



دانشگاه گورگان و منابع طبیعی گورگان

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

جلد بیست و هفتم، شماره سوم، ۱۳۹۹

۱-۲۱

<http://jopp.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jopp.2020.14475.2296

ارزیابی و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی برنج با کاربرد روش‌های فلئورومتري

*مرتضی نصیری^۱، موسی مسکرباشی^۲، پیمان حسینی^۳ و همت‌الله پیردشتی^۴

^۱استادیار پژوهش مؤسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران،

^۲استاد دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران،

^۳دانشیار دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران،

^۴استاد گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۳۱

چکیده

سابقه و هدف: کمبود آب در خاک و جو، مهم‌ترین عامل محدودکننده فتوسنتز و رشد گیاه به‌ویژه برنج بوده و بر تولید مواد فتوسنتزی که ناشی از کاهش جذب کربن به واسطه محدودیت متابولیسمی و روزنه‌ای می‌باشد، اثرات منفی ایجاد می‌کند. با توجه به ظرفیت محدود کربن‌گیری در گیاه، خشکی منجر به خسارت یا تلفات مراکز واکنش فعال در فتوسنتز II می‌گردد. بنابراین اندازه‌گیری غیرتخریبی فتوسنتز از طریق فلئورومتري کلروفیل a، پتانسیل زنده ماندن گیاه و علائمی از پاسخ به خشکی را فراهم می‌نماید. برنج به افزایش تنش خشکی که طی دوره رویشی و گلدهی اتفاق می‌افتد، حساسیت بیشتری نشان می‌دهد. پاسخ گیاهان به تنش خشکی از طریق شناسایی خصوصیات که نقش مهمی در تحمل به تنش خشکی در سطوح ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی، سلولی، زیست-شیمیایی و مولکولی ایفا می‌کنند، ارزیابی می‌گردد. این آزمایش با هدف ارزیابی ژنوتیپ‌های برنج با اندازه‌گیری صفات مرتبط با رنگیته‌های فتوسنتزی و مولفه‌های فلئورسانس کلروفیل به‌منظور انتخاب معیار مناسب برای غربالگری و ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی انجام شده است.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو شرایط آبیاری کامل و تنش طی مرحله گیاهچه‌ای با ۵۶ ژنوتیپ برنج از استان‌های مختلف ایران و مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (IRRI) در سال ۱۳۹۳ در مؤسسه تحقیقات برنج کشور (آمل) اجرا شد. بعد از بذریابی، آبیاری به‌صورت روزانه تا مرحله دو تا سه برگگی گیاهچه انجام پذیرفت. برای تیمار شاهد (بدون تنش) آبیاری طبیعی تا پایان دوره رشد ادامه یافت و برای تیمار تحت تنش آبیاری از روز پانزدهم بعد از بذریابی تا پایان دوره رشد متوقف گردید. پس از این‌که رطوبت خاک به ۲۰ درصد رسید (حدود ۱۰ روز بعد از قطع آبیاری)، صفات مربوط به رنگیته‌های کلروفیل مانند کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها و همچنین مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل مانند Fv/Fm، ETR، qN، ΦPSII به همراه PAR بر اساس روش‌های علمی اندازه‌گیری شد.

* مسئول مکاتبه: m_nasiri1@yahoo.com

یافته‌ها: نتایج نشان داده است که مقادیر کلروفیل a و b به ترتیب به مقدار ۲/۳ و ۲۱/۴ درصد در تنش خشکی افزایش و مقدار کاروتنوئیدها ۳/۸ درصد کاهش داشت. مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل به جز Fv/Fm اختلاف آماری معنی‌داری در دو محیط نشان دادند. مؤلفه‌های Φ_{PSII} ، ETR، qN و PAR به ترتیب به مقدار ۳/۷، ۱۳، ۳۵/۵ و ۲۸/۸ درصد در شرایط تنش نسبت به نرمال کاهش داشتند. نتایج همبستگی صفات نشان داده که بین کلروفیل a با b و کاروتنوئید با کلروفیل a و b همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. همبستگی بین Φ_{PSII} با Fv/Fm و qN به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۲۹ و ۰/۹۱- معنی‌دار بوده است.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر آن است که ژنوتیپ‌های برنج، واکنش‌های متفاوتی در دو شرایط تنش و طبیعی در مرحله گیاهچه‌ای نشان دادند. بر اساس ارزیابی رنگیزه‌های کلروفیل a، b، کاروتنوئیدها و مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل به‌ویژه Φ_{PSII} و ETR و همچنین وزن خشک بوته و محتوی نسبی آب برگ، تعدادی از ژنوتیپ‌های برنج متحمل به تنش خشکی انتخاب گردید. با ادامه فعالیت‌های تکمیلی در مراحل رویشی، زایشی و رسیدگی تعدادی از این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان ارقام متحمل به خشکی جهت مقابله با کم‌آبی و افزایش بهره‌وری آب معرفی خواهند شد.

واژه‌های کلیدی: برنج، عملکرد کوآنزومی، غربال‌گری، فتوسیستم II، فلئورسانس کلروفیل

مقدمه

گیاهان در شرایط محیطی نامساعد با تنش‌های مختلف زنده و غیرزنده روبرو می‌شوند و خشکی از جمله مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که بر تولید محصولات کشاورزی اثر می‌گذارد (۲۱). با توجه به ظرفیت محدود فتوسنتز، خشکی منجر به خسارت یا تلفات مراکز واکنش فعال در فتوسیستم II می‌گردد. بنابراین اندازه‌گیری غیرتخریبی فتوسنتز از طریق فلئورومتري کلروفیل a، میانگینی از پتانسیل زنده ماندن گیاه و علایمی از پاسخ به خشکی را فراهم می‌نماید (۳۱).

مطالعه هاگام و همکاران (۲۰۰۱) همبستگی زیادی بین تغییر در مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل در پاسخ به تنش‌های محیطی نشان داد (۱۲). پاسخ گیاهان به تنش خشکی از طریق شناسایی خصوصياتی که نقش مهمی در تحمل به تنش خشکی در سطوح ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی،

سلولی، زیست-شیمیایی و مولکولی بازی می‌کنند، ارزیابی می‌گردد (۱۹).

به‌طورکلی انرژی جذب شده توسط رنگدانه‌های کلروفیل در برگ با سه سرنوشت روبرو خواهد شد. ۱- به‌طور مستقیم در تولید مواد فتوسنتزی مورد استفاده قرار می‌گیرد (واکنش‌های فتوشیمیایی). ۲- انرژی اضافی می‌تواند به‌صورت حرارت اتلاف شود. ۳- بخشی از آن می‌تواند به‌صورت فلئورسانس کلروفیل مجدداً انتشار یابد (۲۰). این سه فرایند در رقابت با هم اتفاق افتاده، به‌طوری‌که افزایش کارایی یکی از آن‌ها منجر به کاهش کارایی دو فرایند دیگر خواهد شد (۲۸). تعیین فلئورسانس کلروفیل یک روش غیرتخریبی است که به‌طور گسترده برای ارزیابی و غربال‌گری گیاهان نسبت به تنش‌های محیطی به‌کار می‌رود (۲۳). نوردهی به برگ سازگار شده با تاریکی منجر به تغییرات ویژه‌ای در شدت فلئورسانس کلروفیل می‌گردد که به‌عنوان اثر

یک صورت می‌گیرد (۲۷). رونگ هوو همکاران (۲۰۰۶) با بررسی ارقام و لاین‌های مختلف جو با استفاده از فلئورسانس کلروفیل نتیجه گرفتند که از مقادیر F_v/F_o ، F_v/F_m و F_v/F_m می‌توان به‌عنوان شاخص‌هایی مناسب برای غربال‌گری ژرم‌پلاسم‌های جو متحمل به تنش خشکی استفاده نمود (۲۶). پیردشتی و همکاران (۲۰۰۹) در ارتباط با تنش خشکی در چهار رقم برنج ایرانی (طارم، خزر، فجر و نعمت) بیان نمودند که تنش خشکی بر مقدار کلروفیل، رشد ریشه، تولید ماده خشک، F_m ، F_v ، عملکرد و اجزای عملکرد تأثیر منفی داشته و رطوبت نسبی آب برگ رقم فجر و نعمت بیش‌تر از طارم و خزر بوده و بنابراین نسبت به خشکی تحمل بیش‌تری دارند.

کاهش مقدار کلروفیل a در طول دوره خشکی، نوعی تنش اکسیداتیو است که توسط پیگمان‌های فتواکسیداتیو منجر به کاهش کلروفیل می‌شود (۹). کاهش مقدار کلروفیل منجر به خسارت غشاء کلروپلاست و پراکسیداسیون چربی می‌گردد (۱۷). کلروفیل a ، b و کاروتنوئیدها رنگیزه‌های اصلی فتوستت در کلروپلاست بوده و وظیفه مهمی را در جذب و بهره‌وری انرژی نورانی به عهده داشته و راندمان فتوستت را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۳۳). در تنش سرما (۱۵/۱۳ درجه سانتی‌گراد شب/ روز) مؤلفه‌های F_v/F_m ، qP ، ETR و Φ_{PSII} ، عدد کلروفیل‌متر و قدرت رویش گیاهچه برنج کاهش معنی‌داری نسبت به شرایط طبیعی (۱۹/۲۲ درجه سانتی‌گراد) داشته که بیانگر وارد شدن خسارت به زنجیره انتقال الکترون و افزایش اتلاف حرارتی و همچنین کاهش جذب فتوشیمیایی الکترون‌ها می‌باشد (۱۴). هدف از اجرای این آزمایش بررسی نقش

کاتسکی شناخته شده است (۱۸). تنش خشکی در گیاهان موجب کاهش هدایت روزنه‌ای با بسته شدن روزنه‌ها و افزایش درجه حرارت برگ با کاهش تعرق می‌گردد (۱۵). مدرانو و همکاران (۲۰۰۲) گزارش نمودند که فلئورسانس کلروفیل همبستگی زیادی با هدایت روزنه‌ای نشان داده است (۲۲). چندین مؤلفه فتوستتزی دیگر مانند سرعت انتقال الکترون، افت اولیه f_v/f_m ، فتوستتز خالص و غلظت داخلی CO_2 همبستگی زیادی با هدایت روزنه‌ای داشته‌اند (۱۰). نتایج حاصل از آزمایش حسیی و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که مؤلفه F_v/F_m (حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده به تاریکی که بیانگر حداکثر کارایی در جذب نور توسط کمپلکس جمع‌کننده نوری فتوسیستم II است که به انرژی فتوشیمیایی تبدیل می‌شود) یکی از بهترین شاخص‌های انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش سرما می‌باشد (۱۴). در یک شدت نور معین، Φ_{PSII} سنجشی از کارایی کوانتومی انتقال خطی الکترون از طریق فتوسیستم II می‌باشد، در حالی که ETR نشان‌دهنده سرعت انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم یک بر حسب میکرومول الکترون بر مترمربع در ثانیه است و ارتباط زیادی با سرعت فتوستتز داشته و شاخصی از توانایی گیاه در محافظت فتوسیستم II در برابر خسارت‌های اکسیداتیو می‌باشد (۱۱). شایرو اسپلیوا (۱۹۸۶) بیان نمودند که خاموشی غیرفتوشیمیایی کلروفیل برانگیخته (NPQ)، نشان‌دهنده اتلاف غیرتشنشی انرژی جذب‌شده توسط فتوسیستم بوده و برطرف‌کننده برانگیختگی الکترون می‌باشد، این برانگیختگی بیش‌تر از طریق دفع گرما و توزیع مجدد انرژی الکترون برانگیخته از فتوسیستم II به فتوسیستم I

