



## تأثیر کمبود آب بر محتوای نسبی آب برگ، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و عملکرد دانه چهار رقم لوبیا چیتی

\*سمیه سهیلی موحد<sup>۱</sup>، محمدعلی اسماعیلی<sup>۲</sup>، فرهاد جباری<sup>۳</sup>، سرور خرم‌دل<sup>۴</sup> و عقیل فولادی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه محقق اردبیلی، <sup>۲</sup>دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، <sup>۳</sup>استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه زنجان، <sup>۴</sup>دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه فردوسی مشهد، <sup>۵</sup>دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اردبیل  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۴

### چکیده

**سابقه و هدف:** لوبیا چیتی گیاهی حساس به تنش خشکی است، در عین حال در این گیاه از لحاظ مقاومت به خشکی، تنوع ژنتیکی مشاهده می‌شود. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر تنش خشکی بر محتوای نسبی آب برگ، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و عملکرد دانه ارقام لوبیا چیتی (*vulgaris* L.) *(Phaseolus)* کشت شده در استان زنجان اجرا گردید.

**مواد و روش‌ها:** این پژوهش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان انجام شد. سطوح آبیاری شامل شاهد و تنش خشکی در کرت‌های اصلی و ارقام لوبیاچیتی شامل محلی خمین، صدری، Ks21193 و Ks21189 در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. در این آزمایش محتوای نسبی آب برگ، فلورسانس کمینه، فلورسانس بیشینه، فلورسانس متغیر، عملکرد کوانتومی فتوسینتیم II و عملکرد دانه اندازه‌گیری شدند.

\*مسئول مکاتبه: [Somayyeh\\_soheili@yahoo.com](mailto:Somayyeh_soheili@yahoo.com)

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج به دست آمده اثر تنش خشکی در تمام صفات به جز فلورسانس بیشینه و برهم‌کنش تنش خشکی در رقم برای تمام صفات به جز فلورسانس کمینه و فلورسانس بیشینه معنی‌دار بود. در این آزمایش مشاهده شد که میزان محتوای نسبی آب برگ، فلورسانس متغیر، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II و عملکرد دانه در ارقام در شرایط تنش خشکی به طور معنی‌داری کمتر از شاهد بود. محدودیت آبی عملکرد کوانتومی فتوسیستم II را به دلیل افزایش F0 (فلورسانس حداقل یا کمینه در شرایط سازگار شده با تاریکی) و کاهش Fm (فلورسانس حداکثر یا بیشینه در شرایط سازگار شده با تاریکی) کاهش داد. نتایج به دست آمده نشان داد که رقم Ks21189 از بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۷۴/۲۴ درصد)، فلورسانس متغیر (۲۰۴۶) و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (۰/۷۰) در شرایط تنش خشکی برخوردار بود. در ضمن میزان کاهش محتوای نسبی آب برگ و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در رقم Ks21189 در شرایط تنش خشکی نسبت به شاهد کمتر بود. همین رقم حداکثر عملکرد دانه (۷۴۱/۶ کیلوگرم در هکتار) را در شرایط تنش داشت. این مسئله نشان‌دهنده مقاومت رقم Ks21189 به تنش خشکی و تحریک این رقم به افت کمتر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط محدودیت آب می‌باشد. کمترین محتوای نسبی آب (۵۱/۸ درصد)، فلورسانس متغیر (۱۲۴۵/۵)، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (۰/۶۳) و عملکرد دانه (۵۰۳/۱ کیلوگرم در هکتار) در کرت‌هایی برآورد گردید که رقم صدری تحت شرایط تنش رطوبتی به کار برده شد. ژنوتیپ صدری با کاهش عملکرد ۸۰/۱۸ درصد حساس‌ترین ژنوتیپ به کمبود آب بود.

**نتیجه‌گیری:** بررسی ضرایب همبستگی، نشان‌گر همبستگی مثبت و معنی‌دار، محتوای نسبی آب برگ، فلورسانس بیشینه، فلورسانس متغیر و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II با عملکرد دانه می‌باشد. لذا چنین به نظر می‌رسد ارقامی که بتوانند در شرایط تنش خشکی پایداری محتوای نسبی آب برگ و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II را حفظ کنند، به دلیل برخورداری از سرعت فتوسنتز بالاتر، از عملکرد دانه بیشتری برخوردار خواهند بود.

**واژه‌های کلیدی:** تنش خشکی، فلورسانس متغیر، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، Ks21189

## مقدمه

تنش‌های محیطی باعث بروز دامنه وسیعی از واکنش‌ها در گیاهان از تغییر بیان ژن و متابولیسم سلول تا تغییر در سرعت رشد و عملکرد محصولات می‌شوند (۳۸). تنش خشکی بیش از هر عامل محیطی دیگری رشد گیاهان را محدود می‌کند (۴۵) و وقتی حادث می‌شود که خروج آب از گیاه به واسطه فرایند تعرق بیشتر از جذب آن از طریق ریشه باشد (۱۹). بنابراین تنش خشکی در حال و آینده مهم‌ترین چالش پیش روی تولید محصولات کشاورزی به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه خواهد بود (۱۳).

حدود ۴۶ درصد تولید لوبیا در کشورهای در حال توسعه، تحت شرایط تنش خشکی صورت می‌گیرد (۴۹). در ایران نیز به‌عنوان یکی از کشورهای در حال توسعه با آب و هوای خشک و نیمه‌خشک، این گیاه بعد از نخود و عدس بیشترین سطح زیر کشت را به‌خود اختصاص داده است. به‌همین دلیل شناسایی روش‌های بهبود عملکرد این گیاه و بهره‌گیری از عوامل تولید با توجه به قرارگیری کشور در این شرایط، در کنار انتخاب رقم مناسب اهمیت زیادی دارد (۲۳). استان زنجان به‌دلیل دارا بودن زمین‌های مسطح و حاصلخیز، مناسب کاشت گیاهان زراعی و به‌ویژه لگوم‌ها است. در این استان، در برخی سال‌ها به‌دلیل عدم دسترسی به آب کافی و یا همزمانی رشد لوبیا با گیاهان زراعی دیگر و یا محصولات جالیزی، این گیاه در طول دوره رشد و به‌خصوص در مرحله گلدهی با کمبود آب مواجه می‌گردد.

لوبیا چیتی گیاهی حساس به تنش خشکی است. این گیاه به شرایط آب و خاک و کیفیت آن بسیار حساس است و عملکرد آن حتی در دوره‌های کوتاه مدت تنش خشکی کاهش می‌یابد (۲۶). تنش خشکی متوسط تا شدید می‌تواند بیوماس، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در غلاف، شاخص برداشت، عملکرد و وزن دانه لوبیا را کاهش دهد (۳۶).

