

## بررسی تغییرات پارامترهای فلونورسانس کلروفیل a در دو رقم گندم دوروم در پاسخ به

### شوری

عزت‌اله اسفندیاری\* و واقف عنایتی

مراغه، دانشگاه مراغه، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات

تاریخ دریافت: ۸۹/۳/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۰/۷/۲۰

#### چکیده

شاخص‌های فیزیولوژیک کنونی مورد استفاده برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به تنش‌های محیطی عمدتاً پرهزینه و وقت‌گیر می‌باشند. بنابراین دستیابی به معیارهای فیزیولوژیکی که ضمن رفع معایب یاد شده، دقیق و کم هزینه باشند ضروریست. با توجه به موارد یاد شده، دو رقم مقاوم (مصر ۴۴۹) و حساس (ترکیه ۵۰۶) گندم دوروم انتخاب و به روش هواکشت، کشت و پرورش یافتند. در مرحله ۵-۴ برگگی گیاهچه‌های گندم به مدت ۱۰ روز در تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار حاصل از اضافه نمودن کلرید سدیم به محلول غذایی قرار گرفتند. سپس در هر دو شرایط عادی و تحت شوری، فلونورسانس کلروفیل a در گیاهچه‌های گندم ارزیابی شد. در رقم حساس ترکیه ۵۰۶، سطح زیر منحنی OJIP-تست، فاکتور ارزیابی حجم خزانه کینون‌ها، و کارایی اولیه فتوسیستم II در اثر تنش شوری نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری را نشان داد. بعلاوه اینکه بررسی پارامترهای مرتبط با جریان انرژی به مرکز واکنشی نشان داد که در رقم ترکیه ۵۰۶ به دلیل کاهش نسبت مراکز واکنشی فعال به مقطع عرضی برگ در اثر شوری، پارامتر جذب انرژی به مرکز واکنشی، میزان بدام انداختن انرژی به مرکز واکنشی و جریان الکترون به مرکز واکنشی در این شرایط نسبت به شاهد افزایش داشت. اما عدم افزایش جریان الکترون به مرکز واکنشی در این رقم سبب شد تا میزان اتلاف انرژی در مرکز واکنشی در شرایط شوری افزایش یابد. از طرفی شاخص‌های میزان به‌دام انداختن انرژی به میزان جذب آن، میزان انتقال الکترون به میزان انرژی به‌دام افتاده و میزان انتقال الکترون به میزان انرژی جذبی در رقم ترکیه ۵۰۶ در شرایط شوری کاهش معنی‌داری داشت. اگرچه شاخص عملکرد در اثر شوری در هر دو رقم مورد مطالعه کاهش یافت ولی پارامترهای مورد ارزیابی نشان داد که رقم ترکیه ۵۰۶ به شوری حساس‌تر بوده و از کارایی کمی برخوردار است. بعلاوه نتایج حاصل نشان می‌دهد که تکنیک فلونورسانس کلروفیل a شاخص فیزیولوژیک معتبری برای گزینش ارقام گندم در پاسخ به شوری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: فلونورسانس سریع کلروفیل a، حجم خزانه کینون‌ها، منحنی OJIP، گندم، تنش شوری.

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۴۲۱-۲۲۷۳۰۶۸، پست الکترونیکی: esfand1977@yahoo.com

#### مقدمه

پی آن تقاضا برای غذا نیز بیشتر خواهد شد. اما متأسفانه تنش‌های محیطی نظیر شوری مهمترین عامل کاهش‌دهنده رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی، از جمله گندم بشمار می‌آید. البته برآیند این عوامل امنیت غذایی جوامع انسانی را به‌خطر خواهد انداخت.

گندم از جمله مهمترین محصولات کشاورزی است که نقش بسیار مهمی در امنیت غذایی و استقلال سیاسی کشور ایفا می‌کند. بطوریکه در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران بیش از ۵۰٪ انرژی روزانه مورد نیاز مردم از مصرف مستقیم این محصول کسب می‌گردد (۵). بعلاوه اینکه جمعیت کشور و جهان مدام در حال افزایش است که در

امروزه یکی از اهداف مهم محققان بخش کشاورزی در راستای غلبه بر محدودیت‌های محیطی و حفظ امنیت غذایی موجود، شناسایی و دستیابی به رقم (یا ارقامی) از گندم است که در شرایط دشوار از عملکرد مطلوب و پایدار برخوردار باشد. از آنجایی که اندازه‌گیری پارامترهای فیزیولوژیک وقت‌گیر و پرهزینه است، استفاده از شاخص‌های گزینشی جایگزین با هدف کاهش هزینه‌ها و تسریع در امر گزینش اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

فلوئورسانس کلروفیل *a* در سال ۱۹۳۱ میلادی برای اولین بار توسط کاتسکی ارائه شده است. وی اظهار داشت که انرژی فوتون‌های جذب شده توسط کلروفیل سبب برانگیختگی الکترون آن می‌گردد. این انرژی می‌تواند صرف اجرای فرایندهای فتوشیمیایی مانند چرخه کالوین شده و انرژی نورانی را به انرژی شیمیایی تبدیل نماید (۲۵). اما هرگاه میزان این تحریکات و دریافت انرژی فوتون‌های نوری بیش از مصرف آن در مسیرهای فتوشیمیایی باشد انرژی مازاد به شکل فلوئورسانس و گرما رها می‌گردد (۲۵). فلوئورسانس کلروفیل *a* حتی در شرایط مطلوب محیطی نیز اتفاق می‌افتد اما میزان آن در حدود ۳-۵٪ می‌باشد (۱). در شرایط تنش‌های محیطی میزان این شاخص افزایش می‌یابد که بیانگر آسیب به ساختار تیلاکوئیدهای کلروپلاستی است (۲۹). امروزه ثابت شده که آنالیز فلوئورسانس کلروفیل *a* روشی مناسب برای تشخیص و کمی‌سازی تغییرات القا شده در دستگاه‌های فتوسنتزی است (۲۰). در منحنی القای فلوئورسانس، در حداقل زمان فلوئورسانس ( $F_0$ ) تمامی مراکز واکنشی در برگ‌های قرار گرفته در تاریکی باز بوده و در حداکثر فلوئورسانس ( $F_m$ ) کلیه مراکز واکنشی بسته می‌باشند (۲۰ و ۲۷). در تمامی موجوداتی که در طی اجرای فرایند فتوسنتز اکسیژن آزاد می‌نمایند بررسی فلوئورسانس کلروفیل *a* نشان داده است که بروز این پدیده از یک روند صعودی تبعیت می‌کند که این مراحل به ترتیب O، I، J و P نامیده می‌شود (۲۰). مراحل یاد شده به ترتیب بیانگر میزان

فلوئورسانس کلروفیل *a* در زمان‌های ۰، ۲، ۳۰ و ۵۰۰ میلی‌ثانیه پس از قرار گرفتن در معرض نور است. روشی که برای کمی کردن میزان فلوئورسانس کلروفیل *a* در زمان‌ها و مراحل مورد اشاره استفاده می‌گردد به تست JIP معروف شده است (۱۲). این تست امکان بیان برخی از ویژگی‌های بیوفیزیک فتوسیستم II را فراهم می‌کند (۲۷). بعلاوه اینکه تست JIP پارامتر بسیار خوبی برای مطالعه الگوی رفتاری فتوسیستم II از نظر میزان جذب انرژی فوتون‌های جذبی، بدام انداختن آن و انتقال الکترون می‌باشد (۲۹). علاوه بر موارد فوق، مزیت‌هایی همانند اندازه‌گیری بسیار آسان و کم هزینه همراه عدم نیاز به وسایل آزمایشگاهی گرانبه‌قیمت و مواد شیمیایی و نیز عدم تخریب بافت گیاهی سبب شده تا فیزیولوژیست‌های گیاهی فلوئورسانس کلروفیل *a* را بعنوان یک معیار فیزیولوژیک معتبر بکار ببرند. همچنین، با استفاده از این تکنیک می‌توان تعداد زیادی ژنوتیپ را در مدت زمان کم ارزیابی نمود (۲۴). از مزایای دیگر این روش، فراهم‌سازی امکان ارزیابی درست و دقیق کارایی فرایندهای فتوشیمیایی و غیرفتوشیمیایی، از نظر تبدیل انرژی نوری، در شرایط محیطی متفاوت برای پژوهشگر است (۶ و ۲۳).