رنگیزه‌ها و مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل طی تنش خشکی به منظور غربال‌گری و انتخاب ژنوتیپ‌های برنج ایرانی و خارجی متحمل به تنش خشکی برای مطالعات تکمیلی بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مؤسسه تحقیقات برنج- معاونت مازندران (آمل) با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۲۹/۸ متر از سطح دریا در سال ۱۳۹۳ و در شرایط گلخانه با دمای ۳۰/۲۰ درجه سانتی‌گراد (شب/ روز) و با رطوبت نسبی ۷۰±۵ درصد به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۵۶ ژنوتیپ (۳۰ رقم و لاین ایرانی از پنج استان کشور و ۲۶ لاین انتخابی از مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج- ایری) (جدول ۱) با دو تکرار در دو شرایط (محیط) تنش خشکی و بدون تنش در مرحله گیاهچه‌ای برنج اجرا شده است. ابتدا چهار ظرف فلزی با مساحت یک مترمربع و با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر تهیه شد. داخل ظرف‌ها تا ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر از خاک نرم مخلوط شده با عناصر غذایی (۰/۲۵ گرم از عناصر خالص نیتروژن، فسفر، پتاس و گوگرد به ازای هر کیلو خاک) پرگردید. بذرهای جوانه‌زده در ژرمیناتور به تعداد ۵۰ بذر برای هر ژنوتیپ و با فاصله دو سانتی‌متر روی

ردیف و پنج سانتی‌متر بین ردیف در داخل ظرف‌های فلزی کشت شد. بعد از بذرپاشی، آبیاری به صورت روزانه تا مرحله دو تا سه برگگی گیاهچه (۱۵ روز بعد از کاشت) انجام شد. برای تیمار شاهد (بدون تنش) آبیاری طبیعی تا پایان دوره رشد ادامه و برای تیمار تحت تنش آبیاری از روز پانزدهم بعد از بذرپاشی تا پایان دوره رشد متوقف گردید. بعد از اعمال تنش هر سه روز یکبار حجم مشخصی از خاک نمونه‌برداری شده و وزن تر (Fw) و وزن خشک (Dw) آن با قرار دادن در آون با حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت اندازه‌گیری شد و سپس با رابطه ۱ مقدار رطوبت خاک تعیین گردید (۷). پس از این‌که رطوبت خاک به ۲۰ درصد رسید (۱۰ روز بعد از قطع آبیاری)، صفات و پارامترهای مختلف شامل رنگیزه‌های کلروفیل مانند کلروفیل a, b و کاروتنوئیدها و هم‌چنین مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل مانند Fv/Fm (حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده به تاریکی)، ΦPSII (عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده به روشنایی)، NPQ (خاموشی غیرفتوشیمیایی کلروفیل بر انگیخه)، ETR (سرعت انتقال الکترون) به همراه PAR (تشنش فعال فتوسنتزی) به شرح زیر اندازه‌گیری شدند.

$$\frac{Fw-Dw}{Dw} * 100 \quad (1)$$

کلروفیل شامل فلئورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fm)، فلئورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fo)، حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fv/Fm)، فلئورسانس حداکثر در شرایط

برای اندازه‌گیری صفات فوق دو نمونه از قسمت وسط آخرین برگ توسعه یافته همه تیمارها انتخاب و حداقل به مدت ۳۰ دقیقه با استفاده از کلیپس‌های مخصوص در شرایط تاریکی قرار گرفتند. بعد از سپری شدن زمان فوق، مولفه‌های فلئورسانس

بعد از جمع‌آوری داده‌ها و محاسبات لازم با نرم‌افزار اکسل، تجزیه آماری و مقایسه میانگین ساده و مرکب و همچنین همبستگی صفات مورد مطالعه برای محیط‌های تنش و طبیعی با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام شد.

نتایج و بحث

میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها: نتایج تجزیه واریانس ساده در تیمار آبیاری طبیعی (جدول ۲) و تنش (جدول ۳) و تجزیه مرکب دو محیط (جدول ۴) در مرحله گیاهچه‌ای نشان داده است که اثر ژنوتیپ در شرایط آبیاری طبیعی، تنش و اثر متقابل دو محیط طبیعی و تنش از نظر آماری در سطح یک درصد برای صفات کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها معنی‌دار می‌باشد. برش‌دهی مقایسات میانگین ژنوتیپ‌ها در هر سطح تنش نشان داد که تمام صفات مربوط به رنگیزه‌های فتوسنتزی اختلاف آماری معنی‌داری در دو محیط تنش و طبیعی نشان دادند (جدول ۴). این نتایج علاوه بر این که تفاوت ژنتیکی ژنوتیپ‌ها را در هر یک از محیط‌های آزمایش نشان می‌دهد، بیانگر اختلاف بین ژنوتیپ‌ها در دو محیط با آبیاری طبیعی و تنش است.

سازگار شده با نور (Fm')، فلئورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با نور (Fo')، عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو ($\Phi PSII$)، سرعت انتقال الکترون (ETR)، خاموشی فتوشیمیایی کلروفیل برانگیخته (qp)، خاموشی غیرفتوشیمیایی کلروفیل برانگیخته (NPQ) و تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) با استفاده از دستگاه فلئورسانس متر مدل PAM 2500 برای همه تیمارها در دو شرایط طبیعی و تنش اندازه‌گیری و ثبت گردید (۱۴). برای اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها در برگ، ۱۵ روز پس از اعمال تنش خشکی از آخرین برگ توسعه یافته تعداد ۶ دیسک برگ، هر یک به مساحت یک سانتی‌متر تهیه و در ۸ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد غوطه‌ور گردید و به مدت ۲۴ ساعت در شرایط تاریکی و دمای معمولی اتاق قرار گرفت. سپس فالكون‌های حاوی محلول متانول و رنگیزه‌های کلروفیل به خوبی تکان داده و مقدار ۳/۵ میلی‌لیتر از محلول فوق در کوت‌های شیشه‌ای قرار داده شد. قبل از شروع کار، دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل SPEKOL 1300) با متانول خالص در مقابل منبع نوری خوانده و سپس نمونه‌های تهیه شده در طول موج‌های ۶۶۵/۲، ۶۵۲/۴ و ۴۷۰ نانومتر برای همه تیمارها قرائت گردید. پس از تهیه داده‌ها مقادیر کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها بر حسب میکروگرم در میلی‌لیتر محاسبه شد (۲۵).

جدول ۱- نام و منشأ ژنوتیپ‌های مورد استفاده در آزمایش.

Table 1. Name and origin of the genotypes used in the experiment.

منشأ	ژنوتیپ	شماره	منشأ	ژنوتیپ	شماره	منشأ	ژنوتیپ	شماره	منشأ	ژنوتیپ	شماره
Origin	Genotype	Number	Origin	Genotype	Number	Origin	Genotype	Number	Origin	Genotype	Number
ایری	IR74719-23-3-2-2	43	ایری	IR81025-B-327-3	29	گیلان	دمسیه	15	مازندران	طارم محلی	1
IRRI			IRRI			Gilan	Domsia		Maz	TaromMohali	
ایری	IR64	44	ایری	IR79907-B-493-3-1	30	گیلان	خزر	16	مازندران	طارم دیلمانی	2
IRRI			IRRI			Gilan	Khazar		Maz	TaromDilamani	
ایری	OMCS2009	45	ایری	IR79971-B-204-1-4	31	گیلان	حسنی	17	مازندران	نعمت	3
IRRI			IRRI			Gilan	Hasani		Maz	Nemat	
اصفهان	سازندگی	46	ایری	IR79971-B-201-2-3	32	گیلان	درفک	18	مازندران	ندا	4
Esf	Sazandgi		IRRI			Gilan	Dorfac		Maz	Neda	
اصفهان	زاینده‌رود	47	ایری*	IR84179-B-403	33	گیلان	کادوس	19	مازندران	فجر	5
Esf	Zayanderoud		IRRI			Gilan	Kadous		Maz	Fajar	
اصفهان	فیروزان	48	ایری	IR81063-B-94-U3-2	34	گیلان	گوهر	20	مازندران	شفق	6
Esf	Firouzan		IRRI			Gilan	Gohar		Maz	Shafagh	
فارس	دروذن	49	ایری*	IRS14m3-sat	35	خوزستان	چمپا	21	مازندران	ساحل	7
Fars	Dorouzan		IRRI			Kho	Champa		Maz	Sahel	
فارس	لاین	50	ایری	IR8S6- sat	36	خوزستان	حمر	22	مازندران	شیرودی	8
Fars	G28 (Line)		IRRI			Kho	Hamar		Maz	Shirodi	
فارس	لاین	51	ایری	IR8S3- Sat	37	خوزستان	هوریزه	23	مازندران	تابش	9
Fars	G3 (Line)		IRRI			Kho	Hovize		Maz	Tabesh	
فارس	لاین ۴	52	ایری	IR75479-199-3-3	38	خوزستان	گرده رامهرمز	24	مازندران	پویا	10
Fars	Line 4		IRRI			Kho	GerdeRamhormoz		Maz	Poya	
ایری	IR74482-135-2-3	53	ایری	IR70422-95-1-1	39	خوزستان	عبوری قرمز	25	مازندران	کشوری	11
IRRI			IRRI			Kho	Anborigermez		Maz	Keshvari	
ایری	IR75481-104-2-3	54	ایری	IR72860-109-2-3-2	40	ایری*	VANDANA	26	مازندران	کوهسار	12
IRRI			IRRI			IRRI			Maz	Kohsar	
ایری	IR75482-149-1-1	55	ایری	PR4092-412-120-15	41	ایری	IR-78908-193-B-3-B	27	گیلان	بینام	13
IRRI			IRRI			IRRI			Gilan	Binam	
ایری	IR70416-53-2-2	56	ایری	IR2574-643-1-2	42	ایری	IR81429-B-3-31	28	گیلان	طارم هاشمی	14
IRRI			IRRI			IRRI			Gilan	Tarom Hashemi	

*ایری: مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (IRRI:International Ricer Research Institute). Esf = Esfahan, Kho = Khozestan, Maz = mazadaran, IRI = International Ricer Research Institute

جدول ۲ - تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه برای ژنوتیپ‌های مختلف برنج در مرحله گیاهچه (شرایط طبیعی).