محتوی نسبی آب برگ<sup>۱</sup> (RWC) یکی از پارامترهای فیزیولوژیکی مهم است که همبستگی خوبی با مقاومت به خشکی نشان می‌دهد (۱۱). در لوبیا ژنوتیپ‌هایی با محتوی نسبی آب بالا، عملکرد دانه بیشتری دارند و از طریق حفظ توازن آب در برگ‌ها تنش خشکی را بهتر تحمل می‌کنند (۹). بالا بودن محتوی نسبی آب برگ، در ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی می‌تواند به‌خاطر وجود سازوکارهای کاهش

دهنده تلفات آب از راه روزنه‌ها و یا به واسطه جذب بیشتر آب از طریق توسعه سیستم ریشه‌ای باشد (۳۹). هنگامی که آب به میزان کافی وجود داشته باشد و ریشه‌ها نیز آب را جذب کنند، محتوای نسبی آب بین ۸۵ تا ۹۵ درصد متغیر است، اما هنگامی که گیاه در شرایط تنش خشکی قرار می‌گیرد و با کمبود آب مواجه می‌شود، محتوای آب نسبی تا حدود ۵۰ درصد و یا پایین‌تر، بسته به نوع گونه گیاه و بافت مورد نظر، کاهش می‌یابد (۴۷).

یکی از روش‌های تعیین اختلال در سیستم فتوسنتزی، اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل است که بازتاب وضعیت فتوشیمیایی گیاه می‌باشد (۲۹). مقدار فلورسانس کلروفیل، سالم بودن غشای تیلاکوئید و کارآمدی نسبی انتقال الکترون را از فتوسیستم II به فتوسیستم I نشان می‌دهد. بخش عمده‌ای از انرژی نورانی خورشید که به وسیله برگ دریافت می‌شود، صرف فرایندهای بیوشیمیایی می‌شود؛ اما ممکن است بخش کوچکی از نور دریافت شده به صورت گرما و یا مجدداً از مراکز واکنش در طول موج بلندتری بازتاب کند که به آن فلورسانس کلروفیل می‌گویند (۴۶). اگر بیشتر انرژی مولکول برانگیخته به صورت انرژی گرمایی یا فلورسانس ساطع شود، انرژی برای واکنش‌های فتوشیمیایی کمتر می‌شود. در نتیجه تولید و ذخیره فرآورده‌های انتقال الکترون یعنی NADPH و ATP در واکنش‌های نوری فتوسنتز کاهش و لذا عملکرد کوانتومی فتوسیستم II کاهش پیدا می‌کند (۱۴). صمیمی سده و همکاران (۴۲) با بررسی روی گندم نشان دادند که هرچه فلورسانس کلروفیل لاین‌های گندم کمتر باشد، از نور دریافتی استفاده بیشتری می‌کنند و مقاومت بیشتری به خشکی خواهند داشت.

با توجه به این که بر روی صفات فیزیولوژیک ارقام لوبیا چیتی در شرایط تنش خشکی در استان زنجان کار چندانی صورت نگرفته است؛ این پژوهش به منظور بررسی محتوای نسبی آب برگ و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل ارقام مختلف لوبیا چیتی در شرایط شاهد (آبیاری نرمال) و تنش خشکی و همچنین تعیین میزان عملکرد دانه‌ی ارقام مختلف لوبیا در شرایط شاهد و تنش خشکی انجام شد.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۱ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، واقع در ۵ کیلومتری جاده زنجان- تبریز انجام شد. شهرستان زنجان دارای آب و هوای سرد و خشک کوهستانی با متوسط بارندگی حدود ۲۹۳/۵ میلی‌متر است که معمولاً از اواخر آبان شروع و تا اواسط

بهار ادامه می‌یابد. از نظر جغرافیایی در عرض ۳۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و در طول ۴۷ درجه و ۱ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و در ارتفاع ۱۶۳۴ متر از سطح دریا واقع شده است. برخی ویژگی‌های اقلیمی محل اجرای آزمایش در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- متوسط دما و میزان بارندگی ماهانه منطقه مورد آزمایش طی فصل رشد در سال ۱۳۹۱.

Table 1. Minimum and maximum temperatures and rainfall during the period of the experiment in 2012.

| ماه‌ها<br>Month | میانگین حداکثر دما<br>(درجه سانتی‌گراد)<br>Mean of maximum<br>temperature (°C) | میانگین حداقل دما<br>(درجه سانتی‌گراد)<br>Mean of minimum<br>temperature (°C) | میانگین بارندگی ماهانه<br>(میلی‌متر)<br>Mean of rainfall<br>(mm) |
|-----------------|--|---|--|
| May خرداد       | 26.7   | 11.1  | 0.6  |
| June تیر        | 30.2   | 13.7  | 1.1  |
| July مرداد      | 32.8   | 15.8  | 0.2  |
| August شهریور   | 29.1   | 13.4  | 0.2  |
| September مهر   | 23.1   | 6.4   | 1  |

برخی ویژگی‌های مرتبط با خاک مزرعه محل اجرای آزمایش در جدول (۲) نشان داده شده است. خاک مزرعه محل آزمایش از نوع لوم رسی بود.

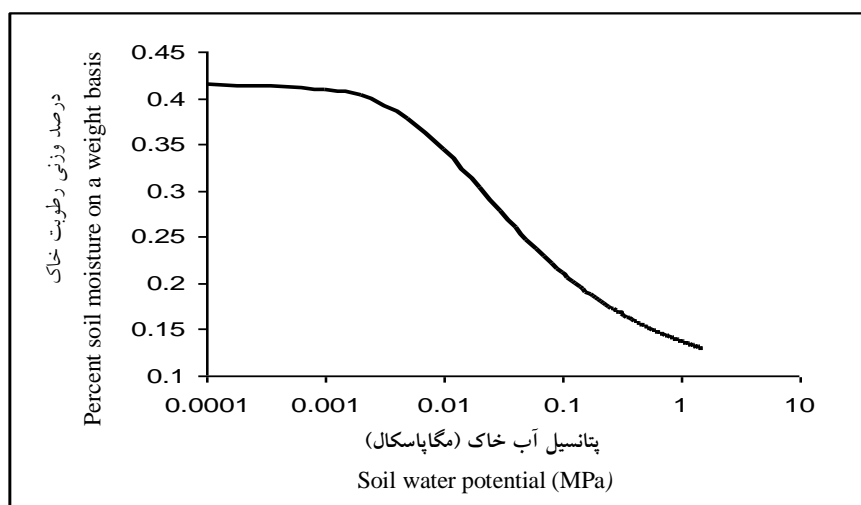
جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش.