فتوسیستم II در حضور نور عمل انتقال الکترون از آب به خزانه پلاستوکینون را کاتالیز می‌کند. در این فتوسیستم بیش از ۲۵ واحد پروتئینی متفاوت بکار رفته است که در دو بخش موج‌گیر پیرامونی و مرکز واکنشی سازمان‌دهی شده‌اند (۱۴ و ۳۰). موج‌گیر پیرامونی در گیاهان مجموعه‌ای از پروتئین‌های جمع‌کننده نور II است که نقش جذب انرژی بیشتر را برای فتوسیستم II ایفا می‌کند. مرکز واکنشی نیز محلی است که عمل انتقال الکترون در آن اتفاق می‌افتد (۷). در شرایط تنش شوری فتوسیستم II جزء اولین بخش‌های آسیب‌پذیر بشمار می‌آید. به همین دلیل مطالعه ساختاری عملکرد فتوسیستم II این امکان را فراهم می‌آورد تا اثرات اولیه تنش شوری بر روی آن مورد مطالعه قرار گیرد.

بدین منظور برگ‌های همسان از بوته‌های گندم انتخاب و با استفاده از کلیپس‌های مخصوص به مدت ۱۵ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند. این زمان پس از آزمایش زمان‌های مختلف تعیین شد. این دوره تاریکی جهت باز شدن کامل مراکز واکنشی موجود الزامی است. سپس به این برگ‌ها به مدت ۴ ثانیه یک پالس نوری در طول موج ۶۵۰ نانومتر با شدت ۳۰۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه تابیده شد. نشر فلئوئورسانس تا ۲ میلی‌ثانیه با فواصل زمانی ۱۰ میکروثانیه و بعد با فواصل زمانی یک میلی‌ثانیه ثبت شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار ویژه دستگاه ( Handy PEA Software V1.30, 2001) پارامترهای OJIP از مقادیر متغیر فلئوئورسانس در زمان‌های ۵۰ و ۳۰۰ میکروثانیه و ۲ و ۳۰ میلی‌ثانیه ثبت گردید که به ترتیب بیانگر میزان فلئوئورسانس در زمان‌های مذکور بوده و با علامت  $F_{30ms}$ ,  $F_{2ms}$ ,  $F_{300\mu s}$  و  $F_{50\mu s}$  نشان داده شد. در جریانات مشخص به ازای هر مرکز واکنشی ( $DI_0/RC$ ,  $ET_0/RC$ ,  $TR_0/RC$  و  $ABS/RC$ ) و جریانات آبی به مقطع عرضی ( $DI_0/RC$ ,  $ET_0/RC$ ,  $TR_0/CS$ ,  $ABS/CS$ ) از تئوری جریان انرژی در غشاهای زیستی استخراج و با استفاده از منحنی OJIP-test محاسبه گردید (۱۱).

همچنین پارامترهای زیر نیز توسط دستگاه مذکور بدست آمد:

(۱) تراکم مرکز واکنشی به مقطع عرضی (CS/CS)، (۲) حداکثر عملکرد کوانتومی اولیه PS II ( $\Phi_{0P} = ET_0/ABS$ )، (۳) حداکثر عملکرد خاموشی غیر فتوشیمیایی ( $DI_0/ABS$ )، (۴) احتمال اینکه یک الکترون به دام افتاده ( $\Phi_{D0} = \Phi_{E0} = ET_0/ABS$ ) یا فوتون جذب شده ( $\Psi_0 = ET_0/ABS$ ) می‌تواند یک الکترون را به ناقل‌های بعد از  $Q_A$  انتقال دهد (۱۱).

شاخص عملکرد (PI) نیز از دیگر شاخص‌های بیوفیزیک است که از ترکیب تعدادی شاخص‌های ساختاری - عملکردی حاصل می‌گردد. هنگامیکه این شاخص بر پایه

با توجه به اهمیت گندم در تغذیه جامعه بشری و عوارض ناشی از تنش شوری اهمیت مطالعه در این زمینه را نشان می‌دهد. به همین منظور دو رقم گندم دوروم حساس (ترکیه ۵۰۶) و مقاوم (مصر ۴۴۹) انتخاب و به روش هواکشت پرورش یافتند. در مرحله ۴-۵ برگی با تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم تیمار و پس از گذشت ۱۰ روز پارامترهای مربوط به فلئوئورسانس کلروفیل a در گیاهچه‌ها بررسی شدند.

### مواد و روشها

به منظور ارزیابی فلئوئورسانس سریع کلروفیل a ارقام مقاوم (مصر ۴۴۹) و حساس (ترکیه ۵۰۶) به شوری گندم دوروم از مؤسسه اصلاح بذر و نهال کرج تهیه و به روش هواکشت پرورش یافتند. ترکیب عناصر غذایی مورد استفاده در طول دوره رشد شامل عناصر پرمصرف (نیترات کلسیم، نیترات پتاسیم، سولفات منیزیم و مونوپتاسیم فسفات که به ترتیب در مقادیر ۲/۵، ۳، ۵/۵ و ۱۷/۰ میلی‌مولار) و کم مصرف (سولفات آهن، اسید بوریک، سولفات منگنز، سولفات روی، سولفات مس و اسید مولیبدیک که به ترتیب در مقادیر ۵۰، ۲۳، ۵، ۰/۴، ۰/۲ و ۰/۱ میکرومولار) بود (۸).

گیاهچه‌های گندم تا مرحله ۳-۲ برگی با محلول ۵۰٪ و بعد از آن با محلول غذایی کامل (pH محدوده ۵/۵ - ۵/۲) تغذیه شدند. در طول دوره رشد دمای محیط  $25 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد، طول دوره روشنائی ۱۶ ساعت و شدت نور ۲۵۰۰ لوکس بود. بعد از مرحله ۴-۵ برگی گیاهچه‌های گندم به دو گروه شاهد و تنش شوری تقسیم شد. تیمار شاهد در شرایط فوق و تیمار شوری با اعمال تنش ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، به مدت ۱۰ روز در شرایط یاد شده صورت گرفت. بعد از گذشت این مدت زمان فلئوئورسانس سریع کلروفیل a در برگ‌های سالم و کاملاً رشد یافته با استفاده از دستگاه Handy PEA (مدل Hansatech UK) اندازه‌گیری شد.

نشر فلوتورسانس کلروفیل a در زمان‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۳۰۰ میکروثانیه و همچنین ۲ میلی‌ثانیه در این رقم در شرایط تنش شوری نسبت به شاهد بطور معنی‌داری افزایش یافته‌است (جدول ۱). عامل اصلی کاهش حجم خزانه کینون‌ها را در رقم ترکیه ۵۰۶ می‌توان کاهش میزان فلوتورسانس در Fm دانست (شکل ۱). مهتا و همکاران (۲۰) ضمن گزارش کاهش میزان Fm معتقدند که افت این شاخص بیانگر تنزل حجم خزانه Q<sub>A</sub><sup>-</sup> است.