Table 2. Analysis of variance for studied triats of rice genotypes at seedling stage (Normal condition).

وزن ریشه	وزن خشک	محتوی آب نسبی برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	کلروفیل a/b	کلروفیلها carotenoids	Fv/Fm'	Fv/Fm	ETR	NPQ	ΦPSII	Par	درجه آزادی Df	صفات Trait منابع تغییر S.O.V
R/S	TDW	RWC	chlorophyll a	Chlorophyll b	chlorophyll a+b	chlorophyll a/b	carotenoids	Fv/Fm'	Fv/Fm	ETR	NPQ	ΦPSII	Par	Df	Trait
0.006*	2.6	0.12	0.0008	0.002	0.0004	0.004	0.00005	0.00002	0.00001	0.05	0.0001	0.3	0.03	1	تکرار Rep
0.3**	574.1**	669.4**	0.6**	0.32**	1.24**	0.79**	0.06**	0.004**	0.008**	12.2**	0.51**	0.004**	145.9**	55	ژنوتیپ Genotype
0.0009	1.8	3.8	0.006	0.002	0.01	0.002	0.0002	0.0002	0.0004	0.06	0.001	0.0003	0.8	55	خطا Error
4.9	2.7	3	3	3	2.5	2.8	2.6	2.8	4.6	3.1	2.9	3	3	3	ضریب تغییرات CV

* and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه برای ژنوتیپ‌های مختلف برنج در مرحله گیاهچه (شرایط تنش).
Table 3. Analysis of variance for studied triats of rice genotypes at seedling stage (stress condition).

وزن ریشه به اندام هوایی R/S weight	وزن خشک کل TDW	محتوی آب نسبی برگ RWC	کلروفیل a chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a+b chlorophyll a+b	کلروفیل a/b chlorophyll a/b	کاروتنوئیدها carotenoids	Fv'/Fm' Fv'/Fm'	Fv/Fm Fv/Fm	ETR ETR	NPQ NPQ	ΦPSII ΦPSII	PAR PAR	درجه آزادی Df	صفات Trait منابع تغییر S.O.V
0.000005	0.02	0.1	0.001	0.002	0.03	0.002	0.00005	0.00002	0.0001	0.008	0.0002	0.00001	0.87	1	تکرار Rep
3**	817.6**	756.5**	0.85**	0.32**	1.7**	0.19**	0.06**	0.002**	0.007**	14.4**	0.2**	0.003**	187.5**	55	ژنوتیپ Genotype
0.0002	2.34	3.1	0.006	0.002	0.01	0.002	0.0002	0.0003	0.0004	0.06	0.001	0.0003	0.8	55	خطا Error
4.4	2.9	2.2	3	3	2.5	2.8	2.6	3	4.6	3.1	2.9	3	3		ضریب تغییرات CV



* and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۴- تجزیه مرکب اثر متقابل دو محیط تنش و طبیعی برای صفات مربوط به مؤلفه‌های کلروفیل.

Table 4. Combined analysis of the intraction between normal and stress for traits related to chlorophyll parameters.																		
وزن خشک کل	وزن ریشه به اندام هوایی	محتوی آب نسبی برگ RWC	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	کلروفیل a/b	کلروفیل chlorophyll a/b	کلروفیل chlorophyll a+b	کلروفیل chlorophyll a/b	کاروتنوئیدها carotenoids	Fv/Fm'	Fv/Fm	ETR	NPQ	ΦPSII	PAR	درجه آزادی Df	صفات Trait منابع تغییر S.O.V
TDW	R/S																	محیط Place
709.7**	5**	10719.8**	0.2**	5.4**	7.2**	17.2**	0.007**	0.02**	0.0003 ^{ns}	890.2**	3.1**	0.02**	8184.6**	1				تکرار (محیط) Rep(Place)
1.3	0.003**	0.1	0.001	0.001	0.01	0.003	0.00008	0.00002	0.00006	0.03	0.0002	0.00002	0.4	2				ژنوتیپ Genotype
818.8**	0.2**	401.3**	0.8**	0.8**	1.5**	0.47**	0.06**	0.004**	0.0008**	10.1**	0.4**	0.004**	132.7**	55				ژنوتیپ در محیط Gen*Place
572.9**	0.14**	535.8**	0.67**	0.2**	1.4**	0.51**	0.05**	0.003**	0.0007**	16.5**	0.3**	0.003**	200.7**	55				خطا Error
2.2	0.0005	3.5	0.005	0.001	0.01	0.004	0.00002	0.0002	0.0003	0.09	0.002	0.0002	1.2	110				ضریب تغییرات C.V
2.8	5	2.5	2.8	2.9	2.7	2.8	2.5	2.9	2.6	3	2.9	2.9	3					سطح تنش
Intracation of Slice: Sum of Square in Normal and Stress for trait																		
392**	0.05**	267**	0.6**	0.18**	1.2**	0.79**	0.05**	0.0004**	0.0008**	12.2**	0.51**	0.004**	145.9**	55				Normal
275**	0.3**	669**	0.8**	0.22**	1.7**	0.2**	0.06**	0.0004**	0.0008**	14.4**	0.2**	0.003**	187.5**	55				Stress

* و ** بدترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

۲۶، ۲۷، ۲۸، ۳۰، ۳۲، ۳۳، ۳۸، ۴۰، و ۴۴) در شرایط تنش (جدول ۶) بیش‌تر از میانگین ۵۶ ژنوتیپ در شرایط طبیعی با ۰/۵۳ میکروگرم بر میلی‌لیتر بود. نتایج همبستگی صفات مورد مطالعه نشان می‌دهد که همبستگی بین کلروفیل a با b و کاروتنوئید با کلروفیل a و b مثبت و معنی‌دار به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۷۳، ۰/۸۵ و ۰/۳۸ درصد بوده است (جدول ۷). با توجه به اثر معنی‌دار این صفات در بین ژنوتیپ‌ها در دو شرایط طبیعی و تنش با اطمینان ۹۹ درصد (جدول ۴) و نتایج مقایسه میانگین ۵۶ ژنوتیپ در دو شرایط طبیعی و تنش (جدول ۵) و بر اساس مقدار این صفات در بین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش (جدول ۶) و بر اساس نتایج همبستگی مثبت و معنی‌دار بین این صفات، ژنوتیپ‌های فوق دارای تحمل بیش‌تری نسبت به تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای برنج بوده و از این صفات می‌توان به‌عنوان یکی از معیارهای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده نمود. نتایج فوق با نتایج حاصل از پژوهش میسورا و همکاران (۲۰۱۴) که بیان نمودند، تنش خشکی باعث افزایش در کلروفیل a شد مطابقت داشت (۱۸). نتایج پژوهش‌های جلیل و همکاران (۲۰۰۹) هم‌چنین نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش مقدار کلروفیل b شد (۱۶). اما فاروق و همکاران (۲۰۰۹) بیان نمودند که تنش آب باعث کاهش وزن خشک، وزن تازه برگ و اندام هوایی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها گردید (۹). نتایج متفاوت دانشمندان شاید به نوع رقم مورد مطالعه، میزان تحمل ژنوتیپ‌ها، شدت تنش خشکی و یا مرحله اعمال تنش خشکی مرتبط باشد. در مطالعه انجام شده توسط عثمان و همکاران (۲۰۱۳) بیان شد که در تیمار ۲۵ درصد تنش خشکی مقدار کاروتنوئیدهای برنج بیش‌تر از تیمار شاهد و تنش‌های ۵۰ و ۷۵ درصد، کلروفیل a دارای کم‌ترین مقدار و کلروفیل b دارای بیش‌ترین مقدار بوده است (۳۰).

مقایسه میانگین صفات (جدول ۵) بیانگر آن است که مقدار کلروفیل a برابر ۲/۵۹ و ۲/۶۵، کلروفیل b برابر ۱/۱ و ۱/۴ و کاروتنوئیدها برابر ۰/۵۳ و ۰/۵۱ میکروگرم در میلی‌لیتر به ترتیب در شرایط طبیعی و تنش بودند و در دو گروه مجزا قرار گرفتند. این نتایج نشان می‌دهد که مقادیر کلروفیل a و کلروفیل b در شرایط تنش بیش‌تر از شرایط طبیعی و مقدار کاروتنوئیدها در شرایط طبیعی بیش‌تر از تنش بوده است. علت افزایش کلروفیل a و b به احتمال زیاد به کاهش سطح برگ گیاهچه‌ها در شرایط تنش (داده‌ها منتشر نشد) و کاهش کاروتنوئیدها با کند شدن چرخه زانتوفیل مرتبط می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش (جدول ۶) نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌ها به شماره‌های ۳، ۵، ۹، ۱۱، ۱۳، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۳۰، ۳۲، ۳۴، ۳۹، ۴۰ و ۴۴ (نعمت، فجر، تابش، بینام، کوهسار، طارم هاشمی، دمسیاه، حسنی، درفک، کادوس، گوهر، چمپا، حمر، هویزه، گرده رامهرمز، عنبری قرمز، IR81429-B-3-31، IR-78908-193-B-3-B (IR72860-109-2-3-2 و IR79907-B-493-3-1) مقدار کلروفیل a آن‌ها بیش‌تر از میانگین ۵۶ ژنوتیپ در شرایط تنش (۲/۶۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر) بود. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها هم‌چنین نشان داد که ژنوتیپ‌ها به شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۵، ۲۷، ۲۸، ۳۰، ۳۴، ۳۹، ۴۰، ۴۴، ۴۵، ۴۶ و ۵۲ (طارم محلی، طارم دیلمانی، نعمت، ندا، فجر، ساحل، تابش، کشوری، بینام، طارم هاشمی، IR79907-B-493-3-1، IR72860-109-2-3-2 و برخی ژنوتیپ‌های دیگر) (جدول ۶) از مقدار کلروفیل b بیش‌تری نسبت به میانگین ۵۶ ژنوتیپ در شرایط تنش با ۱/۴ میکروگرم بر میلی‌لیتر (جدول ۵) برخوردار بودند. مقدار کاروتنوئیدها در برخی ژنوتیپ‌ها (شماره ۳، ۵، ۶، ۹، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۴، ۲۵،

جدول ۵- مقایسه میانگین شرایط طبیعی و تنش برای صفات مرتبط با مؤلفه‌های کلروفیل.

Table 5. Comparison of mean traits related to chlorophyll parameters in normal and stress condition ($P \leq 0.01$).