Table 2. Soil physical and chemical characteristics of experimental location.

| ماده آلی<br>(%)<br>Organic<br>Material<br>(%) | اسیدیته<br>(pH) | رس<br>(درصد)<br>Clay<br>(%) | سیلت<br>(درصد)<br>Silt<br>(%) | شن<br>(درصد)<br>sand<br>(%) | نیتروژن کل<br>(درصد)<br>Nitrogen<br>Total<br>(%) | پتاسیم قابل جذب<br>(پی‌پی‌ام)<br>Available<br>Potassium<br>(ppm) | فسفر قابل جذب<br>(پی‌پی‌ام)<br>Available<br>Phosphorous<br>(ppm) |
|---|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--|--|--|
| 1.21  | 8.18            | 31                          | 27                            | 42                          | 0.07   | 266  | 5.6  |

زمین محل اجرای آزمایش در پائیز سال ۱۳۹۰ شخم و در اواخر اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۱ دیسک زده شد. سپس با استفاده از لولر تسطیح و به صورت جوی و پشته در آمد. قبل از کاشت با توجه به آزمون خاک، به میزان ۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع اوره، پتاس ۵۰ کیلوگرم  $K_2O$  در هکتار و

فسفر نیز از منبع فسفات آمونیوم به میزان ۷۰ کیلوگرم  $P_2O_5$  در هکتار، به خاک اضافه گردید. عملیات کاشت در تاریخ ۱۰ خرداد ماه ۱۳۹۱ انجام پذیرفت. فاصله دو بوته روی ردیف ۲۰ سانتی متر و فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. طرح آزمایشی مورد استفاده کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار بود. سطوح آبیاری شامل شاهد و تنش خشکی در کرت‌های اصلی و ارقام لوبیا چیتی شامل محلی خمین، صدری، Ks21193 و Ks21189 در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت صورت گرفت و همه کرت‌ها تا مرحله گلدهی طبق روال منطقه آبیاری شدند. اعمال تنش بعد از مرحله گلدهی آغاز گردید. تیمار تنش زمانی آبیاری گردید که پتانسیل آب خاک آن به ۲- مگاپاسکال رسید. به همین منظور ابتدا منحنی رطوبتی خاک که رابطه بین درصد رطوبت خاک و پتانسیل آب خاک می‌باشد در آزمایشگاه خاکشناسی ترسیم شد. در هنگام اعمال تنش بعد از نمونه‌برداری از خاک درصد رطوبت آن تعیین و از روی منحنی مذکور پتانسیل آب خاک تعیین شد (شکل ۱).



شکل ۱- منحنی رطوبتی خاک محل انجام آزمایش.

Figure 1. Tested soil moisture curve.

تیمار شاهد نیز بر حسب روال معمول آبیاری شد. برای اندازه‌گیری کلیه صفات آزمایشی، از دو خط کناری هر کرت و از هر کرت، از نیم متر اول و آخر پس از حذف اثر حاشیه‌ای از قسمت‌های باقیمانده نمونه‌برداری انجام گرفت.

به منظور تعیین محتوی نسبی آب برگ، این صفت در مرحله ۵۰ درصد گلدهی و بعد از اعمال تنش اندازه‌گیری شد. آخرین برگ توسعه یافته که عموماً شامل دومین برگ از بالا می‌شد، مورد نمونه برداری قرار گرفت. بدین صورت که برگ‌ها از محل اتصال پهنک با قیچی جدا و در فویل آلومینیوم پیچیده شدند و در داخل یک کیسه پلاستیکی قرار گرفتند و در یخچال یونولیتی (عایق گرما) نگهداری شدند تا تبادل بخار آب بین برگ و محیط به حداقل برسد. بلافاصله نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و به قطعات یک سانتی‌متری تقسیم شدند. وزن تازه آن‌ها تعیین شد و برای تعیین وزن آماسیده قطعه‌های برگی ۱۶-۱۸ ساعت در دمای اتاق (تقریباً ۲۰ درجه سانتی‌گراد) در آب مقطر قرار داده شدند. پس از این مدت، این قطعه‌ها به سرعت و با دقت با استفاده از دستمال کاغذی خشک شدند و وزن آن‌ها تعیین گردید. آنگاه قطعه‌های برگی به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند تا وزن خشک آن‌ها نیز از طریق توزین به دست آید. محتوای نسبی آب از طریق رابطه زیر محاسبه گردید (۲۴).

$$100 \times \left[ \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن آماسیده}}{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}} \right] = \text{محتوی آب نسبی (درصد)}$$

اندازه‌گیری میزان فلورسانس کلروفیل و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در مرحله ۵۰ درصد گلدهی و بعد از اعمال تنش انجام شد. بدین صورت که ابتدا سطح جوان‌ترین برگ توسعه یافته گیاهان، با قرار گرفتن گیره بر روی آن‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در شرایط تاریکی قرار گرفت، سپس با استفاده از دستگاه فلورومتر قابل حمل (مدل OS-30 ساخت شرکت OPTI SCIENCES) پارامترهای فلورسانس از قبیل  $F_0$  (فلورسانس کمینه<sup>۱</sup>)،  $F_m$  (فلورسانس بیشینه<sup>۲</sup>)،  $F_v$  (فلورسانس متغیر<sup>۳</sup>  $[F_m - F_0]$ ) و  $F_v/F_m$  (عملکرد کوانتومی فتوسیستم II<sup>۴</sup>) یادداشت برداری شدند و فلورسانس کلروفیل در آن محل ثبت گردید.

نمونه برداری برای اندازه‌گیری عملکرد دانه در انتهای دوره رشد و رسیدگی نهایی انجام شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه از سه خط وسط کرت با رعایت اصول نمونه برداری بوته‌های موجود در

- 
- 1- Minimum fluorescence
  - 2- Maximum fluorescence
  - 3- Variable fluorescence
  - 4- Quantum yield of photosystem II

مساحت دو متر مربع به صورت کف بر برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. عملکرد دانه پس از توزین دانه‌ها محاسبه شد.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ انجام شد و سپس میانگین‌های حاصله با استفاده از آزمون LSD مقایسه گردید.

### نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تنش و اثرات متقابل تنش در رقم در سطح یک درصد و اثر اصلی ارقام در سطح پنج درصد، برصفت محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار است (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی در تیمارهای آبیاری.