F<sub>I</sub> و F<sub>J</sub> به ترتیب نشان‌دهنده میزان فلوتورسانس کلروفیل a در ۲ و ۳۰ میلی‌ثانیه است. افزایش میزان فلوتورسانس کلروفیل a در این مراحل حکایت از کاهش فرم اکسید ناقل‌های موجود در بخش دهنده فتوسیستم II و یا تجمع ناقل‌های Q<sub>A</sub> و Q<sub>B</sub> در بخش گیرنده آن می‌باشد. بروز چنین حالتی احتمالاً در اثر عدم انتقال الکترون به ناقل‌های بعد از Q<sub>A</sub><sup>-</sup> اتفاق می‌افتد (۱۳) که در اثر آن انتقال الکترون در مسیرهای جایگزین نظیر احیای ناقص اکسیژن صورت می‌گیرد (۲۲). در این پژوهش افزایش F<sub>J</sub> تنها در رقم ترکیه ۵۰۶ مشاهده شد (جدول ۱).

شاخص Fv/Fm نشان‌دهنده کارایی اولیه فتوسیستم II است (۱۶). بسیاری از پژوهشگران از جمله اسفندیاری (۱)، استراتوس و همکاران (۲۹)، کوچوا و همکاران (۱۶) و مهتا و همکاران (۲۰) معتقدند که این شاخص به تغییرات محیطی چندان حساس نبوده و معیار معتبری برای گزینش ارقام در مقابله با تنش‌های محیطی بشمار نمی‌آید. اما در این پژوهش پارامتر Fv/Fm تنها در رقم حساس ترکیه ۵۰۶ در شرایط تنش شوری بطور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش داشت (جدول ۱) که دلیل آن را می‌توان ناشی از تغییرات کم Fv در شرایط تنش شوری نسبت به شاهد، به‌عنوان یکی از اجزای تعیین‌کننده شاخص یاد شده، دانست (جدول ۱). لازم بذکر است عزیزپور و همکاران (۴) و ممنوعی و سید شریفی (۲) نیز کاهش این شاخص را در گندم در اثر تنش‌های محیطی گزارش کرده‌اند.

میزان کلروفیل موج‌گیر فتوسیستم II بیان می‌شود می‌توان آنرا به شکل زیر نمایش داد (۱۱):

$$PI_{ABS} = (RC/ABS) * [p_{p0}/(1-p_{p0})] * [\psi_0/(1-\psi_0)]$$

**تجزیه آماری داده‌ها:** به‌منظور انجام تجزیه و تحلیل آماری، پارامترهای فوق از طریق نمونه‌گیری از حدود ۱۵ بوته مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. سپس داده‌ها با توجه به دو عامل رقم (مصر ۴۴۹ و ترکیه ۵۰۶) و تنش (شاهد و شوری) به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی بررسی شدند. مقایسه میانگین ترکیب‌های تیماری به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بر شکل منحنی OJIP-test تأثیرگذار نبوده‌است (شکل ۱). به‌طوری‌که شکل ۱ نیز نشان می‌دهد در هر دو شرایط شاهد و تنش شوری نقاط پیک حدواسط J و I وجود دارد. استراتوس و همکاران (۲۹) نیز عدم تأثیر سرما را بر روی شکل منحنی مذکور در سویا گزارش کرده‌اند. درحالی‌که بسیاری از محققان معتقدند که شکل منحنی OJIP-test، به بسیاری از تنش‌های محیطی حساس بوده و نقاط پیک حدواسط J و I در اثر تنش حذف می‌گردد (۱۱، ۱۷، ۱۸، ۳۱ و ۳۳). در این منحنی افزایش سریع در نقاط O-J و J-P به ترتیب افزایش مراحل فتوشیمیایی و گرمایی را نشان می‌دهند. افزایش در مراحل O-J و J-P به ترتیب ناشی از احیای Q<sub>A</sub> و تبدیل آن به Q<sub>A</sub><sup>-</sup> و احیای خزانه PQ می‌باشد. در این پژوهش سطح زیر منحنی OJIP-test نیز اندازه‌گیری شد (جدول ۱) که بیانگر حجم خزانه کینون‌های گیرنده الکترون (Q<sub>A</sub>، Q<sub>B</sub>، PQ) می‌باشد (۱۱ و ۱۵). طبق نتایج حاصل حجم خزانه کینون‌ها یا سطح زیر منحنی OJIP-test تنها در رقم ترکیه ۵۰۶ در شرایط تنش شوری کاهش داشت (شکل ۱) که بیانگر ممانعت از جریان الکترون در بخش دهنده فتوسیستم II است. این کاهش درحالی بود که میزان

درحالی‌که مهتا و همکاران (۲۰) در گندم و محمدی و همکاران (۳) در سویا، عدم تغییر معنی‌دار نسبت  $F_v/F_m$  را گزارش نموده‌اند. عدم کاهش این شاخص به معنای عدم تغییر در تعداد کوانتای جذبی در واحد زمان است (۲۰).

**پارامترهای فلئورسانس کلروفیل a (جریان ویژه و پدیده‌های آنی):** منحنی OJIP حاوی اطلاعات بسیار زیادی بوده و از آن برای بدست آوردن پارامترهای متعددی استفاده می‌شود. از جمله می‌توان به کمی کردن مرحله به مرحله جریان انرژی در فتوسیستم II از بعد مرکز واکنشی و مقطع عرضی اشاره نمود (۱۱). نسبت جذب به ازای هر مرکز واکنشی (ABS/RC) نشان‌دهنده حجم موج‌گیر عملکردی می‌باشد. عبارت دیگر می‌توان آن را به معنای میزان جذب نور به ازای هر مرکز واکنشی فعال دانست (۱۱). این شاخص از تقسیم تعداد فوتون جذب شده توسط مولکول‌های کلروفیل موجود در مراکز واکنشی به تعداد مراکز واکنشی فعال بدست می‌آید (۲۰) که تحت تأثیر نسبت مراکز واکنشی فعال به غیر فعال است. در پژوهش حاضر این نسبت تنها در رقم ترکیه ۵۰۶ در شرایط تنش شوری نسبت به شاهد بطور معنی‌داری افزایش یافت. میزان افزایش پارامتر ABS/RC در رقم حساس ترکیه ۵۰۶ و رقم مقاوم مصر ۴۴۹ به ترتیب  $1/86$  و  $1/05$  برابر شاهد بود (شکل ۲ الف). افزایش این نسبت در نتیجه کاهش اندازه موج‌گیر مراکز واکنشی فعال می‌باشد (۲۰). همچنین افزایش نسبت مذکور ناشی از کاهش نسبت مرکز واکنشی فعال به مقطع عرضی برگ (RC/CS) است (۱۱). کاهش RC/CS به معنای غیرفعال شدن بخشی از مراکز واکنشی فتوسیستم II موجود در مقطع عرضی برگ می‌باشد (جدول ۲). در این پژوهش با بروز تنش شوری نسبت RC/CS در هر دو رقم کاهش یافت (جدول ۲). کاهش این نسبت نشانگر غیرفعال شدن تعدادی از مراکز واکنشی موجود در مقطع عرضی برگ است. با کاهش این نسبت میزان انرژی به‌دام افتاده به ازای هر مرکز واکنشی