وزن ریشه به اندام هوایی R/S	وزن خشک کل TDW (mg/p)	مقدار آب نسبی برگ (درصد) RWC (%)	کلروفیل			کلروفیل کلروفیل			Fv'/Fm'	Fv/Fm	ETR	NPQ	ΦPSII	PAR	صفات Trait محیط آزمایش Place
			کلروفیل chlorophyll a	کلروفیل Chlorophyll b	کلروفیل chlorophyll a+b	کلروفیل chlorophyll a/b	کلروفیل chlorophyll a/b	کلروفیل chlorophyll a/b							
میکروگرم بر میلی‌لیتر															
μmole/m ² *s															
0.32 ^b	53.1 ^a	80.1 ^a	2.5 ^b	1.1 ^b	3.7 ^b	2.5 ^a	0.53 ^a	0.526 ^b	0.73 ^a	12.3 ^a	1.5 ^a	0.52 ^b	42 ^a	نرمال Normal	
0.6 ^a	49.6 ^b	66.2 ^b	2.6 ^a	1.4 ^a	4.1 ^a	1.9 ^b	0.51 ^b	0.544 ^a	0.73 ^a	8.2 ^b	1.3 ^b	0.54 ^a	29.9 ^b	تنش Stress	

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند ($P \leq 0.01$).

Numbers followed by the same are not significant ($P \leq 0.01$).

جدول ۱- مقایسه میانگین شریط تنش برای صفات مرتبط با مؤلفه‌های کلروفیل.

Table 6. Comparison of mean traits related to chlorophyll parameters in stress condition ($P \leq 0.01$).

وزن خشک کل (mg/P)	وزن ریشه به اندام هوایی (درصد) (R/S)	مقدار آب نسبی برگ (درصد) (RWC(%))	کاروتنوئیدها (microgram/liter)	کلروفیل a+b (microgram/liter)		کلروفیل a (microgram/liter)		Fv/Fm'	Fv/Fm	ΦPSII	NPQ	ETR	PAR	صفات ژنوتیپ (Genotype)	شماره (Number)
				chlorophyll a/b	chlorophyll a+b	chlorophyll a	chlorophyll b								
67.6 ^{ef}	0.77 ^f	81.8 ^{ch}	2.6 ^{mmo}	1.8 ^{dde}	4.4 ^{ljj}	0.45 ^{tr}	0.536 ^{fdi}	0.71 ^{bed}	0.54 ^{em}	0.96 ^{za}	4.1 ^r	14.8 ^{uv}	14.8 ^{uv}	طارم محلی (TaromMohali)	1
58.7 ^{gh}	0.61 ^{ke}	86.2 ^{bc}	2.4 ^{orr}	1.8 ^d	4.4 ^{ljj}	0.3 ^f	0.520 ^{hig}	0.72 ^{bed}	0.52 ^{io}	1.4 ^{jk}	4 ^f	14.3 ^{uv}	14.3 ^{uv}	طارم دیلمانی (TaromDilamani)	2
43 ^{rs}	0.66 ^{fi}	81.8 ^{ch}	3 ^{ek}	1.6 ⁱⁿ	4.5 ^{ljj}	0.57 ^{lm}	0.578 ^{eg}	0.69 ^d	0.6 nd	0.67 ^{ec}	3.1 ^s	0.2 ^w	0.2 ^w	نعمت (Nemat)	3
59.5 ^{hi}	0.4 ^{pt}	92.7 ^a	2.5 ^{pq}	1.5 ^{mo}	3.9 ^{ljd}	1.6 ^{vy}	0.42 ^{sz}	0.74 ^{qad}	0.58 ^{af}	0.86 ^{ab}	3.9 ^f	12.8 ^v	12.8 ^v	نبا (Neda)	4
74.9 ^{bc}	0.7 ^{ef}	63.4 ^{mp}	3.6 ^{ed}	1.7 ^{hh}	5.4 ^{ld}	1.9 ^{br}	0.93 ^a	0.573 ^{eg}	0.55 ^{bm}	1.2 ^{qt}	4 ^f	13.9 ^{uv}	13.9 ^{uv}	فجر (Fajar)	5
58.4 ^{hi}	0.57 ⁿ	73.8 ^{im}	2.6 ^{mmo}	1.3 ^{su}	3.8 ^{lm}	2 ^{fm}	0.57 ^{lm}	0.748 nd	0.6 ^{abc}	0.97 ^{za}	4 ^f	12.7 ^v	12.7 ^v	شفق (Shaifagh)	6
60.8 ^{gh}	0.53 ^o	58.2 ^{pq}	2.5 ^{mp}	1.4 ^{np}	4 ^{kl}	1.9 ^{br}	0.46 ^{sw}	0.562 ^{nh}	0.58 ^{eg}	0.96 ^{za}	4 ^f	14.3 ^{uv}	14.3 ^{uv}	ساحل (Sahel)	7
44.4 ^{pr}	0.58 ^m	51.6 ^{qr}	1.9 ^{vz}	1.2 ^{vw}	3.1 ^{rs}	1.8 ^{tu}	0.3 ^f	0.612 ^a	0.62 ^a	0.83 ^{db}	4.1 ^r	14.8 ^{uv}	14.8 ^{uv}	شیرودی (Shirodi)	8
68 ^{ef}	0.59 ^m	56.9 ^{pq}	3.4 ^{de}	1.7 ^{hh}	5.1 ^{de}	1.9 ^{br}	0.68 ^{gh}	0.732 ^{bed}	0.54 ^{en}	1.3 ^{mrt}	4.9 ^f	15.5 ^{tu}	15.5 ^{tu}	تابش (Tabesh)	9
56.2 ^{aj}	0.54 ^o	52.7 ^{qr}	2.2 ^{sw}	1.3 ^{su}	3.4 ^{pq}	1.9 ^{br}	0.43 ^{vy}	0.723 ^{bed}	0.52 ^{io}	1.2 ^{qs}	9.2 ^s	29.9 ^{lo}	29.9 ^{lo}	پویا (Poya)	10
41.8 ^{rs}	0.45 ^{ps}	75.6 ^{il}	2.8 ^{lm}	1.6 ⁱⁿ	4.4 ^{ljj}	1.7 ^{cu}	0.51 ^{mq}	0.578 ^{eg}	0.59 ^{pe}	0.87 ^{ab}	9.2 ^{jk}	31 ^{ko}	31 ^{ko}	کشوری (Kashvari)	11
74.3 ^{bed}	0.45 ^{sw}	85.6 ^{ef}	3.9 ^{ab}	1.7 ^{ee}	5.5 ^{bc}	2.4 ^{bc}	0.89 ^b	0.532 ^{zj}	0.51 ^{io}	1.6 ^{gh}	9.8 ^{ijk}	35.7 ^f	35.7 ^f	کوهسار (Kohsar)	12
42 ^{rs}	0.3 ^{su}	66.5 ^{mmo}	3 ^{ek}	1.4 ^{np}	4.5 ^{ljj}	2 ^{kl}	0.63 ^{jk}	0.583 ^{pe}	0.56 ^{bl}	1.2 ^z	10 ^{ghl}	34 ^{zj}	34 ^{zj}	بینام (Binam)	13
16.7 ^r	0.39 ^s	72.7 ^{jk}	2.7 ^{mn}	1.4 ^{np}	3.9 ^l	1.9 ^{br}	0.56 ^{mm}	0.562 ^{nh}	0.58 ^{ch}	1.2 ^{qt}	9.7 ^{hig}	33.6 ^{fj}	33.6 ^{fj}	طارم هاشمی (Tarom Hashemi)	14
35.7 ^{tu}	0.13 ^{im}	42.8 st	3 ^{kl}	1.5 ^{mp}	4.4 ^{ljj}	2 ^{kl}	0.62 ^{jk}	0.545 ^{sh}	0.54 ^{em}	1.3 ^{mrt}	9.8 ^{hig}	31.3 ^{fm}	31.3 ^{fm}	دمسیه (Domsia)	15
68.3 ^{ef}	0.58 ^o	42.3 st	2.3 ^{pu}	1.2 ^{vw}	3.5 ^{lq}	1.9 ^{io}	0.43 ^{vx}	0.582 ^{pe}	0.58 ^{eg}	1.1 ^{kw}	9.1 ^{jk}	32.5 ^{hl}	32.5 ^{hl}	خزر (Khazar)	16
45 ^{pr}	0.48 ^{op}	66.9 ^{mmo}	3.5 ^d	1.6 ^{ik}	5.3 ^{ce}	2 ^{sk}	0.71 ^f	0.529 ^{fj}	0.54 ^{em}	1.3 ^{kop}	9.7 ^{hij}	32.5 ^{hl}	32.5 ^{hl}	حسنی (Hasani)	17
26.5 ^{xw}	0.58 ^m	35.2 ^u	3.5 ^d	1.8 ^{fg}	5.2 ^{ce}	1.97 ^{so}	0.63 ^{jk}	0.546 ^{sh}	0.54 ^{em}	1 ^{vz}	9.2 ^{ijk}	35 ^{fg}	35 ^{fg}	درفک (Dorfac)	18
45 ^{pr}	0.64 ^{fj}	61.5 ^{qp}	3.8 ^b	1.9 ^{bc}	5.7 ^{ab}	1.98 ^{so}	0.7 ^{fg}	0.464 ^{kl}	0.46 ^{pq}	2 ^c	6.9 ^o	46.5 ^a	46.5 ^a	کادوس (Kadous)	19
52 ^{kl}	0.4 ^{pt}	64.1 ^{mp}	4 ^a	1.8 ^{de}	5.8 ^a	2.1 ^{fl}	0.77 ^{de}	0.530 ^{zj}	0.56 ^{bl}	1.1 ^{vz}	9.1 ^{jk}	29.4 ^{lo}	29.4 ^{lo}	گوهر (Gohar)	20
22 ^y	0.3 ^w	47.6 ^{qr}	3.1 ^{ek}	1.9 ^{cd}	5 ^{ef}	1.5 ^{vw}	0.53 ^{mp}	0.484 ^{fl}	0.48 ^{mq}	1.8 ^{de}	10.6 ^{ef}	44.5 ^{ab}	44.5 ^{ab}	چمپا (Champa)	21
64.6 ^f	0.81 ^{ef}	68.8 ^{so}	3.1 ^{ghl}	2.4 ^a	5.3 ^{cd}	1.3 ^{bc}	0.38 ^z	0.546 ^{sh}	0.55 ^{em}	1.2 ^{qt}	12.3 ^{bc}	40 ^{de}	40 ^{de}	حمر (Hamar)	22
39.6 ^g	0.51 ^{mo}	77.6 ^{ek}	3.4 ^{def}	1.7 ^{hh}	5.4 ^{cd}	1.9 ^{io}	0.87 ^b	0.560 ^{sh}	0.55 ^{bm}	1.3 ^{kp}	23.2 ^a	44 ^{abc}	44 ^{abc}	هویزه (Hovize)	23
32.9 ^{ov}	0.64 ^{fj}	78.1 ^{fk}	3.2 ^{efg}	1.3 ^{cu}	4.4 ^{ljj}	2.4 ^b	0.65 ^{fg}	0.516 ^{lig}	0.52 ^{eo}	1.9 ^d	13 ^{ab}	41.8 ^{cd}	41.8 ^{cd}	گرده رامهرمز (GerdeRamhormoz)	24
71.4 ^{dde}	0.38 ^{ou}	88.1 ^{ad}	3.4 ^{de}	1.6 ⁱⁿ	5.1 ^{de}	2.2 ^{fg}	0.58 ^{gh}	0.533 ^{zj}	0.51 ^{ko}	1.4 ^{kl}	11.1 ^{dde}	45.8 ^{ab}	45.8 ^{ab}	عنبروی قرمز (Anborigermez)	25

ادامه جدول 6-
Continue Table 6.