Table 3. Analysis of variance for characteristics of pinto bean genotypes in irrigation treatments.

| منابع تغییرات<br>S.O.V        | درجه<br>آزادی<br>df | فلورسانس کمینه<br>Minimum<br>fluorescence | فلورسانس<br>بیشینه<br>Maximum<br>fluorescence | فلورسانس متغیر<br>Variable<br>fluorescence | عملکرد کوانتومی<br>فتوسیسستم II<br>Quantum yield<br>of photosystem<br>II | محتوای<br>نسبی آب<br>Relative<br>water<br>content | عملکرد دانه<br>Grain yield |
|-------------------------------|---------------------|---|---|--|--|---|----------------------------|
| تکرار Replication             | ۳                   | 13298.53 <sup>ns</sup>                    | 2887.75 <sup>ns</sup>                         | 4100.53 <sup>ns</sup>                      | 0.0014 <sup>ns</sup>   | 42.32 <sup>ns</sup>                               | 72716.81 <sup>**</sup>     |
| تنش Stress                    | ۱                   | 10325720.28 <sup>**</sup>                 | 8515.12 <sup>ns</sup>                         | 1232057.53 <sup>**</sup>                   | 0.17 <sup>**</sup>   | 2674.92 <sup>**</sup>                             | 11262222.41 <sup>**</sup>  |
| خطای (a) Error a              | ۳                   | 9190.2                                    | 2058.71                                       | 3182.28                                    | 0.001  | 57.93   | 66089.93                   |
| رقم Genotype                  | ۳                   | 42955.03 <sup>*</sup>                     | 584182.08 <sup>**</sup>                       | 349027.36 <sup>**</sup>                    | 0.0015 <sup>ns</sup>   | 122.67 <sup>*</sup>                               | 569733.71 <sup>**</sup>    |
| رقم × تنش<br>Stress×Genotype  | ۳                   | 239.531 <sup>ns</sup>                     | 188406.71 <sup>ns</sup>                       | 190592.45 <sup>*</sup>                     | 0.004 <sup>**</sup>  | 317.76 <sup>**</sup>                              | 684638.51 <sup>**</sup>    |
| خطای (b) Error b              | ۱۸                  | 9150.53                                   | 66449.06                                      | 42620.6                                    | 0.0008   | 37.50   | 9846.2                     |
| ضریب تغییرات (درصد)<br>CV (%) |                     | 14.39                                     | 9.9   | 10.64                                      | 3.97   | 8.18  | 8.09                       |

ns, \* و \*\* به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال اشتباه ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

\*\* , \* and ns are significant at  $p \leq 0.01$  and  $p \leq 0.05$  and not significant, respectively.

مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش در رقم (جدول ۴) نشان داد که در شرایط تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ در ارقام مورد بررسی کاهش یافت. میزان این کاهش در ارقام محلی خمین، صدری، Ks21189 و Ks21193 به ترتیب ۱۳/۳۷، ۴۱/۶، ۲۴/۲۹ و ۱۲/۲۳ درصد نسبت به آبیاری نرمال مشاهده شد. ارقام Ks21189 و محلی خمین تا حد زیادی توانستند محتوای نسبی آب خود را حین تنش حفظ کنند و از این نظر پایدار بودند. بالا بودن محتوای آب نسبی رقم Ks21189 ممکن است



به علت وجود ساز و کارهای کاهش دهنده تلفات آب از روزنه‌ها (بسته شدن روزنه‌ها)، افزایش غلظت شیریه سلولی یا به دلیل جذب بیشتر آب از طریق توسعه سیستم ریشه باشد. مقدار نسبی آب برگ به طور مستقیم با آماس یاخته و پتانسیل آبی گیاه ارتباط دارد. از طرف دیگر تورم، در ارتباط با توسعه و تقسیم سلولی است و بدین ترتیب ارتباط بین میزان نسبی آب برگ و عملکرد بیولوژیک وجود دارد (۵۰). در یک آزمایش با افزایش تنش خشکی در گندم RWC کاهش یافت. در بررسی‌های انجام شده مشخص شده است که معمولاً ولی نه همیشه، ارقام مقاوم به خشکی، از RWC بالاتری در شرایط محدودیت آب برخوردار هستند (۴۴). محققان بیان کردند که کمبود آب محتوای نسبی آب را در برگ‌های لویا (۳۷ و ۴۹) و عدس (۴۱) کاهش می‌دهد.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات ژنوتیپ‌های لویا چیتی در برهمکنش تیمارهای آبیاری\*رقم.

Table 4. Mean compare of characteristics of pinto bean genotypes interaction irrigation×genotyps.

| رقم | آبیاری Irrigation | محتوای آب نسبی                       | فلورسانس متغیر                | عملکرد کوانتومی                                     | عملکرد دانه  |
|-----|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---|--|
|     |                   | (درصد)<br>Relative water content (%) | Variable<br>Fluorescence (Ms) | فتوسیستم II<br>Quantum yield of photosystem II (Ms) | (کیلوگرم در هکتار)<br>Grain yield (Kg.Ha <sup>-1</sup> ) |
| رقم | آبیاری نرمال      |                                      |                               |   |  |
| رقم | Normal irrigation |                                      |                               |   |  |
| رقم | Khomein           | 78.69 <sup>bc</sup>                  | 2045.5 <sup>ab</sup>          | 0.79 <sup>a</sup>                                   | 1365.2 <sup>c</sup>                                      |
| رقم | Sadri             | 88.69 <sup>a</sup>                   | 2036.3 <sup>ab</sup>          | 0.84 <sup>a</sup>                                   | 2538.4 <sup>a</sup>                                      |
| رقم | Ks21193           | 84.01 <sup>ab</sup>                  | 2293 <sup>a</sup>             | 0.82 <sup>a</sup>                                   | 1655.4 <sup>bc</sup>                                     |
| رقم | Ks21189           | 84.59 <sup>ab</sup>                  | 2170.8 <sup>ab</sup>          | 0.82 <sup>a</sup>                                   | 1717.3 <sup>b</sup>                                      |
| رقم | تنش خشکی          |                                      |                               |   |  |
| رقم | Drought stress    |                                      |                               |   |  |
| رقم | Khomein           | 68.17 <sup>d</sup>                   | 1871.8 <sup>b</sup>           | 0.67 <sup>bc</sup>                                  | 668.8 <sup>d</sup>                                       |
| رقم | Sadri             | 51.8 <sup>e</sup>                    | 1245.5 <sup>c</sup>           | 0.63 <sup>c</sup>                                   | 503.1 <sup>d</sup>                                       |
| رقم | Ks21193           | 63.6 <sup>d</sup>                    | 1812.5 <sup>b</sup>           | 0.67 <sup>bc</sup>                                  | 616.8 <sup>d</sup>                                       |
| رقم | Ks21189           | 74.24 <sup>bc</sup>                  | 2046 <sup>ab</sup>            | 0.70 <sup>b</sup>                                   | 741.6 <sup>d</sup>                                       |

