مزوفیلی	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۳۳*	۰/۱۳ ^{ns}	-۰/۱۶ ^{ns}	-۰/۱۶ ^{ns}	-۰/۳۹**	-۰/۴۵**	۰/۳۰**	۰/۱۰ ^{ns}	۰/۲۵*	-۰/۱۹ ^{ns}	۱		
۱۳- کارایی مصرف آب لحظه‌ای	۰/۸۳**	۰/۳۰**	۰/۳۱**	-۰/۳۴**	۰/۵۰**	-۰/۷۰**	۰/۶۵*	-۰/۱۹ ^{ns}	۰/۶۴*	۰/۶۱**	-۰/۱۹ ^{ns}	۰/۵۳**	۱	
۱۴- تعداد روزنه	-۰/۷۶**	-۰/۴۴**	-۰/۶۰**	۰/۶۶*	۰/۶۱**	-۰/۶۹**	۰/۰۲ ^{ns}	-۰/۰۶ ^{ns}	-۰/۵۱**	۰/۷۰**	-۰/۵۳**	-۰/۲۹**	-۰/۶۹**	۱

* معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیرمعنی دار.

منابع

1. Arnon, D.I. 1949. Copper enzyme in isolated chloroplast and polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.
2. Ashraf, M., and Harris, P.J.C. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Sci. 166: 3-16.
3. Bongi, G., and Loreto, F. 1989. Gas exchange properties of salt-stressed olive (*Olea uropea* L.) leaves. J. Plant Physiol. 90: 1408-1416.
4. Brugnoli, E., and Lauteri, M. 1991. Effect of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity and carbon isotope discrimination of salt-tolerant (*Gussypium hirsutum* L.) and salt sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C3-non-halophytes. J. Plant Physiol. 95: 628-635.
5. Cha-um, S., and Kirdmanee, C. 2009. Effect of salt stress on proline accumulation, photosynthetic ability and growth characters in two maize cultivars. Pak. J. Bot. 41: 87-98.
6. Cordovilla, M.P., Ocana, A., Ligerio, F., and Liuch, C. 1995. Salinity effects on growth analysis and nutrient composition in four grain legumes-rhizobium symbiosis. J. Plant Nutr. 18: 1596-1609.
7. Cornic, C., and Massacci, A. 1996. Leaf photosynthesis under drought stress. In Photosynthesis and Environment. Ed. Baker, N.R. Kluwer Academic Publish. Pp: 347-366.
8. Dehdari, A. 2001. Genetic analysis of salt tolerance in different crosses of bread wheat. Ph.D. Thesis of plant breeding. Isfahan University of Technology. (In Persian)
9. Demir, M., and Ozturk, A. 2003. Effects of different soil salinity levels on germination and seedling growth of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Turk. J. Agric. For. 27: 224-227.
10. Demmig-Adams, B.W.W., Adams, N.I., Winter, K., Meyer, A., Schreiber, U., Pereira, J.S., Kruger, A., Czygan, F.C., and Lange, O.L. 1989. Photochemical efficiency of photosystem II. Photon yield of O₂ evolution, photosynthetic capacity, and carotenoid composition during the midday depression of net CO₂ uptake in *Arbutus unedo* growing in Portugal. J. Plant Physiol. 177: 377-387.
11. Fischer, R.A., Rees, D.K., Sayre, D., Lu, Z.M., Condon, A.G., and Larque Saavedra, A. 1998. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. Crop Sci. 38: 1467-1475.
12. Flexas, J., Ribas-Carbo, M., Diaz-Espejo, A., Galmes, J., and Medrano, H. 2008. Mesophyll conductance to CO₂: current knowledge and future prospects. Plant. Cell. Environ. 31: 602-621.
13. Francheboud, Y., and Leipner, J. 2003. The application of chlorophyll fluorescence to study light, temperature and drought stress. In: De-Ell, J.R., P.M.A. Tiovonen (eds.). Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology. Boston: Kluwer Academic Publishers, Pp: 125-150.

14. Francis, G., Jhon, L., Jifon, S., Micaela, C., and James, P.S. 2002. Gas exchange, Chlorophyll and nutrient contents in relation to NA and CL accumulation in "sunburst" mandarin grafted on different root stocks. *Plant Sci.* 35: 314-320.
15. Haji Boland, R., and Ebrahimi, N. 2012. Effect of exin poly amins on growth, photosynthesis and metabolism of phenol in tobacco plants under salinity stress, 3: 13-26.
16. Hoagland, D.R., and Arnon, D.I. 1950. The water- culture for growing plants without soil. *California Agric. Exp. Statist. Circ.* 347: 32.
17. Jimenez, M.S., Gonzalez-Rodriguez, A.M., Morales, D., Cid, M.C., Socorro, A.R., and Cabollero, M. 1997. Evaluation of Chlorophyll fluorescence as a tool for salt stress detection in roses. *Photosynthetica*, 33: 291-301.
18. Kaya, C., Higgs, D., and Kirnak, H. 2001. The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. *J. Plant Physiol.* 27: 47-59.
19. Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D., and Satali, K. 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *J. Hort. Sci.* 93: 65-74.
20. Kummer, W., Lips, K.S., and Pfeil, U. 2003. The epithelial cholinergic system of the airways. *Histochem and Cell Bio.* 130: 219-234.
21. Lichtenthaler, H.K. 1968. Photooxidation in isolated chloroplast: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Arch. Biochem. Biophysiol.* 125: 189-198.
22. Lutts, S., Kinet, J.M., and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Ann. Bot.* 78: 389-398.
23. Maxwell, K., and Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence- a practical guide. *J. Exp and Bot.* 51: 659-668.
24. Mirmohammady Maibody, S.A., and Ghareyazie, B. 2002. Physiological aspect and breeding for salinity stress in plant. Esfahan University. Technol. 274p. (In Persian)
25. Mishra, S.K., Subrahmanyam, D., and Singhal, J.S. 1991. Interrelationship between salt and light stress on primary processes of photosynthesis. *J. Plant Physiol.* 138: 92-96.
26. Misra, A.N., Srivastava, A., and Strasser, R.J. 2001. Utilization of fast Chlorophyll fluorescence technique in assessing the salt ion sensitivity of mung bean and Brassica seedlings. *J. Plant Physiol.* 158: 1173-1181.
27. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25: 239-25.
28. Netondo, G.W., Onyango, J.C., and Beck, E. 2004. Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. *Crop Sci.* 44: 806-811.