وزن خشک کل TDW (mg/P)	وزن ریشه به اندام هوایی R/S	مقدار آب نسبی برگ (درصد) RWC(%)	کارتونوئیدها carotenoids	کلروفیل a/b		کلروفیل a/b		کلروفیل a/b		Fv/Fm'	Fv/Fm	ΦPSII	NPQ	ETR	PAR	صفات Trait ژنوتیپ Genotype	شماره Number
				کلروفیل chlorophyll a/b	کلروفیل chlorophyll a	کلروفیل chlorophyll a/b	کلروفیل chlorophyll a	کلروفیل chlorophyll a/b	کلروفیل chlorophyll a								
34.7 ^{bc}	0.51 ^{bc}	56.9 ^{bc}	3.4 ^{de}	1.3 ^{bc}	2.7 ^a	0.59 ^{abc}	0.71 ^{bed}	1.5 ^z	4.9 ^h	18.2 ^o	VANDANA	26					
78.2 ^{ab}	0.53 ^{bc}	35.9 ^{cd}	2.9 ^{de}	1.4 ^{bc}	2.1 ^{de}	0.59 ^{abc}	0.75 ^{3cd}	1.5 ^z	8.2 ^{lm}	28.4 ^{np}	IR-78908-193-B-3-B	27					
35.7 ^{bc}	0.6 ^{bc}	62.1 ^{ab}	3.2 ^{gh}	1.6 ^{bc}	4.9 ^g	0.67 ^{ghi}	0.71 ^{5bcd}	1.5 ^z	5.9 ^o	24.3 ^{qr}	IR81429-B-3-31	28					
27.6 ^{cd}	0.67 ^{bc}	43 st	2.1 ^{ux}	0.92 ^{za}	2.3 ^{de}	0.54 ^{4bc}	0.72 ^{8bcd}	1.2 ^{yz}	6.1 ^p	32.6 ^{rs}	IR81025-B-327-3	29					
81.4 ^a	0.36 ^{cd}	67 ^{mno}	2.8 ^{klm}	1.4 ^{bc}	1.9 ^o	0.56 ^{cm}	0.721 ^{bcd}	1.1 ^{sw}	9.2 ^{ijk}	30.5 ^{so}	IR79907-B-493-3-1	30					
44.9 ^{abc}	1.1 ¹	41 ^{lmn}	2.4 st	1.1 ^{vy}	2.1 ^{de}	0.5 ^{ps}	0.741 ^{cd}	1.5 ^z	5 ^l	16.9 ^q	IR79971-B-204-1-4	31					
28.2 ^{cd}	0.92 ^e	90.6 ^{ab}	2.6 ^{mno}	1.2 ^w	2.2 ^{de}	0.77 ^{de}	0.588 ^{cd}	0.6 ^{ab}	6.9 ^r	29.1 ^{mnp}	IR79971-B-201-2-3	32					
25.2 ^{cd}	2.2 ^a	89.7 ^{abc}	2.9 ^{kl}	1.2 ^w	2.4 ^b	0.64 ^{ij}	0.577 ^{abc}	1.3 ^{6m}	7.1 ^o	24.2 ^{qr}	IR84179-B-403	33					
17.7 ^e	0.6 ^{bc}	79.2 ^{cd}	2.8 ^{kl}	2 ^b	4.8 ^{fg}	0.33 ^{cd}	0.77 ^{ab}	1.4 ^{fm}	9.8 ^{hij}	32.7 ^{rst}	IR81063-B-94-U3-2	34					
54.5 ^{bc}	0.39 ^{bc}	35 ^u	2.6 ^{mno}	1.3 ^{vt}	3.9 ¹	0.5 ^q	0.749 ^{cd}	0.54 ^{cm}	1.1 ^{ex}	18.2 ^o	IRS14m3-sat	35					
49.3 ^{bc}	0.34 ^{uv}	61.9 ^{nop}	1.9 ^z	1.1 ^{vy}	3 ^s	0.36 ^{ce}	0.488 ^{cd}	1.7 ^{df}	8.9 ^{kl}	31.8 ^{lm}	IR8856-sat	36					
40.1 ^s	0.58 ^{ab}	61.4 ^{nop}	1.6 ^{za}	0.76 ^{gh}	2.4 ^w	0.36 ^c	0.526 ^{ef}	1.4 ^{fm}	10.3 ^{gh}	32.1 ^h	IR8853-Sat	37					
39 ^t	1.7 ^b	77.5 ^{abc}	2.1 ^{ux}	1 ^{yz}	3 ^t	1.98 ^{bc}	0.561 ^{bc}	1.4 ^{fm}	9.8 ^{hij}	34.8 ^{gh}	IR75479-199-3-3	38					
25.8 ^{cd}	2.2 ^a	80.8 ^{cd}	2.8 ^{kl}	1.6 ¹	4.5 ^{hij}	0.55 ^{mno}	0.560 ^{bc}	1.2 ^{yz}	6.9 ^r	23.9 ^r	IR70422-95-1-1	39					
44.8 ^{abc}	0.88 ^d	52.3 ^{qr}	3.8 ^{bc}	1.7 ^{ef}	5.5 ^{bc}	0.77 ^{de}	0.532 ^{ef}	1.4 ^{kl}	7.1 ^o	25.6 ^r	IR72860-109-2-3-2	40					
57.7 ^{hig}	0.51 ^{mno}	53.8 ^{qr}	2.1 ^{ux}	1.2 ^w	1.6 ^{rs}	0.36 ^{ce}	0.581 ^{ef}	1.2 ^{yz}	10.9 ^{df}	38.8 ^s	PR4092-412-120-15	41					
29.4 ^{vm}	0.92 ^d	83.7 ^{bc}	1.8 ^{za}	0.94 ^{za}	2.8 ^{lm}	0.36 ^{ce}	0.449 ¹	0.44 ¹	9.7 ^{hig}	34.9 ^{hig}	IR2574-643-1-2	42					
70.8 ^{de}	0.72 ^{ef}	20.7 ^v	1.8 ^z	1.05 ^{wz}	2.9 ^{lm}	0.37 ^d	0.748 ^{cd}	0.52 ^{ko}	7 ^o	26.6 ^{lm}	IR74719-23-3-2-2	43					
65.9 ^{ef}	0.4 ^{rs}	43 st	3 ^{kl}	1.6 ^{lm}	4.6 ^{gh}	0.6 ^{kl}	0.549 ^{bc}	1.3 ^t	9.8 ^{hig}	34.5 ^t	IR64	44					
48 ^{mp}	0.3 ^{uvw}	38.9 ^u	2.1 ^{ux}	1.7 ^{ef}	3.7 ^{op}	0.2 ^g	0.465 ^{kl}	0.45 ¹	7.2 ^{no}	24.3 ^{qr}	OMCS2009	45					
47.4 ^{nop}	0.47 ^{opq}	69.4 ^{lmn}	1.8 ^r	1.5 ^{bc}	3.4 ^{opq}	0.13 ^{gh}	0.527 ^{ef}	1.4 ^{fm}	11.6 ^{cd}	40.2 ^{de}	سازندگی (Sazandgi)	46					
50.7 ^{bcn}	0.46 ^{op}	50.6 ^{qr}	2 ^{vy}	1 ^y	2.9 st	0.39 ^{na}	0.548 ^{bc}	1.5 ^z	12.7 ^{ab}	44.1 ^{abc}	زایندورود (Zayanderoud)	47					
76.2 ^b	0.65 ^{ef}	56.4 ^{pq}	2.1 ^{uv}	1.2 ^{tu}	3.4 ^{op}	0.38 ^r	0.484 ^{kl}	1.7 ^g	10 ^{gh}	32.6 ^{rst}	فیروزان (Firuzan)	48					
74.7 ^{bc}	0.65 ^{ef}	87.7 ^{cd}	1.4 ^z	0.91 ^z	2.3 ^w	0.24 ^{fr}	0.515 ^{hig}	1.3 ^{lm}	7.9 ^{mm}	43.9 ^{bc}	دروزدن (Doroudzan)	49					
52.4 ^{kl}	0.38 ^{qu}	79.5 ^{cd}	1.7 ^r	0.97 ^z	2.6 ^{uv}	0.31 ^z	0.538 ^{kl}	1.2 ^{tu}	11 ^{edd}	36.1 ^r	G28 (Line)	50					
41 ^{rs}	0.25 ^w	89.2 ^{abc}	1.7 ^r	0.94 ^z	2.7 ^{tu}	0.34 ^{ce}	0.552 ^{bc}	1.1 ^{uv}	9.7 ^{hij}	34.6 ^{gh}	G3 (Line)	51					
51.6 ^{klm}	0.46 ^{qr}	86.7 ^{cd}	2.2 ^{uv}	1.6 ^{lm}	3.8 ^{lmn}	0.32 ^{ef}	0.551 ^{ch}	1.3 ^{lm}	10.3 ^{gh}	32.1 ^h	لاین 4 (Line 4)	52					
72.2 ^{cd}	0.68 ^{bc}	82.3 ^{bc}	2.4 ^{op}	1.1 ^{wx}	3.4 ^{opq}	0.47 ^{tu}	0.733 ^{cd}	1.6 ^{hi}	8.2 ^{lm}	34.1 ^{cd}	IR74482-135-2-3	53					
46.7 ^{nop}	0.58 ^{lm}	85.9 ^{cd}	2.5 ^{opq}	1.2 ^{vw}	3.7 ^{op}	0.51 ^{oq}	0.593 ^{abc}	1.1 ^{sw}	9.8 ^{hig}	34.3 ^{cd}	IR75481-104-2-3	54					
61.7 ^{gh}	0.41 ^{rst}	71.6 ^{cd}	2.2 ^{uv}	1.2 ^{vw}	3.5 ^{opq}	0.46 ^{sv}	0.544 ^{bc}	1.3 ^{tu}	8 ^m	28.6 ^{op}	IR75482-149-1-1	55					
32.4 ^{uv}	0.23 ^w	93.2 ^a	2.3 ^{qu}	1.1 ^{vw}	3.5 ^{lmn}	0.48 st	0.535 ^{ef}	1.3 ^{tu}	12 ^e	39.7 ^e	IR70416-53-2-2	56					

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی دار نمی باشند. (P≤0.01).

Significantly different (P≤0.01) In each column, numbers followed by the same letters are not.

جدول ۷- همبستگی ساده پیرسون صفات مرتبط با مؤلفه‌های کلروفیل در شرایط تنش خشکی مرحله گیاهچهای برنج.