اعداد هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

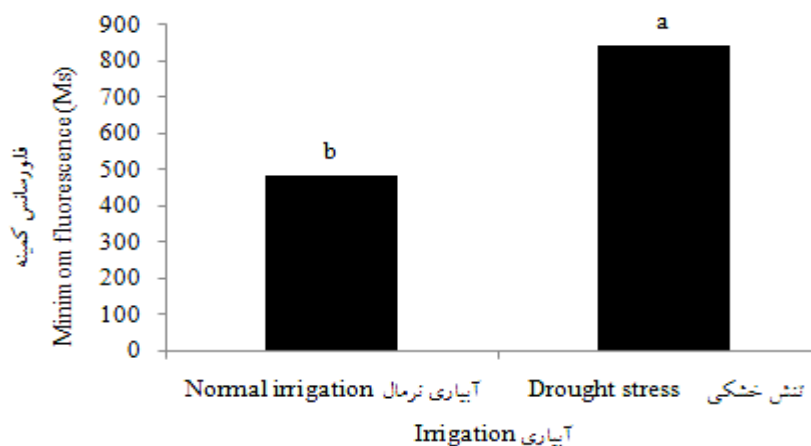
The numbers in each column that have a same letter, don't have significant difference in 5% level based on LSD test.

فلورسانس کمینه (F0): تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تنش خشکی و رقم، بر مقدار فلورسانس کمینه تأثیر معنی‌داری داشت، ولی اثر متقابل تنش در رقم بر F0 معنی‌دار نشد

(جدول ۳). میزان FO در شرایط تنش نسبت به آبیاری نرمال افزایش یافت. بیشترین میزان فلورسانس کمینه ۸۴۴/۵ در شرایط تنش خشکی حاصل شد (شکل ۲). بین ارقام مورد مطالعه نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. کمترین مقدار FO با میانگین ۵۶۲/۱۳ در رقم صدری مشاهده شد. بیشترین مقدار آن نیز متعلق به رقم محلی خمین بود که با ارقام Ks21189 و Ks21193 در یک گروه آماری قرار گرفت و تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد (شکل ۳). به‌طور کلی معنی‌دار شدن تفاوت FO در رژیم‌های مختلف آبیاری، احتمالاً نشان‌دهنده این است که نظام نوری دو در رژیم‌های مختلف آبیاری از کارایی متفاوتی برخوردار می‌باشند و این‌که شدت تنش در آزمایش اخیراًنقدر زیاد است که توانسته موجب تخریب مراکز نظام نوری دو شود. افزایش فلورسانس اولیه می‌تواند نشان‌دهنده تخریب مرکز واکنش PSII، دگرگونی ساختار و تغییر در رنگدانه‌های فتوسیستم II در شرایط تنش خشکی باشد (۱۷).

هنگامی که نور در سطح متوسط باشد بخش غالب آن در فعالیت‌های فتوشیمیایی به‌صرف فتوستنز می‌رسد و بخش کمی از انرژی نورانی به‌صورت فلورسانس ساطع می‌گردد که به‌عنوان فلورسانس کمینه شناخته می‌شود (۴۰).

افزایش FO نشان از آسیب به زنجیره انتقال الکترون فتوسیستم II در اثر کاهش ظرفیت کوئینون<sup>۱</sup> آ (QA) و عدم اکسیداسیون کامل آن به‌دلیل جریان کند الکترون در طول مسیر فتوسیستم II و در مجموع غیرفعال شدن فتوسیستم II دارد (۵۵). تنش خشکی به‌تنهایی تغییرات معناداری در FO ایجاد نمی‌کند و معمولاً تنش گرمایی به‌تنهایی یا در ترکیب با تنش خشکی می‌تواند موجب انهدام یا تخریب در مرکز واکنش فتوسیستم II شود (۱۸). با توجه به این‌که تحت شرایط آزمایش در زمان نمونه‌برداری دمای محیط بالا بود، احتمالاً تنش گرمایی ایجاد شده باعث افزایش اثر تنش خشکی و در نتیجه تخریب بیشتر مراکز واکنش فتوسیستم II گردیده است. افزایش FO در اثر تنش خشکی توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (۲۰ و ۲۷). بنابراین به‌نظر می‌رسد ارقامی که بتوانند در شرایط تنش از افزایش FO جلوگیری کنند، تحمل بیشتری به تنش نشان خواهند داد.

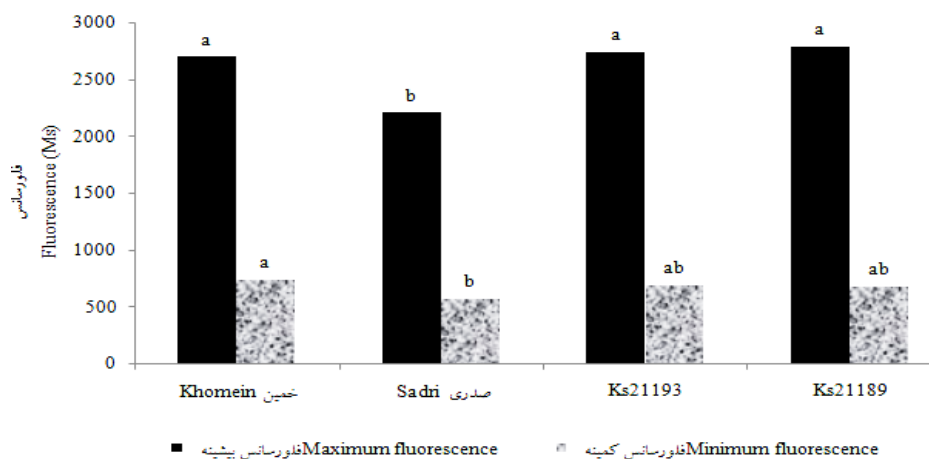


شکل ۲- مقایسه میانگین فلورسانس کمینه در تیمارهای آبیاری.

Figure 2. Mean compare of minimum fluorescence in irrigation treatments.

\* اعداد هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

The numbers in each column that have a same letter, don't have significant difference in 5% level based on LSD test.



شکل ۳- مقایسه میانگین فلورسانس کمینه و فلورسانس بیشینه در تیمارهای رقم.

Figure 3. Mean compare of minimum fluorescence and maximum fluorescence in genotype treatments.