(TR<sub>o</sub>/RC) در هر دو رقم افزایش یافت (شکل ۲ ب). اما افزایش مشاهده شده تنها در رقم ترکیه ۵۰۶ ( $1/5$ ) برابر نسبت به شاهد) معنی‌دار بود. افزایش TR<sub>o</sub>/RC و کاهش RC/CS در شرایط تنش شوری در رقم ترکیه ۵۰۶ سبب می‌گردد تا میزان انرژی رسیده به مراکز واکنشی افزایش یابد. درحالی‌که شاخص جریان الکترون به ازای مرکز واکنشی (ET<sub>o</sub>/RC) در این رقم نیز ثابت ماند (شکل ۲ ج). برآیند این عوامل سبب می‌گردد تا میزان به‌در دادن انرژی در رقم ترکیه ۵۰۶ به  $2/46$  برابر شاهد افزایش یابد (شکل ۲ د). درحالی‌که به‌رغم کاهش معنی‌دار RC/CS در رقم مصر ۴۴۹ و افزایش غیرمعنی‌دار ABS/RC سبب شد تا اگرچه میزان ET<sub>o</sub>/RC ثابت است اما میزان اتلاف انرژی نسبت به شاهد تغییر معنی‌داری نشان ندهد (شکل ۲ د). نتایج مشابهی نیز توسط گونکالوز و سانتوز (۱۰) و گونکالوز و همکاران (۱۱) گزارش شده‌است.

بررسی پدیده‌های فوق‌الذکر در مقطع عرضی برگ نشان داد که در شرایط تنش میزان جذب به مقطع عرضی برگ (ABS/CS) در رقم ترکیه ۵۰۶ و مصر ۴۴۹ به ترتیب  $1/22$  و  $1/06$  برابر نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۳ الف). درحالی‌که بین سطوح تیماری از نظر میزان به‌دام انداختن انرژی به ازای هر مقطع عرضی برگ (TR<sub>o</sub>/CS) تفاوت قابل ملاحظه‌ای مشاهده نشد (شکل ۳ ب). اما در رقم ترکیه ۵۰۶ جریان الکترون به ازای هر مقطع عرضی (ET<sub>o</sub>/CS) کاهش یافت (شکل ۳ ج). به‌طوری‌که در پی کاهش این شاخص و افزایش پارامتر TR<sub>o</sub>/CS، میزان هدر دادن انرژی به ازای هر مقطع عرضی برگ (DI<sub>o</sub>/CS) در رقم ترکیه ۵۰۶ بطور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۳ د).

**عملکردها و شاخص کارایی:** تنها در رقم ترکیه ۵۰۶ شاخص‌های به‌دام انداختن انرژی به میزان جذب آن (TR<sub>o</sub>/ABS)، میزان جریان الکترون به میزان به‌دام انداختن انرژی (ET<sub>o</sub>/TR<sub>o</sub>) و میزان جریان الکترون به ازای میزان جذب انرژی (ET<sub>o</sub>/ABS) در شرایط تنش شوری نسبت

اشاره کرد (۱۹). کاهش  $\Phi_{P_0}$  در رقم ترکیه ۵۰۶ در شرایط تنش می‌تواند ناشی از غیر فعال شدن مرکز واکنشی باشد که سبب افزایش از دست دادن انرژی به شکل گرما و فلئورسانس می‌شود. افزایش میزان  $\Phi_{D_0}$  در رقم ترکیه ۵۰۶ در شرایط تنش تأییدی بر این یافته است (جدول ۲). این مسئله می‌تواند با افزایش منابع گرما ارتباط داشته باشد. منابع گرما ممکن است انرژی نوری را همانند مراکز واکنشی فعال جذب کنند. اما قادر به ذخیره انرژی برانگیخته به شکل انرژی ردوکس نیستند و انرژی کل دریافتی را به شکل گرما به هدر می‌دهند (۱۱). بعلاوه اینکه در اثر انرژی مازاد، انتقال انرژی به دیگر سیستم‌ها نظیر تولید انواع اکسیژن فعال وابسته به انرژی اتفاق خواهد افتاد (۲۸).

کاهش  $\Psi_0$  یا  $ET_0/TR_0$  به مفهوم از دست رفتن توانایی در اکسیداسیون مجدد  $QA^-$  بفرم اول خود می‌باشد (۹). در رقم ترکیه ۵۰۶ شاخص مذکور در شرایط تنش شوری به ۷۶٪ کاهش یافته است (جدول ۲). در این پژوهش علاوه بر شاخص شاخص یاد شده سطح زیر منحنی OJIP-test، شاخص ارزیابی حجم خزانه کینون‌ها نیز در رقم ترکیه ۵۰۶ به ۶۵٪ کاهش یافته است (جدول ۱). همچنین در این رقم فلئورسانس کلروفیل در ۲ میلی‌ثانیه افزایش داشت (جدول ۱) که نشان‌دهنده تجمع  $QA^-$  می‌باشد (۱۱). تمام موارد فوق کاهش  $\Psi_0$  یا  $ET_0/TR_0$  را در رقم ترکیه ۵۰۶ تأیید می‌نمایند (جدول ۱). مهتا و همکاران (۲۰) نیز کاهش شاخص‌های  $\Psi_0$  یا  $ET_0/TR_0$  و سطح زیر منحنی OJIP-test را در اثر شوری در گندم گزارش کرده‌اند.

$\Phi_{E_0}$  پارامتری است که نشان‌دهنده میزان جریان الکترون به میزان انرژی جذبی می‌باشد. عبارت دیگر شاخص مذکور بیانگر احتمال انتقال الکترون به ناقل‌های بعد از  $QA^-$  توسط انرژی فوتون جذبی است (۳۲). این شاخص در رقم ترکیه ۵۰۶ در شرایط تنش شوری کاهش نشان داد و به

به شاهد، بطور معنی‌داری کاهش نشان داد. بعلاوه، شاخص به‌هدر دادن انرژی به میزان انرژی جذبی ( $DI_0/ABS$ ) تنها در رقم ترکیه ۵۰۶ در شرایط تنش افزایش معنی‌داری داشت. اما شاخص عملکرد ( $PI_{ABS}$ ) در شرایط تنش در هر دو رقم نسبت به شاهد کاهش قابل ملاحظه‌ای یافت (جدول ۲).

شاخص  $TR_0/ABS$  یا  $\Phi_{P_0}$  در رقم ترکیه ۵۰۶ در شرایط تنش شوری ۱۵٪ نسبت به شاهد کاهش داشت. در این رقم به‌رغم عدم تغییر معنی‌دار  $TR_0/CS$ ، به دلیل افزایش جذب به مقطع عرضی برگ ( $ABS/CS$ ) و افت جریان الکترون به ازای هر مقطع عرضی ( $ET_0/CS$ ) سبب گردید تا میزان اتلاف انرژی بطور چشمگیری افزایش یابد (شکل ۳ د). همچنین، کاهش حجم خزانه کینون‌ها کاهش جریان الکترون به ازای هر مقطع عرضی را تأیید می‌کند (جدول ۱). زیرا با توجه به افت تعداد ناقل‌ها، افزایش معنی‌دار میزان جذب و ثابت ماندن انرژی به‌دام افتاده، نشان می‌دهد که باید انرژی به هدر رفته افزایش یابد. درحالی‌که در رقم مصر ۴۴۹ با افزایش جذب به ازای مقطع عرضی،  $TR_0/CS$  و  $ET_0/CS$  نیز افزایش یافته و در پی آن  $DI_0/CS$  ثابت ماند (شکل ۳ د). بروز بازدارندگی نوری در رقم ترکیه ۵۰۶ به‌همراه کاهش نسبت مرکز واکنشی به مقطع عرضی برگ سبب شد تا به هدر دادن انرژی در این رقم نسبت به شاهد ۱/۵۲ برابر گردد (جدول ۲).