Table 7. Pearson simple correlation of traits related to chlorophyll parameters under drought stress in rice seedling stage.													
وزن خشک کل TDW	وزن ریشه به اندام هوایی R/S	محتوی نسبی آب برگ RWC	Fv/Fm	ETR	NPQ	ΦPSII	PAR	کلروفیل a chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a+b chlorophyll a+b	کلروفیل a/b chlorophyll a/b	کاروتنوئیدها carotenoids	کاروتنوئیدها
1	-0.25*	-0.13 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	0.15 ^{ns}	-0.19 ^{ns}	0.008 ^{ns}	-0.19 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.1 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	0.1 ^{ns}	0.1 ^{ns}
1	0.19 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.1 ^{ns}	-0.2 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.08 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.006 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.01 ^{ns}
1	0.18 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.29*	0.29*	0.11 ^{ns}	0.47**	-0.09 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.1 ^{ns}	-0.1 ^{ns}
1	0.11 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.29*	0.29*	0.11 ^{ns}	0.47**	-0.08 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	-0.06 ^{ns}
1	0.04	0.04	0.04	-0.44**	1	1	-0.44**	0.04 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.17 ^{ns}
1	-0.04 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	1	1	1	1	-0.04 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	-0.06 ^{ns}
1	0.73***	0.73***	0.73***	1	1	1	1	0.73***	0.97***	0.97***	0.39**	0.85***	0.85***
1	0.88***	0.88***	0.88***	1	1	1	1	0.88***	0.88***	0.88***	-0.31*	0.35**	0.35**
1	-0.16 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	1	1	1	1	-0.16 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	0.72***	0.72***
1	0.7***	0.7***	0.7***	1	1	1	1	0.7***	0.7***	0.7***	0.7***	0.7***	0.7***
1	0.72***	0.72***	0.72***	1	1	1	1	0.72***	0.72***	0.72***	0.72***	0.72***	0.72***

* **, *** and ^{ns} significant at 5%, 1%, 0.1% probability levels and not significant, respectively.
 و به ترتیب معنی دار در سطح ۰،۱، ۱، ۵ درصد و بدون اختلاف معنی دار.

(گرده رامهرمز)، ۲۵ (عنبروری قرمز)، ۲۶ (Vandana)، ۲۷ (IR-78908-193-B-3-B)، ۲۸ (IR81429-B-3-31)، ۳۰ (IR72860-109-2-3-2)، ۴۰ (IR79907-B-493-3-1) مرتبط بود. نتایج همبستگی صفات مورد بررسی (جدول ۷) نشان داد که مجموع کلروفیل $a+b$ با کلروفیل‌های a و b همبستگی مثبت و معنی‌دار و نسبت کلروفیل a به b (a/b) با کلروفیل a همبستگی مثبت و معنی‌دار و با کلروفیل b همبستگی منفی و معنی‌دار داشته است. حسنی و همکاران (۲۰۱۳) بین وزن تازه اندام هوایی و سطح برگ و هم‌چنین مقدار کاروتنوئید با کلروفیل a/b همبستگی مثبت و معنی‌دار و ارتباط خطی بین کلروفیل b ، کلروفیل $a+b$ و بین کلروفیل a و b را در درجه حرارت پائین گیاهچه‌های برنج مشاهده کردند (۱۳).

پارامترهای حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II
در شرایط سازگار شده به تاریکی (Fv/Fm) و عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده به روشنایی ($\Phi PSII$): نتایج تجزیه واریانس صفات فوق در شرایط آبیاری طبیعی (جدول ۲) و تنش خشکی (جدول ۳) نشان می‌دهد که میان ژنوتیپ‌ها از نظر مقدار Fv/Fm و $\Phi PSII$ اختلاف آماری معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد. اما نتایج تجزیه مرکب صفات فوق در دو محیط طبیعی و تنش (جدول ۴) بیانگر این است که اثر محیط بر مقدار Fv/Fm از نظر آماری معنی‌دار نبوده ولی بر مقدار $\Phi PSII$ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بر هر دو صفت مورد بررسی تفاوت آماری معنی‌داری داشته است. نسبت فلئورسانس متغیر به حداکثر فلئورسانس (Fv/Fm) نشان‌دهنده پتانسیل یا بیشینه عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II می‌باشد و مقدار آن برای گیاهانی که در شرایط تنش قرار ندارند در دامنه‌ای بین ۰/۶۵ تا ۰/۸۵ می‌باشد. چنان‌چه گیاهان در شرایط

مجموع و نسبت کلروفیل a و b : نتایج تجزیه واریانس مجموع و نسبت کلروفیل a و b در شرایط طبیعی (جدول ۲) و تنش (جدول ۳) نشان داد که میان ژنوتیپ‌ها از نظر مجموع کلروفیل a و b ($a+b$) و نسبت کلروفیل a به b (a/b) اختلاف آماری معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد. تجزیه مرکب این صفات در دو محیط طبیعی و تنش (جدول ۴) بیانگر این بود که اثر محیط آزمایش و هم‌چنین اثر متقابل ژنوتیپ و محیط از نظر آماری معنی‌دار است. مقایسه میانگین صفات فوق برای ۵۶ ژنوتیپ مورد بررسی (جدول ۵) بیانگر این است که مقدار کلروفیل $a+b$ برابر ۳/۷ و ۴/۱ و نسبت کلروفیل a به b برابر ۲/۵ و ۱/۹ میکروگرم بر میلی‌لیتر به ترتیب در شرایط طبیعی و تنش می‌باشد. این نتایج نشان داد که تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای برنج باعث افزایش مقادیر کلروفیل a و b شد. اما با توجه به کاهش نسبت کلروفیل a به b در شرایط تنش می‌توان نتیجه گرفت که مقدار افزایش کلروفیل b بیش‌تر از کلروفیل a در تنش خشکی بوده است. فاروق و همکاران (۲۰۰۹) وانجوم و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که خشکی در گونه‌های مختلف گیاهی می‌تواند نسبت کلروفیل a/b و مقدار کاروتنوئید را تغییر دهد (۹ و ۱). افزایش کلروفیل b منجر به کاهش در نسبت کلروفیل a/b در تنش خشکی می‌شود (۱۸). تاز و زایگر (۱۹۹۱) بیان نمودند که کاهش مقدار کلروفیل با کاهش جریان نیتروژن به داخل بافت‌ها همانند تغییر در فعالیت سیستم‌های آنزیمی نیترات ریداکتاز مرتبط می‌باشد (۲۹). نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در تنش خشکی (جدول ۶) نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار کلروفیل $a+b$ و a/b به ژنوتیپ‌های شماره ۳ (نعمت)، ۵ (فجر)، ۹ (تابش)، ۱۲ (کوهسار)، ۱۳ (طارم هاشمی)، ۱۵ (دمسیاه)، ۱۷ (حسنی)، ۱۸ (درفک)، ۱۹ (کادوس)، ۲۰ (گوهر)، ۲۳ (هویزه)، ۲۴

صفات (جدول ۷) نشان داد که صفت Fv/Fm با $\Phi PSII$ همبستگی مثبت و معنی‌دار ($r=0/29$) و با مقدار کلروفیل b همبستگی منفی و معنی‌دار ($r=0/25$) در سطح آماری پنج درصد داشته است. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب (جدول ۴) در ارتباط با معنی‌دار نبودن صفت Fv/Fm و معنی‌دار بودن $\Phi PSII$ در دو شرایط طبیعی و تنش، استفاده از صفت Fv/Fm جهت انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی برنج در این مرحله از رشد که شاید به‌خاطر طول دوره رشد کوتاه این مرحله باشد مناسب نیست و احتمالاً در مراحل رشد رویشی یا زایشی این نتیجه متفاوت باشد. اما نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که از صفت $\Phi PSII$ می‌توان به‌عنوان یک مؤلفه مطلوب در جداسازی ارقام متحمل به خشکی استفاده نمود.

خاموشی غیرفتوشیمیایی الکترون (NPQ)، سرعت انتقال الکترون (ETR) و تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR): نتایج تجزیه واریانس صفات ETR ، NPQ و PAR در شرایط آبیاری طبیعی (جدول ۲) و تنش خشکی (جدول ۳) نشان داد که میان ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط طبیعی و تنش اختلاف آماری در سطح یک درصد وجود دارد. نتایج تجزیه مرکب صفات فوق (جدول ۴) در دو محیط آزمایشی بیانگر این است که اثر محیط و اثر متقابل محیط و ژنوتیپ بر مقادیر این صفات تفاوت آماری معنی‌داری داشته‌اند. برش‌دهی مقایسات میانگین ژنوتیپ‌ها در هر سطح تنش نشان داد که تمام صفات مورد مطالعه اختلاف آماری معنی‌داری در دو محیط تنش و طبیعی نشان دادند (جدول ۴). مقایسه میانگین ۵۶ ژنوتیپ (جدول ۵) برای خاموشی غیرفتوشیمیایی الکترون (NPQ) برابر $1/5$ و $1/3$ ، سرعت انتقال الکترون (ETR) برابر $12/3$ و $8/3$ میکرومول الکترون بر مترمربع در ثانیه و برای

تنش خشکی، شوری، گرما و تشعشع زیاد قرار گیرند مقدار آن کم‌تر خواهد شد (۳۴). مقایسه میانگین ۵۶ ژنوتیپ نشان داد که Fv/Fm با مقدار $0/73$ در هر دو شرایط نرمال و تنش در یک گروه آماری قرار گرفتند اما عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار با نور ($\Phi PSII$) با $0/52$ و $0/54$ در دو گروه آماری به‌ترتیب در شرایط طبیعی و تنش قرار گرفتند (جدول ۵). این نتایج بیانگر این است که کارایی کوانتومی زنجیره انتقال الکترون در فتوسیستم II با حضور نورکافی در شرایط تنش خشکی بیش‌تر از شرایط طبیعی می‌باشد. افزایش $\Phi PSII$ به احتمال زیاد به‌خاطر کاهش مقدار تشعشع فعال فتوسنتزی در شرایط تنش (جدول ۵) و وجود تعداد قابل‌توجه ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با حفظ تولید ماده خشک (جدول ۶) در مقایسه با شرایط طبیعی (داده‌ها نشان نشان داده نشد) می‌باشد. نتایج فوق با نتایج پیردستی و همکاران (۲۰۰۹) که بیان نمودند تنش خشکی در ارقام برنج باعث تغییر در مؤلفه‌های کلروفیل به‌جز Fv/Fm شده مطابقت دارد. در شرایط آبیاری کامل اختلاف آماری معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های جو در مقدار Fo/Fm و Fv/Fm مشاهده نشد اما در شرایط تنش خشکی مقادیر این صفات برای همه ژنوتیپ‌های متحمل، این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبوده است (۲۶). مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش (جدول ۶) نشان می‌دهد که مقدار Fv/Fm از حداقل $0/69$ در ژنوتیپ شماره ۳ (رقم نعمت) تا حداکثر $0/768$ در شماره ۳۳ (IR84179-B-403) که یک لاین هوازی و متحمل به خشکی ارسالی از ایری می‌باشد، متغیر بوده است. نتایج جدول ۶ هم‌چنین نشان داد که بیش‌ترین مقدار $\Phi PSII$ به تعدادی از ژنوتیپ‌ها (شماره‌های ۳، ۴، ۷، ۸، ۱۴، ۱۶، ۲۶، ۲۷، ۵۱، ۵۴ و ۵۵) با تغییرات $0/57$ تا $0/60$ اختصاص دارد. نتایج همبستگی ساده بین