\* اعداد هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

The numbers in each column that have a same letter, don't have significant difference in 5% level based on LSD test.

**فلورسانس پیشینه (Fm):** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنش خشکی و اثرات متقابل تنش در رقم تأثیر معنی‌داری بر میزان Fm نداشتند، ولی بین ارقام اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳). بیشترین میزان Fm (۲۶۲۱/۰۶) در شرایط آبیاری نرمال حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار تنش خشکی نشان نداد. بیشترین میزان Fm به رقم Ks21189 و کمترین آن نیز متعلق به رقم صدری بود (شکل ۳). با وجود معنادار نشدن اثرات متقابل تنش در رقم، جدول مقایسه میانگین نشان داد که ارقام واکنش متفاوتی به تنش خشکی نشان دادند. در ارقام محلی خمین و Ks21189، مقدار فلورسانس حداکثر به ترتیب ۶/۵۳ و ۹/۱۶ درصد نسبت به آبیاری نرمال افزایش نشان داد. ولی در ارقام صدری و Ks21193 به ترتیب کاهش ۱۷/۸ و ۴/۰۹ درصدی فلورسانس حداکثر نسبت به آبیاری نرمال مشاهده شد. پس از قرارگرفتن برگ در مقابل نور تابانده شده توسط دستگاه، مراکز احیای فتوسیستم II به تدریج بسته می‌شوند. به همین دلیل، در اولین ثانیه تابش نور به برگ، عملکرد فلورسانس کلروفیل افزایش یافته، فلورسانس از مقدار F0 به حداکثر مقدار خود یعنی Fm افزایش می‌یابد. این افزایش نشان‌دهنده افزایش تدریجی عملکرد فلورسانس و کاهش سرعت واکنش‌های فتوشیمیایی است (۶).

وقتی مولکول‌های کوئینون (اولین گیرنده الکترون در فتوسیستم II) در وضعیت اکسید شده هستند (وضعیتی که مرکز واکنش فتوسیستم II فعال بوده و پذیرنده‌های الکترون که به ترتیب شامل کوئینون، کوئینون آ (Q<sub>A</sub>) و کوئینون ب (Q<sub>B</sub>) بوده انرژی را به PQ<sup>۱</sup> و از PQ به فتوسیستم I انتقال داده بوده و صرف تولید ATP و NADPH می‌کنند)، در این حالت سیستم دارای کمترین فلورسانس (F0) است. به تدریج، با افزایش درجه احیاشدن، فلورسانس افزایش می‌یابد. این فرآیند تا احیای کامل ادامه یافته و مراکز احیای فتوسیستم II به تدریج بسته می‌شوند و انتقال الکترون به فتوسیستم I صورت نمی‌گیرد. در این حالت فلورسانس کلروفیل افزایش می‌یابد و مراکز فتوسیستم دارای بیشترین فلورسانس (Fm) است. در واقع تنش خشکی با تأثیر منفی بر ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون، باعث می‌شود سیستم به سرعت به Fm برسد (۳ و ۳۳). افزایش در مقدار F0 و کاهش در Fm، فعالیت فتوسیستم II را مختل می‌کند (۳۳). افت Fm ممکن است با کاهش فعالیت کمپلکس آنزیم تجزیه‌کننده آب و همچنین چرخه انتقال الکترون در درون یا اطراف فتوسیستم II مرتبط باشد (۵۴).

**فلورسانس متغیر (Fv):** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تنش، رقم و اثرات متقابل تنش در رقم بر مقدار فلورسانس متغیر معنی‌دار است (جدول ۳). در شرایط تنش خشکی مقدار فلورسانس متغیر در کلیه ارقام کاهش یافت (جدول ۴). میزان کاهش فلورسانس متغیر در ارقام محلی خمین، صدری، Ks21193 و Ks21189 به ترتیب ۸/۴۶، ۳۸/۸۳، ۲۰/۹۵ و ۵/۷۵ درصد نسبت به آبیاری نرمال مشاهده شد. بیشترین مقدار فلورسانس متغیر در تیمار آبیاری نرمال در رقم Ks21193 و کمترین آن در شرایط تنش خشکی در رقم صدری مشاهده شد. اصولاً مقدار فلورسانس کلروفیل در زمانی که پذیرنده الکترون (کوینون) در حالت احیا باشد زیاد است و به این علت مقدار Fv نیز در این حالت زیاد می‌شود؛ اما زمانی که کینون در حالت اکسیداسیون است مقدار فلورسانس کلروفیل A کم می‌شود؛ در این حالت میزان Fv کاهش می‌یابد (۳۳). تنش‌های محیطی مقدار Fv را به علت ممانعت از فتواکسیداسیون فتوسیستم II کاهش می‌دهند. از آنجا که Fv نشان‌گر احیای کامل کینون می‌باشد، بنابراین می‌توان استنباط کرد که تنش خشکی در انتقال الکترون به فتوسیستم I اختلال ایجاد کرده است (۲، ۳۲ و ۳۳).

**عملکرد کوانتومی فتوسیستم II:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی تنش خشکی و اثرات متقابل تنش در رقم بر مقدار عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در سطح یک درصد معنی‌دار است، اما ارقام اختلاف معنی‌داری با هم نشان ندادند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش در رقم (جدول ۴) نشان داد که مقدار Fv/Fm در شرایط تنش روند کاهشی دارد. بیشترین مقدار Fv/Fm در شرایط آبیاری نرمال در رقم صدری و در شرایط تنش خشکی در رقم Ks21189 مشاهده شد. کاهش Fv/Fm در ارقام محلی خمین، صدری، Ks21193 و Ks21189 به ترتیب ۱۵/۱۹، ۲۵، ۱۸/۳ و ۱۴/۶۳ درصد نسبت به آبیاری نرمال مشاهده شد. در شرایط تنش خشکی تجمع QB غیراحیاء افزایش می‌یابد که این امر نشان‌دهنده عدم انتقال الکترون از QA احیا به QB است. در چنین شرایطی تجمع QA نیز افزایش می‌یابد. علت این امر هنوز کاملاً مشخص نیست، ولی ممکن است کاهش آسیمیلاسیون CO<sub>2</sub> در اثر بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی، منجر به مصرف نشدن محصولات حاصل از زنجیره انتقال الکترون (NADPH و ATP) شده و از این طریق میزان فرودوکسین احیاء افزایش یافته و به دنبال افزایش فرودوکسین احیاء شده، تولید رادیکال‌های فعال افزایش یافته و از این طریق، تغییر و یا تخریب پروتئین‌های غشاء تیلاکوئید صورت گیرد. بنابراین