$\Phi_{P_0}$  یا  $Fv/Fm = TR_0/ABS$  نشان‌دهنده حداکثر کارایی فتوسنتز II است. افت این شاخص نشان‌دهنده بروز بازدارندگی نوری در اثر تنش‌های محیطی می‌باشد (۱۱) و (۱۶). از جمله عوامل کنترل‌کننده این شاخص می‌توان به فتوشیمی اولیه فتوسنتز II (شامل جدا کردن شارژ، ترکیب و پایداری)، از دست دادن انرژی برانگیخته در موج‌گیرهای برداشت‌کننده نور به شکل غیر تشعشعی و خاموشی مولکول‌های برانگیخته با استفاده از احیای مولکول‌های پلاستوکینون اکسید موجود در خزانه کینون‌ها

شاخص عملکرد می‌شوند می‌توان به غیرفعال شدن تعداد زیادی از مراکز واکنشی فعال در سطح برگ، شدت بالای انرژی نوری، کاهش پارامتر حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II و کاهش شدت جریان الکترون به بعد از  $Q_A^-$  اشاره کرد. بعلاوه مقادیر کم RC/CS و  $\Phi_{P_0}$  نشان می‌دهد که بخش بزرگی از انرژی جذب شده به شکل گرما و فلوئورسانس به هدر داده خواهد شد. شاخص عملکرد علاوه بر نشان دادن میزان عملکرد فلوئورسانس در محدوده‌های انتهایی  $F_0$  و  $F_m$ ، قادر است در نقاط حدواسط آنها مانند مرحله J، میزان فلوئورسانس را نشان دهد. همچنین با استفاده از این شاخص می‌توان شبیهی که فلوئورسانس بروز می‌نماید را نیز مشخص نمود (۲۹). درحالی‌که  $\Phi_{P_0}$  تنها فلوئورسانس  $F_0$  و  $F_m$  را بطور مستقل در زمانی که به حداکثر مقدار خود می‌رسد را نشان می‌دهد (۲۹). شاخص عملکرد اجازه تجزیه همه جانبه عملکرد فتوستتزی را فراهم می‌آورد. به‌طوری‌که با استفاده از این پارامتر می‌توان ارتباط بین کارایی جذب فوتون و تصرف انرژی برانگیخته در فتوسیستم II، تراکم تعداد مراکز واکنشی و احتمال انتقال الکترون به بعد از  $Q_A^-$  توسط انرژی برانگیخته را بررسی کرد (۱۰). بنابراین شاخص عملکرد یک پارامتر بهتر برای ارزیابی پاسخ فتوسیستم II به شرایط تنش است تا  $\Phi_{P_0}$  تنها.

همانطور که نتایج حاصل نشان می‌دهند در رقم ترکیه ۵۰۶ تمامی شاخص‌های مورد ارزیابی کاهش یافته است که حکایت از بروز بازدارندگی نوری در این رقم است. ازجمله آنها می‌توان به کاهش سطح زیر منحنی OJIP،  $F_v/F_m$ ، RC/CS،  $\Phi_{P_0}$ ،  $\Psi_0$ ،  $\Phi_{E_0}$  و  $PI_{ABS}$  اشاره کرد. برآیند این عوامل سبب افزایش  $\Phi_{D_0}$  گردید. افزایش شاخص مذکور نشان‌دهنده جریان انرژی در مسیرهای مختلف ازجمله تولید انواع اکسیژن فعال می‌باشد. تمام موارد فوق نشان می‌دهند که در گزینش ارقام متحمل به شوری می‌توان از تکنیک فلوئورسانس کلروفیل a استفاده نمود.

۰/۶۹ شاهد رسید (جدول ۲). کاهش این پارامتر به معنای کاهش در میزان جریان الکترون به سمت ناقل‌های جلو می‌باشد (۲۰). کاهش این پارامتر را می‌توان ناشی از کاهش  $\Psi_0$  یا  $ET_0/TR_0$  دانست (۱۱) که در رقم ترکیه ۵۰۶ نیز کاهش آن اتفاق افتاده است (جدول ۲). با توجه به نتایج حاصل از  $\Phi_{P_0}$ ،  $\Psi_0$  و  $\Phi_{E_0}$  می‌توان نتیجه گرفت که رقم مصر ۴۴۹ از عملکرد بهتری در شرایط تنش شوری نسبت به رقم ترکیه ۵۰۶ برخوردار بود (جدول ۲).

شاخص عملکرد ( $PI_{ABS}$ ) در تنش شوری در هر دو رقم ترکیه ۵۰۶ (۵۵٪) و مصر ۴۴۹ (۳۳٪) کاهش نشان داد که این امر احتمالاً ناشی از بروز بازدارندگی نوری در شرایط تنش شوری می‌باشد (جدول ۲). بعلاوه اینکه رقم مصر ۴۴۹ در هر دو شرایط از بالاتری نسبت به رقم ترکیه ۵۰۶ برخوردار بود (جدول ۲).  $PI_{ABS}$  بالاتر در رقم مصر ۴۴۹ در شرایط شاهد و تنش شوری (در حدود ۱/۵۷ برابر در شاهد و ۲/۳۱ برابر در تنش)، بیانگر بروز بازدارندگی نوری در رقم ترکیه ۵۰۶ نسبت به مصر ۴۴۹ بدون توجه به شرایط محیطی می‌باشد (جدول ۲).

شاخص عملکرد پارامتری است که سه فاکتور درگیر در مراحل عملکردی فتوستتزی، شامل تعداد مراکز واکنشی موجود در بستر کلروفیل، میزان بدام انداختن انرژی برانگیخته و میزان تبدیل انرژی برانگیخته به انتقال الکترون، را به یک فاکتور چند متغیره تبدیل می‌کند (۳۱). این شاخص نشان‌دهنده برآیند فاکتورهای  $\Phi_{P_0}$ ،  $\Psi_0$  و RC/ABS می‌باشد (۲۶). شاخص عملکرد یک شاخص مطلوب برای ارزیابی عملکرد گیاه در مورد جذب انرژی نوری، بدام انداختن انرژی برانگیخته و تبدیل انرژی برانگیخته به انتقال الکترون، بوسیله فتوستتزی در شرایط تنش‌های محیطی نظیر شوری، خشکی، گرما و غیره می‌باشد (۶، ۲۱ و ۲۹). نتایج حاصل از این پژوهش کاهش کارایی عملکرد را در هر دو رقم مورد مطالعه نشان داد (جدول ۲). در میان پارامترهایی که منجر به کاهش

جدول ۱- اثرات تنش شوری بر روی فلوتورسانس اولیه (Fo)، شدت فلوتورسانس در زمانهای ۵۰ میکروثانیه (نقطه O)، ۱۰۰، ۳۰۰ میکروثانیه و ۲ میلی ثانیه (نقطه I) و ۳۰ میلی ثانیه (نقطه J)، فلوتورسانس متغیر (Fv)، فلوتورسانس حداکثر (Fm) و سطح زیر منحنی OJIP در رقم مصر ۴۴۹ (متحمل) و رقم ترکیه ۵۰۶ (حساس).