۲۳/۲، ۱۳، ۱۱/۶، ۱۲/۷ و ۱۲) و کم‌ترین مقدار به ژنوتیپ‌های ۱ الی ۹ از ۳/۱ الی ۴/۹ میکرومول الکترون بر مترمربع در ثانیه تعلق داشت (جدول ۶). هم‌زمان با کاهش Fv/Fm سرعت انتقال الکترون (ETR) در طی دوره تنش خشکی تحت تأثیر قرار گرفته و میزان کاهش آن به ترتیب در طی ۱۴ و ۲۸ روز تنش خشکی در همه واریته‌های برنج بیش‌تر شده است (۸). نتایج مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌ها (جدول ۶) در شرایط تنش نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار PAR به ژنوتیپ‌های ۱۹، ۲۱، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۴۷ و ۴۹ با نوسان ۴۱/۸ تا ۴۶/۵ و کم‌ترین مقدار به شماره‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ به ترتیب با مقدار ۱۴/۸، ۱۴/۳، ۱۰/۲، ۱۲/۸، ۱۳/۹، ۱۲/۷، ۱۴/۳، ۱۴/۸ و ۱۵/۵ اختصاص داشت. نتایج همبستگی صفات در شرایط تنش خشکی بیانگر این است که خاموشی غیر فتوشیمیایی الکترون (NPQ) با سرعت انتقال الکترون (ETR) و تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۳۶ و ۰/۴۷ همبستگی مثبت و معنی‌دار و NPQ با عملکرد کوآنزیمی فتوسیستم II (ΦPSII) همبستگی منفی و معنی‌دار با ضریب همبستگی ۰/۹۱ داشته است. این نتایج بیانگر این است که با ایجاد تنش خشکی مقدار زیادی از نور خورشید که در زنجیره انتقال الکترون مورد استفاده قرار نمی‌گیرد به صورت اتلاف حرارتی یا خاموشی غیر فتوشیمیایی الکترون خارج می‌شود اما عملکرد کوآنزیمی فتوسیستم II در شرایط سازگار با نور به علت افزایش بهره‌وری از تشعشع و کاهش اتلاف حرارتی از همبستگی منفی با NPQ برخوردار است. نتایج پژوهش حسینی و همکاران (۲۰۰۷) بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را بین ΦPSII و ETR که بیانگر نوعی سازوکار تحمل به تنش اکسیداتیو (تنش ثانویه) ناشی از تنش سرما (تنش اولیه) در ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود نشان داده

تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) برابر ۴۲ و ۲۹/۹ به ترتیب در شرایط طبیعی و تنش بوده و در دو گروه آماری قرار گرفتند. این نتایج بیانگر این است که اگرچه میزان نور خورشید در هر دو شرایط طبیعی و تنش یکسان بود اما میزان نوری که در چرخه تولید مواد فتوسنتزی مورد استفاده قرار می‌گیرد (PAR) در تنش خشکی کم‌تر از شرایط طبیعی است. تنش خشکی باعث کاهش صفات فوق در مقایسه با شرایط آبیاری طبیعی شد. میزان انتقال الکترون (ETR) و qP با افزایش تنش کمبود آب و بسته شدن روزنه‌ها کاهش می‌یابند زیرا چرخه احیای نوری مخزن الکترون (فتوسیستم) از کارایی کم‌تری نسبت به احیای CO₂ برخوردار بوده و در نتیجه بخش بیش‌تری از انرژی نورانی وارد شده به صورت اتلاف حرارتی یا qN نمایان می‌گردد (۱۴). مقایسات میانگین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش (جدول ۶) نشانگر این است که ژنوتیپ‌های شماره ۱۹، ۴۲ و ۴۵ به ترتیب با مقدار ۲، ۲/۳ و ۲/۱ بیش‌ترین و شماره‌های ۳، ۴ و ۸ به ترتیب با ۰/۶۷، ۰/۸۶ و ۰/۸۳ کم‌ترین مقدار NPQ را به خود اختصاص دادند.

خاموشی غیر فتوشیمیایی الکترون: در واقع شاخص مربوط به هدررفت گرمایی است و گستره معمول آن برای گیاه بین ۰/۵ تا ۳/۵ می‌باشد، افزایش این پارامتر بیانگر ظرفیت بالای چرخه گزانتوفیل و توانایی گیاه در دفع تنش از طریق هدر دادن انرژی به صورت گرما می‌باشد (۶ و ۲). بنابراین ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش خشکی مقادیر بالاتری از صفت NPQ را داشته باشند بیانگر تلفات بیش‌تر تشعشع جذب شده به صورت اتلاف حرارتی از مولکول‌ها و کلروفیل‌های آنتن در فتوسیستم II طی چرخه زانتوفیل بوده و از این طریق تحمل خود را به تنش خشکی نشان می‌دهند. بیش‌ترین مقدار ETR به تعدادی از ژنوتیپ‌ها (به شماره‌های ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۴۶، ۴۷ و ۵۶ با مقادیر ۱۲/۳،

است (۱۴). فلئورسانس کلروفیل این امکان را فراهم می‌نماید تا سطوح عملکردی مختلف فتوسنتز به‌طور مستقیم (مراحل در سطح پیگمانت) مانند واکنش‌های اولیه نور، واکنش انتقال الکترون تیلاکوئید، واکنش تاریکی آنزیمی استروما را مطالعه شود. بنابراین تعیین مقدار کلروفیل و مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل مانند F_v/F_m و F_v/F_o ، F_o به‌عنوان یک روش مهم برای ارزیابی سلامت یا درستی دستگاه‌های داخلی در طول مراحل فتوسنتزی در داخل یک برگ شناخته شده است (۳). بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی رنگیزه‌های کلروفیل و مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل در دو محیط طبیعی و تنش در مرحله گیاهچه ژنوتیپ‌های ایرانی و خارجی، می‌توان نتیجه گرفت بین رنگیزه‌های کلروفیل به‌صورت مستقل همبستگی مثبت و معنی‌دار و بین مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل نیز همبستگی معنی‌داری (مثبت / منفی) وجود دارد. بنابراین بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان از رنگیزه‌های کلروفیل a ، b و کاروتنوئیدها و مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل به‌ویژه $\Phi PSII$ و ETR به‌عنوان معیارهای ارزیابی برنج در مرحله گیاهچه جهت انتخاب و غربالگری ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی استفاده کرد.

وزن خشک کل بوته و نسبت وزن ریشه به اندام هوایی: نتایج تجزیه مرکب (جدول ۴) نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل آن بر وزن خشک کل بوته و نسبت ریشه به اندام هوایی از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در دو شرایط طبیعی و تنش به‌ترتیب مقدار $53/1$ و $49/6$ میلی‌گرم را برای وزن خشک کل بوته و $0/32$ و $0/62$ را برای نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی نشان می‌دهد (جدول ۵). این نتایج بیانگر این است که وزن خشک کل بوته و اندام هوایی در تنش خشکی در مقایسه با شرایط طبیعی کاهش یافته

اما نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی بیش‌تر شد که بیانگر افزایش وزن خشک ریشه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در تنش خشکی می‌باشد و به همین خاطر اختلاف کاهش وزن کل بوته در شرایط تنش و طبیعی کم‌تر از وزن خشک اندام هوایی بوته‌ها می‌باشد. در این ارتباط یوشیدا و هاسی‌گاوا (۱۹۸۲) نسبت وزن ریشه به اندام هوایی را به‌عنوان یک شاخص برای مقاومت به خشکی با توانایی استخراج بیش‌تر آب از عمق زیاد خاک پیشنهاد نمودند (۳۲). بیش‌ترین وزن خشک ریشه به اندام هوایی (جدول ۶) به ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۱۹، ۲۲، ۲۹، ۳۲، ۳۳، ۳۸، ۳۹، ۴۰، ۴۲، ۴۳، ۴۸، ۴۹ و ۵۲ با نسبت بیش‌تر از میانگین ۵۶ ژنوتیپ (جدول ۵) در شرایط تنش تعلق داشت. در بین این ژنوتیپ‌ها دو ژنوتیپ ۳۳ و ۴۳ از لاین‌های هوازی ارسالی از ایری دارای دو برابر وزن خشک ریشه نسبت به اندام هوایی بودند (جدول ۶). بر اساس نتایج این آزمایش، لاین‌های فوق در این مرحله از ارزیابی متحمل به تنش خشکی بوده و از این ژنوتیپ‌ها می‌توان برای ارزیابی مقاومت به خشکی در مراحل بعدی رشد استفاده کرد. افزایش ماده خشک در این لاین‌ها به احتمال زیاد به‌خاطر حفظ پتانسیل اسمزی، جلوگیری از پسابیدگی سلول و انتقال مواد محلول به اندام‌های هوایی می‌باشد. در این ارتباط چوآتوردی و همکاران (۱۹۹۶) بیان داشتند که تحت شرایط تنش، کربوهیدرات‌ها به‌طور نسبی در وارته‌های متحمل نسبت به ژنوتیپ‌های حساس سریع‌تر منتقل می‌شوند و سطح بیش‌تر فعالیت‌های قند محلول به‌عنوان یک عامل اسمزی در حفظ بیش‌تر سطح برگ و وزن خشک موثر می‌باشد.

محتوی نسبی آب برگ (RWC): نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵) نشان داد که محتوی نسبی آب برگ در دو شرایط طبیعی و تنش در مرحله گیاهچه به‌ترتیب برابر $80/1$ و $62/2$ درصد بوده است. با توجه

مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی داشته‌اند. نتایج حاصل از همبستگی صفات (جدول ۷) بیانگر این است که بین گروه‌های مختلف صفات مورد بررسی مانند مؤلفه‌های فلئورسانس، رنگیزه‌های کلروفیل، وزن خشک بوته و محتوی نسبی آب برگ همبستگی معنی‌داری وجود نداشت اما بین صفات در هر گروه همبستگی معنی‌دار مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه که از مناطق مختلف ایران و جهان انتخاب شدند واکنش‌های متفاوتی در ارزیابی با صفات فلئورومتري از خود نشان داده‌اند. مقادیر برخی از صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش خشکی کاهش و برخی از صفات افزایش یافت. این نتایج بیانگر آن است که ژنوتیپ‌های برنج، عکس‌العمل متفاوتی در واکنش به صفات مورد بررسی در دو شرایط تنش و طبیعی در مرحله گیاهچه‌ای نشان داده و بر اساس ارزیابی رنگیزه‌های کلروفیل a، b، کاروتنوئیدها و مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل به‌ویژه $\Phi PSII$ و ETR و همچنین وزن خشک بوته و محتوی نسبی آب برگ، تعدادی از ژنوتیپ‌های برنج متحمل به تنش خشکی انتخاب گردیدند. با ادامه فعالیت‌های تکمیلی در مراحل رویشی، زایشی و رسیدگی تعدادی از این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان ارقام متحمل به خشکی جهت مقابله با کم‌آبی و افزایش بهره‌وری آب معرفی خواهند شد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مدیریت و تکنسین‌های بخش اصلاح و تهیه بذر معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور (آمل) که در انجام این پژوهش مساعدت لازم را داشتند، تقدیر و تشکر می‌شود.