تخریب پروتئین‌های غشاء تیلاکوئید، مانع انتقال الکترون از جایگاه پذیرنده فتوسیستم II می‌گردد و این امر موجب کاهش سرعت انتقال الکترون، افزایش فلورسانس کلروفیل و کاهش عملکرد فتوسیستم II می‌شود (۳۴ و ۴۸). تغییر میزان فعالیت فتوسیستم II و همچنین تخریب ساختمان پروتئین  $D_1$  موجود در فتوسیستم II، در نتیجه افزایش فلورسانس کلروفیل در شرایط تنش خشکی است (۱). نتایج حاصل از بررسی‌ها مؤید این است که کمپلکس آزادکننده اکسیژن فتوسیستم II و مراکز واکنش فتوسیستم II تحت تنش خشکی تخریب می‌شوند. اثر تخریبی تنش خشکی بر پروتئین  $D_1$  که در ساختمان فتوسیستم II قرار دارد نیز گزارش شده است (۲۵ و ۵۵). کاهش سرعت انتقال الکترون و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II گیاه در شرایط تنش خشکی ممکن است به دلیل تخریب سیکل کالوین، به تأخیر افتادن احیاء کوئینون‌ها و همچنین تخریب زنجیره انتقال الکترون غشاء تیلاکوئید باشد (۴۸). کاهش نسبت  $Fv/Fm$  در شرایط تنش خشکی می‌تواند نشان‌دهنده این موضوع باشد که انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفته و کاهش می‌یابد (۲۵). در یک آزمایش، نسبت  $Fv/Fm$  ژنوتیپ‌های نخود در اثر تنش خشکی به صورت معنی‌داری کاهش یافت و ژنوتیپ‌های نخود حساس به خشکی نسبت  $Fv/Fm$  کمتری نسبت به ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی داشتند (۳۵).

یوردانو و همکاران (۵۱) بیان داشتند که هر چند سیستم دو تا حد زیادی نسبت به کم‌آبی مقاوم است، اما خشکی می‌تواند مانع انتقال الکترون در فتوسیستم II شود؛ از این‌رو از کارایی فتوسنتز کاسته می‌شود. هرچه اثر تخریبی تنش محیطی بر گیاه بیشتر باشد، از مقدار  $Fv/Fm$  به میزان بیشتری نسبت به شرایط مساعد فتوسنتزی کاسته می‌شود، که منطبق با نتایج حاصل در این پژوهش است. از نسبت  $Fv/Fm$  به‌طور گسترده برای نشان دادن تنش ناشی از اختلال ایجاد شده در مراکز فتوشیمیایی استفاده شده است، چرا که کاهش  $Fv/Fm$  می‌تواند نتیجه فرآیندهای کاهش و خسارت نوری به مراکز واکنش فتوسیستم II باشد که هر دو باعث کاهش حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II می‌شوند (۶).

در پژوهشی دیگر شواهدی مبنی بر کاهش نسبت  $Fv/Fm$  در ارقام لوبیا قرمز، لوبیا چیتی و لوبیا سفید در اثر تنش خشکی گزارش شده است (۱۶). باسو و همکاران (۷) بیان داشتند که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر کارایی کوانتومی فتوسیستم II سیب‌زمینی دارد و با افزایش شدت تنش مقدار آن کاهش می‌یابد؛ اما بارفع تنش در گیاه به حالت اولیه برمی‌گردد. همچنین در پژوهشی دیگر مشاهده

شد که با افزایش شدت تنش خشکی و شوری، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در گیاه سویا کاهش می‌یابد (۵).

در آزمایشی که روی گلرنگ پاییزه انجام گرفت، بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستم II تحت تأثیر قرار نگرفت و اثر متقابل تنش در رقم بر فلورسانس معنی‌دار نشد که نشان دهنده واکنش یکسان ارقام در دو محیط از نظر میزان فلورسانس است (۳۰). گزارش شده در  $Fv/Fm$  که تفاوت ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم از نظر تنش‌های شدید پدیدار می‌شود، ژنوتیپ‌های با نسبت بالای  $Fv/Fm$  در شرایط تنش شدید کارایی فتوستتزی بالاتری دارند (۴۳).

ممنوعی و سیدشریفی (۲۷) در بررسی تأثیر محدودیت آبی بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل ارقام مختلف جو بیان کردند که به دلیل افزایش فلورسانس کمینه و کاهش فلورسانس بیشینه یا حداکثر، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II طی تنش کم‌آبی کاهش یافت.

**عملکرد دانه:** نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین سطوح تنش، رقم و اثر متقابل تنش در رقم از لحاظ عملکرد دانه بود (جدول ۳)، به طوری که عملکرد دانه نسبت به تنش واکنش منفی نشان داده و در شرایط تنش از مقدار آن کاسته شد. بر اساس مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش در رقم (جدول ۴)، رقم صدری در شرایط آبیاری نرمال با میانگین عملکرد ۲۵۳۸/۳۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین و رقم محلی خمین با میانگین ۱۳۶۵/۲ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه را دارا بودند. میزان کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش، نسبت به آبیاری نرمال در ارقام محلی خمین، صدری، Ks21193 و Ks21189 به ترتیب ۵۱/۰۱، ۸۰/۱۸، ۶۲/۷۴ و ۵۶/۸۱ درصد مشاهده شد. ارقام Ks21189 و محلی خمین دارای بالاترین عملکرد در شرایط تنش خشکی بودند و پایداری بیشتری نیز نسبت به کم‌آبی نشان دادند. کاهش عملکرد دانه ارقام لوبیا چیتی در شرایط تنش رطوبتی در مرحله زایشی می‌تواند با کاهش تجمع ماده خشک در واحد سطح، سرعت رشد گیاه زراعی و سرعت رشد نسبی مرتبط باشد (۵۳). سایر محققان (۸، ۱۵، ۲۲ و ۲۸) در آزمایش‌های خود تأثیر کمبود آب در طول دوره رشد گیاه به‌ویژه در مرحله تشکیل و پر شدن دانه را بر عملکرد دانه آن مورد تأیید قرار داده‌اند. در آزمایشی دیگر کاهش معنی‌دار عملکرد دانه تحت تنش خشکی را ناشی از کاهش درصد سبز زمین در هنگام گلدهی، پایین بودن دوره مؤثر پر شدن دانه‌ها و در نتیجه کاهش تعداد غلاف در بوته و وزن صد دانه بر اثر کمبود آب دانستند و نتیجه گرفتند دلیل اصلی پایین بودن عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی کاهش تعداد نیام در بوته می‌باشد (۲۱).