ترکیه ۵۰۶		مصر ۴۴۹		
تنش شوری	شاهد	تنش شوری	شاهد	
۹۲/۲۵±۲۹/۳۹a	۷۵/۸۰±۶/۹۷b	۹۶/۸±۴/۵۹a	۹۱/۲۷±۴/۰۹a	Fo
۹۶/۳۱±۳۱/۵۸a	۷۷/۴۷±۷/۵b	۹۹/۲±۴/۸۶a	۹۳/۴±۴/۱۰a	F50μs (O)
۹۹/۲۵±۳۲/۹۶a	۷۸/۸±۷/۳۹b	۱۰۰/۷۳±۴/۳۳a	۹۴/۶۷±۴/۸۴a	F100μs
۱۱۱/۳۱±۳۹/۶۵a	۸۴/۱۳±۸/۱۱b	۱۰۷/۹۳±۵/۵۷a	۱۰۱/۳۳±۵/۸۲a	F300μs
۱۵۴/۶۹±۴۹/۵۸b	۱۲۰/۲۷±۱۲/۴۹a	۱۵۳/۲۷±۱۰/۰۶b	۱۴۵/۳۳±۷/۱۹b	F2mS (J)
۲۲۵/۵±۴۶/۰۲a	۲۲۵/۰±۳۲/۰۲a	۲۹۷/۰۷±۱۷/۰۸b	۲۷۷/۸۷±۱۶/۵۵b	F30mS (I)
۳۰۶/۵±۸۴/۱۹b	۳۵۴/۴۷±۳۸/۱۰b	۴۶۳/۴۷±۲۷/۵۴a	۴۲۷/۰۰±۲۱/۸۳۷a	Fm
۳۳۵/۷۳±۱۸/۹۸c	۲۷۸/۶۷±۳۱/۷۳b	۳۶۶/۶۷±۲۴/۸۷a	۲۱۴/۲۵±۸۶/۵۶a	Fv
۱۰۶۸۷/۵±۶۰۳۸/۹۷b	۱۶۴۰۰/۰±۷۶۶۲/۸۹a	۲۱۰۸۰/۰±۳۲۶۰/۸۵a	۱۹۰۵۳/۳۳±۱۵۷۹/۲۷a	Area
۰/۶۷۶±۰/۱۲۷b	۰/۷۸۶±۰/۰۰۹a	۰/۷۹۱±۰/۰۱a	۰/۷۸۶±۰/۰۰۸a	Fv/Fm

اعداد جدول نشان دهنده میانگین ۱۵ تکرار و SD است.

\*حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در بین تیمارها می باشد.

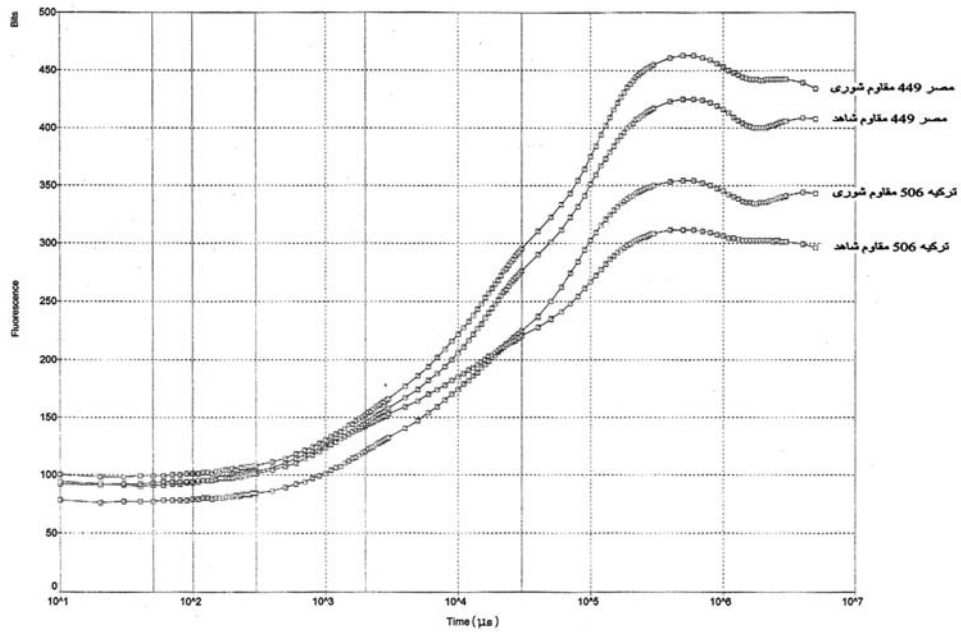
جدول ۲- اثرات تنش شوری بر روی میزان مرکز واکنشی فعال به ازای مقطع عرضی برگ، حداکثر کارایی اولیه فتوسنتز II، حداکثر کارایی خاموشی غیرفتوشیمیایی، احتمال جریان الکترون به ناقل بعد از QA به ازای انرژی به دام افتاده (ET<sub>0</sub>/TR<sub>0</sub>(Ψ<sub>0</sub>)) یا فوتون جذبی (ET<sub>0</sub>/ABS(Φ<sub>E0</sub>)) و شاخص عملکرد (PI) در رقم مصر ۴۴۹ (متحمل) و رقم ترکیه ۵۰۶ (حساس).

ترکیه ۵۰۶		مصر ۴۴۹		
تنش شوری	شاهد	تنش شوری	شاهد	
۵۷/۷۷±۱۸/۴۸c	۸۰/۵۹±۱۱/۰۶b	۹۹/۳۴±۱۶/۰۲b	۱۳۷/۷۸±۱۶/۹۹a	RC/CS
۰/۶۷۶±۰/۱۲۷a	۰/۷۸۶±۰/۰۰۹b	۰/۷۹۱±۰/۰۰۲a	۰/۷۸۶±۰/۰۰۸a	TR <sub>0</sub> /ABS(Φ <sub>P0</sub> )
۰/۳۲۴±۰/۱۲۷b	۰/۲۱۴±۰/۰۰۹a	۰/۲۰۹±۰/۰۱۱b	۰/۲۱۴±۰/۰۰۷b	DI <sub>0</sub> /ABS(Φ <sub>D0</sub> )
۰/۶۴۲±۰/۲۰۲a	۰/۸۴۰±۰/۱۵۱b	۰/۸۴۵±۰/۰۲۶a	۰/۸۳۹±۰/۰۱۱a	ET <sub>0</sub> /TR <sub>0</sub> (Ψ <sub>0</sub> )
۰/۴۵۶±۰/۲۱a	۰/۶۶۰±۰/۰۱۴b	۰/۶۶۸±۰/۰۲۸a	۰/۶۵۹±۰/۰۱۲a	ET <sub>0</sub> /ABS(Φ <sub>E0</sub> )
۹/۴۵±۱/۰۱b	۲۰/۷۹±۳/۳۴c	۲۱/۸۷±۵/۴۹b	۳۲/۵۶±۵/۰۹a	PI <sub>ABS</sub>