به تفاوت زیاد در دو محیط تنش و بدون تنش این صفت می‌تواند یکی از معیارهای مناسب برای غربال‌گری و انتخاب ارقام متحمل به خشکی در مرحله گیاهچه برنج طی تنش خشکی مورد توجه قرار گیرد. در شرایط تنش (جدول ۶) برخی از ژنوتیپ‌ها (شماره‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۱۲، ۲۵، ۳۲، ۳۳، ۳۹، ۴۲، ۴۹، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵۴ و ۵۶) دارای RWC بیش‌تر از ۸۰ درصد و بالاتر از میانگین ۵۶ ژنوتیپ در شرایط طبیعی (جدول ۵) بودند. بنابراین می‌توان آن‌ها را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در مرحله گیاهچه‌ای برنج از نظر RWC انتخاب کرد. با توجه به این‌که میانگین محتوی نسبی آب برای ۵۶ ژنوتیپ در شرایط تنش ۶۶/۲ درصد بود، بنابراین ژنوتیپ‌هایی که RWC بیش‌تر از ۶۶/۲ و کم‌تر از ۸۰ درصد را به خود اختصاص دادند می‌توان به ژنوتیپ‌های نیمه‌متحمل و ژنوتیپ‌هایی که مقدار RWC آن کم‌تر از ۶۶/۲ درصد باشد، به ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای برنج تقسیم‌بندی کرد (جدول ۶). در همین ارتباط چانگ و همکاران (۱۹۷۹) بیان داشتند که خشکی در مرحله گیاهچه‌ای به‌طور معمول با پتانسیل آب برگ مرتبط است و لاین‌هایی که پتانسیل آب برگ بالاتری داشتند، سبزینه‌گی برگ را حفظ نموده و از این‌رو نمره پائین خشکی می‌گیرند (۴). با توجه به نتایج به‌دست آمده و بر اساس ارتباط نزدیک محتوی نسبی آب برگ با افزایش تحمل به خشکی در گیاهان، می‌توان این صفت را به‌عنوان یکی از شاخص‌ها در غربال‌گری ژنوتیپ‌های برنج پیشنهاد کرد. ژنوتیپ‌های شماره ۱ (طارم محلی)، ۲ (طارم دیلمانی)، ۳ (نعمت)، ۴ (ندا) و ۱۲ (کوهسار) از مازندران، ۲۵ (عنبری قرمز) از خوزستان، و شماره‌های ۳۲، ۳۳، ۳۹، ۴۲، ۵۳، ۵۴ و ۵۶ از لاین‌های ارسالی از مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (ایری) و شماره‌های ۴۹ (درودزن)، ۵۱ (لاین G3) و ۵۲ (لاین ۴) از استان فارس RWC بالایی را در شرایط تنش خشکی در

منابع

1. Anjum, F., Yaseen, M., Rasul, E., Wahid, A. and Anjum, S. 2003. Water stress in barley (*Hordeum vulgare* L.) effect on chemical composition and chlorophyll contents. Pak. J. Agric. Res. 40: 45-49.
2. Baker, N.R. and Rosenqvist, E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. J. Exp. Bot. 55: 403. 1607-1621.
3. Clark, A.J., Landolt, W., Bucher, J.B. and Strasser, R.J. 2000. Beech (*Fagus sylvatica*) response to ozone exposure assessed with a chlorophyll fluorescence performance index. Environ. Pollut. (Oxford, U.K.). 109: 501-507.
4. Chang, T.T., Somrith, B. and O'Toole, J.C. 1979. Potential for improving drought resistance in rainfed lowland rice. Pages 149-164 In: Rainfed Lowland Rice: Selected papers from the 1978. International Rice Research Conference. IRRI. Los Banos. Philippines.
5. Chatuverdi, G.S., Ram, P.C., Singh, A.K., Ram, P., Ingram, K.T., Singh, B.B., Singh, R.K. and Singh, V.P. 1996. Physiology of Stress Tolerance in Rice. Proceedings of the International Conference on Stress Physiology of Rice. 28 Feb. 5 March 1994. Lucknow. U.P. India. 252p.
6. Chaves, M., Flaxas, J. and Pinheiro, C. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress regulation mechanism from whole plant to cell. Ann. Bot. (Oxford, U. K.). 103: 551-556.
7. Efisue, A.A. 2006. Studies of drought tolerance in interspecific progenies of *Oryza glaberrima* (Steud) and *O. Sativa* (L.) and an appraisal of the use of male gametocides in rice hybridization PhD thesis, University of Kwazulu-Natal, South Africa.
8. Faralonia, C., Cutinob, I., Petruccelli, B.R., Levab, A.R., Lazzarib, S. and Torzillo, G. 2011. Chlorophyll fluorescence technique as a rapid tool for in vitro screening of olive cultivars (*Olea europaea* L.) tolerant to drought stress. Environ. Exp. Bot. 73: 49-56.
9. Farooq, M.A., Wahid, N., Kobayashi, D., Fujita and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects mechanisms and management. Agron. Sust. Dev. 29: 185-212.
10. Flexas, J., Escalona, J.M. and Medrano, H. 1998. Down-regulation of photosynthesis by drought under field conditions in grapevine leaves. Aust. J. Plant Physiol. 25: 893-900.
11. Fransis, D. and Piekielek, D. 2000. Assessing crop nitrogen needs with chlorophyll meters. The Site- Specific Management Guidelines Series is published by the Potash and Phosphate Institute (PPI). Coordinated by South Dakota State University (SDSU). 237p.
12. Hakam, P., Khanizadeh, S., DeEll, J.R. and Richer, C. 2000. Assessing chilling tolerance in roses using chlorophyll fluorescence. Hortsci.. 35: 2. 184-186.
13. Hasani, Z., Pirdashti, H., Yaghoobian, Y. and Nouri, M.Z. 2013. Comparative effects of cold air and cold water stress on chlorophyll parameters in rice (*Oryza sativa* L.). Int. J. Biol. Allied Sci. 2013 IJFAS J. -2-2: 918-921.
14. Hassibi, P., Moradi, F. and Nabipour, M. 2007. Screening of rice genotypes for low temperature stress- using chlorophyll fluorescence. Iran. J. Crop Sci. 9: 1. 14-3. (In Persian).
15. Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J. and Pinter, P.J. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. J. Agric. Water Resour. Res. Plant Prod. 17: 1133-1138.
16. Jaleel, J.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Jasim al-Juburi, H., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. Int. J. Agric. Biol. 11: 100-105.
17. Kaiser, W.M. 1987. Effect of water deficit on photosynthetic capacity. Exp. Plant. Physiol. 7: 142-149.
18. Kautsky, H. and Hirsch, A. 1931. Neuever such ezurkohl enfaure assimilation. Atmos. Environ. Res., [Ext. Lect. Workshop]. pp. 919-964.

19. Maisura, Chozin, M.A., Lubis, I., Junaedi, A. and Ehara, H. 2014. Some physiological character responses of rice under drought condition a paddy system. *J. Gen. Physiol.* 20: 1. 104-114.
20. Maxwell, K. and Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence- a practical guide. *J. Exp. Bot.* reference Parameter. *Ann. Bot. (Oxford, U. K.)*. 89: 895-905.
21. Medrano, H., Escalona, J.M., Bota, J., Gulias, J. and Flexas, J. 2002. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. *Ann. Bot. (Oxford, U.K.)*. 89: 895-905.
22. Muhammad, N., Birgit, M., Thomas, G., Reich, E., Krzysztof, W. and Angela, S. 2014. Increased drought stress resilience of maize through endophytic colonization by *Burkholderia phytofirmans*. *PsJN and Enterobacter sp. FD17. Environ. Exp. Bot.* 97: 30-39.
23. Oukarron, A., Schansker, G. and Strasser, R.J. 2009. Drought stress effects on photosystem I content and photosystem II thermotolerance analyzed using chl *a* fluorescence kinetics in barley varieties different in their drought tolerance. *J. Plant Physiol.* 137: 188-199.
24. Pirdashti, H., Tahmasebi Sarvestani, Z. and Bahmanyar, M.A. 2009. Comparison of physiological responses among four contrast rice cultivars under drought stress conditions. *World Academy Sci. Eng. Technol.* 49: 51-53.
25. Porra, R.J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynth. Pigm.* 73: 149-156.
26. Rong-Hua, L.I., Pei-Pol, G., Michae, B., Stefania, G. and Salvatore, C. 2006. Evaluation of Chlorophyll Content and Fluorescence Parameters as Indicators of Drought Tolerance in Barley. *Agric. Sci. China.* 5: 10. 751-757.
27. Sheiber, V. and Schliwa, V.B.W. 1986. Continuous recording of photochemical and non- Photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorimeter. *Photosynth. Res.* 10: 51-62.
28. Strasser, R.J., Srivastava, A. and Tsimilli-Michael, M. 2004. Analysis of the: chlorophyll a fluorescence transient. In: Papageorgiou, G, Govindjee (Eds). *Advances in photosynthesis and Respiration chlorophyll fluorescence a signature of photosynthesis*, Vol. 19. kluwer Academic publishers, The Netherlands, pp. 321-362.
29. Taiz, L. and Zeiger, E. 1991. *Plant physiology*. The Benjamin Cummings Pub. Co. Inc. California. 782p.
30. Usman, M., Raheem, Z.F., Ahsan, T., Iqbal, A., Sarfaraz, Z.N. and Haq, Z. 2013. Morphological, Physiological and biochemical attributes as indicators for drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) *Eur. J. Biol. Sci.* 5: 1. 23-28.
31. Woo, N.S., Badger, M.R. and Pogson, B.J. 2008. A rapid, non-invasive procedure for quantitative assessment of drought survival using chlorophyll fluorescence. *Plant Methods*. pp. 4-27.
32. Yoshida, S. and Hasegawa, S. 1982. The rice root system: its development and function. P 97-114 In: *Drought resistance in crops with emphasis on rice*. IRRI, Los Banos, Laguna, Philippines.
33. Zhang, K., Fang, Z., Liang, Y. and Tian, J. 2009. Genetic dissection of chlorophyll content at different growth Stages in common wheat. *J. Genet.* 88: 2. 183-190.
34. 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.