29. Oxborough, K. 2004. Imaging of chlorophyll a fluorescence: theoretical and practical aspects of an emerging technique for the monitoring of photosynthetic performance. *J. Exp. Bot.* 55: 1195-1205.
30. Paknejad, F., Nasri, M., Tohidi Moghadam, H.R., Zahedi, H., and Jami Alahmad, M. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *J. Biol. Sci.* 7: 841-847.
31. Parida, A.K., and Das, A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effect on plant: A. *Rev. Eco. Environ. Safety.* 60: 324-342.
32. Rashid, A., Qureshi, R.H., Hollington, P.A., and Wyn Jones, R.G. 1999. Comparative response of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to salinity at the seedling stage. *Agron and Crop Sci.* 182: 199-207.
33. Sanitata, L., and Gabbriella, R. 1999. Response to Cd in higher plants-Review. *Envi Exp Bot.* 45: 105-130.
34. Sharma, P.K., and Hall, D.O. 1991. Interaction of salt stress and photoinhibition on photosynthesis in barley and sorghum. *J. Plant Physiol.* 138: 614-619.
35. Singh, B., and Singh, B.K. 2001. Ribulose-1, 5-biphosphate carboxylase content and activity in wheat, rye and triticale. *Biol. Plantarum.* 44: 427-430.
36. Tattini, M., Marzi, L., Tafani, R., and Traversi, M.L. 1999. A review on salinity-induced changes in leaf gas exchange parameters of olive plants. *Acta Hort. (ISHS)*, 474: 415-418.
37. Turan, M.A., Awad Alkarim, A.H., Taban, N., and Taban, S. 2009. Effect of salt stress on growth, stomatal resistance, proline and chlorophyll concentrations on maize plant. *J. Aferi. Agric. Res.* 4: 893-897.
38. Zhao, G.Q., Ma, B.L., and Ren, C.Z. 2007. Growth, Gas Exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. *J. Crop Sci.* 41: 123-131.



Evaluation of photosynthesis parameters, chlorophyll content and fluorescence of safflower cultivars under saline condition

Z. Javadipour¹, * M. Movahhedi Dehnavi² and H.R. Balouchi²

¹M.Sc. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University,

²Assistant Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University

Received: 06/24/2012; Accepted: 12/04/2012

Abstract

To compare the photosynthetic parameters and leaf chlorophyll content and fluorescence of safflower (*Carthamus tinctorios* L.) cultivars under salinity stress, a pot experiment was carried out as factorial arrangement based on completely randomized design with three replications in University of Yasouj in summer 2011. The first factor included four salinity levels (including zero, 75, 150 and 225 mM) and the second factor included six cultivars of safflower (Local Isfahan, Spinned Sina, Isfahan 14, Goldasht, Padideh and Sina 411). Photosynthetic parameters including photosynthesis rate, transpiration, stomatal conductance, mesophyll conductance, chlorophyll content and chlorophyll fluorescence components were measured. Results showed that the interaction of cultivar and salinity for all traits, except for F_v/F_m , were significant. Decreasing trend of chlorophyll and photosynthetic parameters with increasing salinity was different among cultivars. Fluorescence chlorophyll factors, F_m (max fluorescence under dark acclimated condition) and F_o (min fluorescence under dark acclimated condition) were increased with increasing salinity levels in all cultivars. At non-saline condition Padideh cultivar had relative superiority in terms of chlorophyll a, chlorophyll b, transpiration rate, photosynthetic rate and water-use efficiency. At 75 mM salinity, Spinned Sina had relative superiority in terms of chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, and photosynthesis rate compared to other cultivars. At 150 mM salinity, Padideh cultivar had relative superiority in terms of chlorophyll a, chlorophyll b, the rate of photosynthesis and water use efficiency than other varieties and at 225 mM salinity level, Isfahan 14 cultivar in terms of chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, assimilation rate and water use efficiency had superiority to other cultivars.

Keywords: Carotenoids, Photosynthesis rate, Stomatal conductance, Transpiration.

* Corresponding author; Email: movahhedi54@yahoo.com