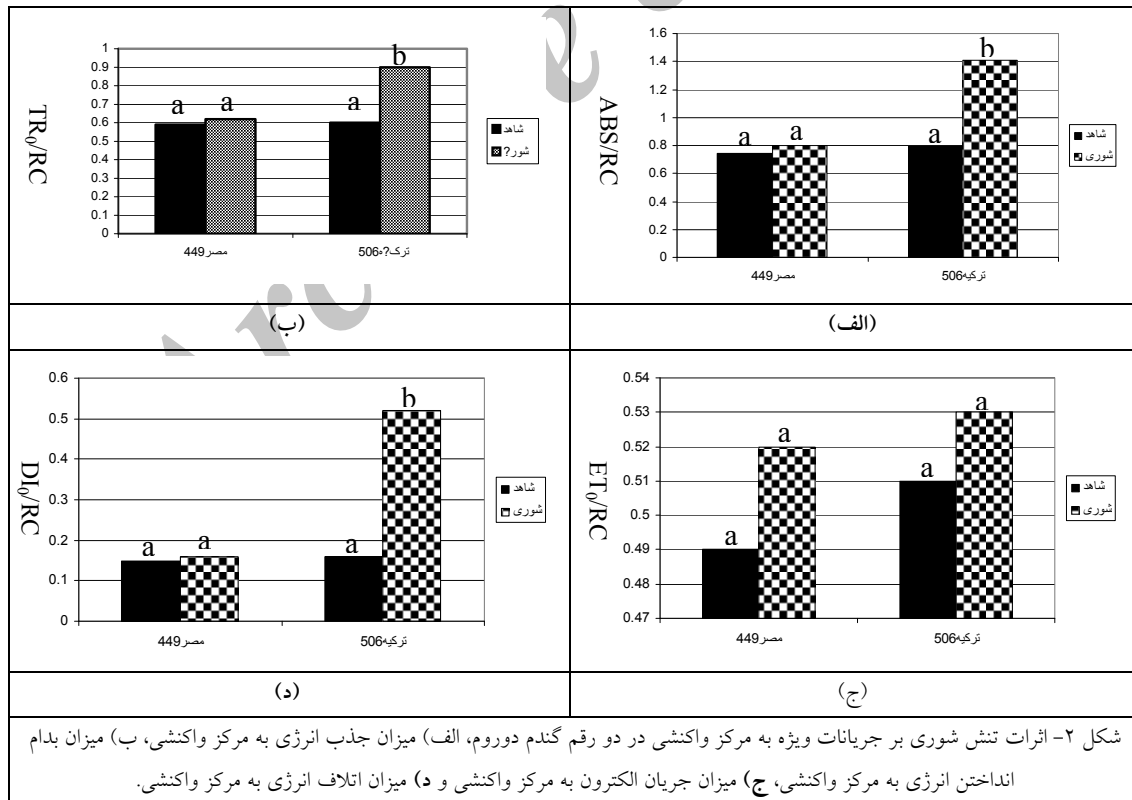
اعداد جدول نشان دهنده میانگین ۱۵ تکرار و SD است.

\*حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در بین تیمارها می باشد.

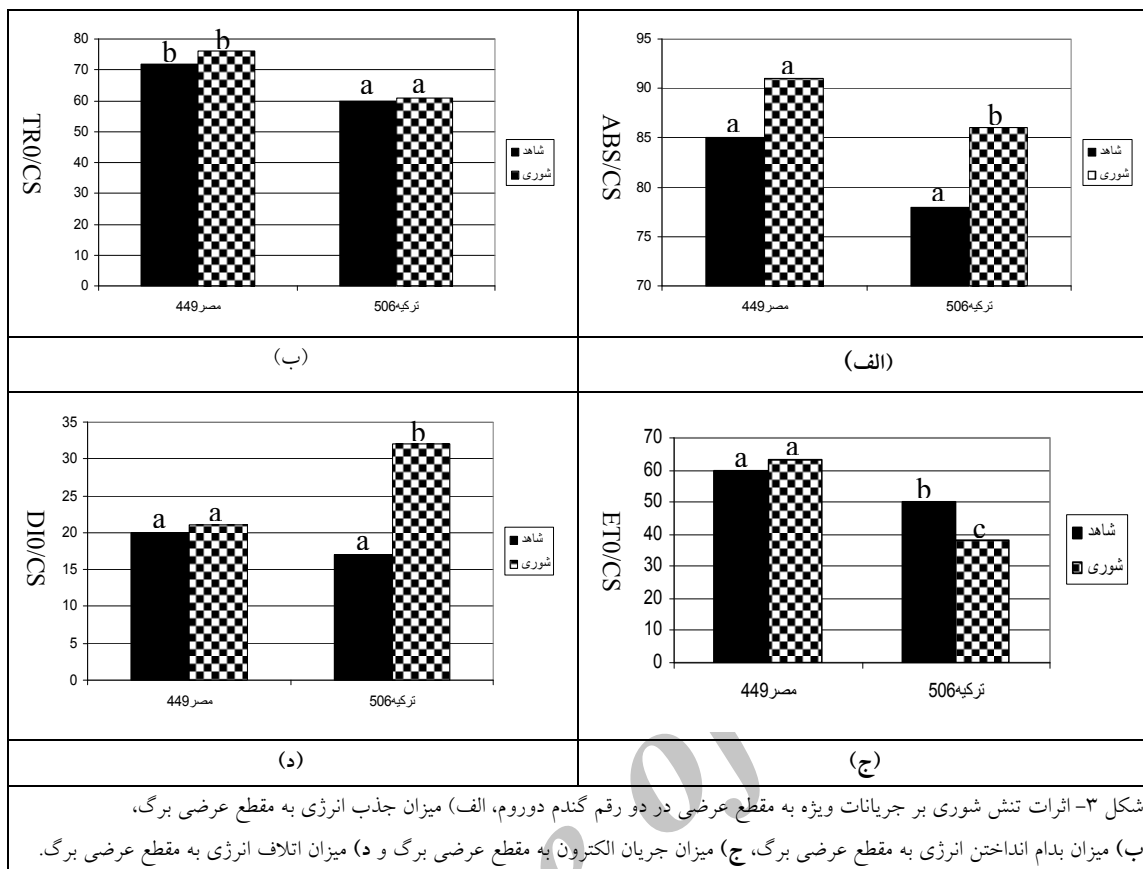




شکل ۱- تغییرات منحنی OJIP تست در ارقام حساس (ترکیه ۵۰۶) و مقاوم (مصر ۴۴۹) گندم دوروم در پاسخ به شوری



شکل ۲- اثرات تنش شوری بر جریان‌های ویژه به مرکز واکنشی در دو رقم گندم دوروم، الف) میزان جذب انرژی به مرکز واکنشی، ب) میزان بدام انداختن انرژی به مرکز واکنشی، ج) میزان جریان الکترون به مرکز واکنشی و د) میزان اتلاف انرژی به مرکز واکنشی.



### منابع

- ۱- اسفندیاری ع. ۱۳۸۶. بررسی اثرات تنش خشکی بر روی ارقام پائیزه گندم با استفاده از پارامترهای فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و زراعی. پایان‌نامه دکتری. دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.
- ۲- محمدی، ه. ا. سلطانی، ح. صادقی‌پور، اب زینالی و ر. نجفی هزار جریبی. ۱۳۸۷. تاثیر زوال بذر بر رشد رویشی و فلورسانس
- 4-Azizpour K, Shakiba MR, Khosh Kholgh Sima NA, Alyari H, Moghaddam M, Esfandiari E and Pessaraki M. 2010. Physiological response of spring durum wheat genotypes to salinity. *Journal of Plant Nutrition* 33: 859-873.
- 5-Cakmak I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil* 302: 1-17.
- 6-Clark AJ, Landolt W, Bucher JB, Strasser RJ. 2000. Beech (*Fagus sylvatica*) response to ozone exposure assessed with a chlorophyll a fluorescence performance index. *Environmental Pollution* 109: 501-507.
- 7-Dekker JP and Grondelle R. 2000. Primary charge separation in photosystem II. *Photosynthesis Research* 63: 195-208.
- 8-Esfandiari E, Enayati V and Abbasi A. 2011. Biochemical and physiological changes in response to salinity in two durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes. *Not Bot Hort Agrobot Cluj* 39: 165-170.
- 9-Force L, Critchley C and Rensen JJS. 2003. New fluorescence parameters for monitoring photosynthesis in plants. *Photosynthesis Research* 78: 17-33.
- 10-Goncalves JFC and Santos UM. 2005. Utilization of the chlorophyll a fluorescence technique as a tool for selecting tolerant species to environment of high irradiance. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17: 307-313.
- 11-Goncalves JFC, Santos UM, Nina A and Chevreuil LR. 2007. Energetic flux and

- performance index in copaiba (*Copaifera multijuga* Hayna) and mahogany (*Swietenia macrophylla* King) seedling grown under two irradiance environments. Brazilian Journal of Plant Physiology 19: 171-184.
- 12-Govindjee F. 1995. Sixty-three years since Kautsky: chlorophyll a fluorescence. Australian J. Plant Physiology 22: 131-160.
- 13-Haldimann P and Strasser RJ. 1999. Effects of anaerobiosis as probed by the polyphasic chlorophyll a fluorescence rise kinetic in pea (*Pisum sativum* L.). Photosynthesis Research 62: 67-83.
- 14-Hankamer B, Barber J, Boekema EJ. 1997. Structure and membrane organization of photosystem II from green plants. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 48: 641-672.
- 15-Joliot P and Joliot A. 2002. Cyclic electron transport in plant leaf. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 99: 10209-10214.
- 16-Kocheva K, Lambrev P, Georgiev G, Goltsev V and Karabaliev M. 2004. Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. Bioelectrochemistry 63: 121-124.
- 17-Kruger GHJ, Tsimilli M and Strasser RJ. 1997. Light stress provokes plastic and elastic modification in structure and function of photosystem II in camellia leaves. Physiologia Plantarum 101: 265-277.
- 18-Lazar D and Ilík P. 1997. High temperature induced chlorophyll fluorescence changes in barley leaves: comparison of the critical temperatures determined from fluorescence induction and from fluorescence temperature curve. Plant Science 124: 159-164.
- 19-Lazar D. 2003. Chlorophyll a fluorescence rise induced by high light illumination of dark adapted plant tissue studied by means of photosystem II and considering photosystem II heterogeneity. J. Theor. Biol. 220: 469-503.
- 20-Mehta P, Jajoo A, Mathur S and Bharti S. 2010. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on photosystem II in wheat leaves. Plant Physiology and Biochemistry 48: 16-20.
- 21-Mishra AN, Srivastava A and Strasser RJ. 2001. Utilization of fast chlorophyll a technique in assessing the salt/ion sensitivity of mung bean and brassica seedlings. Journal of Plant Physiology 158: 1173-1181.
- 22-Miyake C. 2010. Alternative electron flows (water-water cycle and cyclic electron flow around PSI) in photosynthesis: Molecular mechanisms and physiological functions. Plant Cell Physiology, 51: 1951-1963.
- 23-Pandan D, Rao DN, Sharma SG, Strasser RJ, Sarkar RK. 2006. Submergence effects on rice genotypes during seedling stage: Probing of submergence driven changes of photosystem II by chlorophyll a fluorescence induction O-J-I-P transients. Photosynthetica 44: 69-75.
- 24-Ramzi B, Morales F, Abadia A, Gomez J and Abadia J. 1994. Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in barley (*Hordeum vulgare* L.). Plant Physiology 104: 667-673.
- 25-Sobrado M A. 2008. Leaf characteristics and diurnal variation of chlorophyll fluorescence in leaves of the 'Bana' vegetation of the Amazon region. Photosynthetica 46: 202-207.
- 26-Srivastava A, Strasser RJ and Govindjee. 1999. Greening of peas: parallel measurements of 77 K emission spectra, O-J-I-P chlorophyll a fluorescence transient, period four oscillation of the initial fluorescence level, delayed light emission, and P700. Photosynthetica 37: 365-392.
- 27-Strasser BJ. 1997. Donor side capacity of photosystem II probed by chlorophyll a transient. Photosynthesis Research 52: 147-155.
- 28-Strasser RJ, Srivastava A and Tsimilli M. 2000. The fluorescence transient as a tool characterize and screen photosynthetic samples. In: Yunus M, Pathre U and Mohanty P (eds). Probing photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation. Pp: 445-483. Taylor & Francis, London.
- 29-Strauss AJ, Krüger G, Strasser RJ and Van Heerden PD. 2006. Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient O-J-I-P. Environmental and Experimental Botany 56: 147-157.
- 30-Stribt A, Govindjee, Strasser BJ, Strasser RJ. 1998. Chlorophyll a fluorescence induction in higher plants: modeling and numerical simulation. J. Theor. Biol. 193: 131-151.
- 31-Tsimilli M, Eggenberg P, Biro B, Köves K, Vörös I and Strasser RJ. 2000. Synergistic and antagonistic effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Azospirillum* and *Rhizobium* nitrogen-fixers on the photosynthetic activity alfalfa, probed by the polyphasic chlorophyll a

- fluorescence transient O-J-I-P. *Applied Soil Ecology* 15: 169-182.
- 32-Van Heerden P, Tsimilli M, Krüger G and Strasser RJ. 2003. Dark chilling effects on soybean genotypes during vegetative development: parallel studies of CO<sub>2</sub> assimilation, chlorophyll a fluorescence kinetics O-J-I-P and nitrogen fixation. *Physiologia Plantarum* 117: 476-491.
- 33-Van Rensburg L, Krüger G, Eggenberg P and Strasser RJ. 1996. Can screening criteria for drought resistance in *Nicotiana tabacum* L. be derived from the polyphasic rise of the chlorophyll a fluorescence transient (OJIP)? *S. Afr. J. Bot.* 62: 337-341.

## Study of the variation in chlorophyll a fluorescence parameters in two durum wheat cultivars in response to salinity

Esfandiari E. and Enayati W.

Agronomy and Plant Breeding Dept., Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, I.R. of Iran

### Abstract

Physiological characteristics commonly employed for selection of tolerant and sensitive plant genotypes to environmental stresses are mainly time consuming and expensive. Since, development of alternative accurate and time-saving assay methods is inevitable. Owing to above mentioned facts, two durum wheat cultivars; Egypt 449 (tolerant) and Turkey506 (sensitive) were cultured under aeroponic conditions for the evaluation of their chlorophyll a fluorescence parameters under salinity conditions. During 4-5 leafy stage, wheat seedlings were exposed to 200 mM salinity stress for 10 days. Chlorophyll a fluorescence was assayed in both salinity treated and control plants. In Turkey506, OJIP-test curve area coverage, evaluation factor for quinones pool volume and photosystem II initial efficiency were significantly reduced under salinity conditions compared to control. Moreover, study of the parameters related to energy flow towards the reaction center showed that in Turkey506, due to reduced ratio of active reaction center to cross section under salinity condition, parameters of energy absorption in reaction center, energy trapping ratio related to reaction center and electron flow toward reaction center were increased under salinity situations. However, blocked flow of electron transport toward reaction center in Turkey506 led to increased energy waste in reaction center due to salinity. On the other hand, indexes such as energy trapping to energy absorption, electron transmission rate to trapped energy and electron transmission rate to absorptive energy rate in Turkey506 were significantly reached under salinity conductions. Although, performance index under salinity was declined in both cultivars, but, the studied traits revealed than Turkey506 was sensitive to salinity and also, had low efficiency. Overall, it is worthy of note that, study of the chlorophyll a fluorescence may be a validate physiological index for selection of wheat cultivars in response to salinity.

**Key words:** chlorophyll a fluorescence, Membrane stability index, Plant defense mechanisms, Wheat.