در این آزمایش محتوای نسبی آب برگ، همبستگی مثبت و معنی داری (\*\* $0/79$ ) با عملکرد دانه در شرایط تنش داشت. این صفت همچنین همبستگی مثبت و معنی داری (\*\* $0/72$ ) با عملکرد کوانتومی فتوسیستم II نشان داد (جدول ۵). بنابر این می توان گفت ارقامی که در شرایط تنش خشکی از محتوای آب نسبی بالاتری برخوردار باشند، به دلیل برخورداری از سرعت فتوسنتز بالاتر، عملکرد دانه‌ی بیشتری خواهند داشت (۳۱). کاهش محتوای نسبی آب در شرایط تنش خشکی و همچنین همبستگی مثبت و معنی دار این صفت با عملکرد دانه در ارقام مختلف لوییا توسط محققین دیگر گزارش شده است (۳۱ و ۵۲). در پژوهشی دیگر بین محتوای نسبی آب برگ و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های تریتیکاله در شرایط تنش رطوبتی همبستگی مثبتی ارزیابی کردند (۱۰). نتایج آزمایش‌های تحمل به خشکی در هند نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب و سطح برگ می‌شود و ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش محتوای نسبی آب بالا داشتند، از عملکرد بیشتری نیز برخوردار بودند (۳۳).

همچنین در شرایط تنش خشکی همبستگی عملکرد دانه با فلورسانس بیشینه، فلورسانس متغیر و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، به ترتیب \*\* $0/91$ ، \*\* $0/94$  و \*\* $0/92$  گزارش شد. فلورسانس کمینه نیز با عملکرد دانه همبستگی ( $0/36^{ns}$ ) نشان داد؛ ولی این همبستگی معنی دار نبود (جدول ۵). این موضوع نشان داد که احتمالاً بقیه فاکتورهای فلورسانس اثر بیشتری بر روی عملکرد دانه دارند. لذا جهت ارزیابی تحمل به خشکی پارامترهایی نظیر  $Fv/Fm$ ،  $Fv$  و  $Fm$  قابل اطمینان‌تر هستند. پاکنژاد و همکاران (۳۳) گزارش کردند که بیشترین همبستگی عملکرد دانه با پارامترهایی نظیر  $Fv$ ،  $Fv/Fm$  و  $Fm$  می‌باشد. آروس و همکاران (۴) همبستگی مثبت و بالایی بین عملکرد دانه و فلورسانس متغیر بیان داشتند، در حالی که بین پارامتر  $Fv/Fm$  با عملکرد دانه کمترین همبستگی را مشاهده کردند. همچنین آن‌ها بیشترین همبستگی را برای  $F0$ ،  $Fm$  و  $Fv$  گزارش کردند و بیان کردند که  $Fv/Fm$  کمترین همبستگی را با عملکرد دانه دارد. درویش بلوچی و همکاران (۱۲) همبستگی مثبت و بالای  $Fv/Fm$  و  $Fv$  را با عملکرد دانه در گیاه ذرت تحت تنش خشکی گزارش دادند.



جدول ۵- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه، محتوای نسبی آب، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II، فلورسانس متغیر، فلورسانس بیشینه و فلورسانس کمینه.

Table 5. Correlation coefficient between grain yield, relative water content, quantum yield of photosystem II, variable fluorescence, maximum fluorescence and minimum fluorescence.

|  | عملکرد دانه<br>Grain yield | محتوای نسبی آب<br>Relative water content | عملکرد کوانتومی<br>فتوسیستم II<br>Quantum yield of<br>photosystem II | فلورسانس متغیر<br>Variable fluorescence | فلورسانس کمینه<br>Minimum<br>fluorescence |
|--|----------------------------|--|--|---|---|
| فلورسانس کمینه<br>Minimum Fluorescence                         | 0.43 <sup>ns</sup>         | 0.59*                                    | 0.23 <sup>ns</sup>   | 0.52*                                   | 1   |
| فلورسانس بیشینه<br>Maximum Fluorescence                        | 0.91**                     | 0.84**                                   | 0.89**   | 0.98**                                  |   |
| فلورسانس متغیر<br>Variable Fluorescence                        | 0.94**                     | 0.82**                                   | 0.96**   | 1                                       |   |
| عملکرد کوانتومی فتوسیستم II<br>quantum yield of photosystem II | 0.91**                     | 0.72**                                   | 1  |   |   |
| محتوای نسبی آب<br>Relative Water Content                       | 0.79**                     | 1  |  |   |   |
| عملکرد دانه<br>Grain yield                                     | 1                          |  |  |   |   |

ns و \* و \*\* به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطح احتمال اشتباه ۰/۰۵ و ۰/۰۱. ns, \* and \*\* are significant at  $p \leq 0.01$  and  $p \leq 0.05$  and not significant, respectively.

### نتیجه گیری کلی

تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ، فلورسانس متغیر، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II و عملکرد دانه ارقام مورد مطالعه را به طور معنی داری کاهش داد. رقم Ks21189 به دلیل افت کمتر محتوای نسبی آب برگ و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II از عملکرد بالاتری در شرایط تنش خشکی برخوردار بود. در حالی که در رقم صدری بالاترین افت محتوای نسبی آب برگ و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II و پایین ترین عملکرد دانه در شرایط تنش مشاهده گردید. وجود همبستگی بالا و معنی دار محتوای نسبی آب برگ و پارامترهای فلورسانس کلروفیل با عملکرد دانه نتایج آزمایش را تأیید می کند. بنابراین به نظر می رسد ارقامی که بتوانند در شرایط تنش خشکی پایداری محتوای نسبی آب برگ و عملکرد

کوانتومی فتوسیسستم II را حفظ کنند از سرعت فتوستنز بالاتری برخوردار بوده و عملکرد بیشتری خواهند داشت.

### تشکر و قدردانی

در انتها بر خود لازم می‌دانیم که از زنده‌یاد استاد دکتر فرهاد جباری که در دوران حیات پربرت خود از هیچ‌گونه کمک و مساعدتی دریغ نفرمودند، سپاسگزاری نماییم و از خداوند منان برای ایشان آمرزش و مغفرت می‌طلبیم.

### منابع

1. Ahmed, S., Nawata, E., Hosokawa, M., Domae, Y., and Sakuratani, T. 2002. Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mung bean subjected to water logging. *Plant Sci.*, 163: 117-123.
2. Ali-Dib, T., Monneveux, P.H., Acevedo, J., and Nachil, M.M. 1994. Evaluation of praline analysis and chlorophyll fluorescence quenching measurements as drought tolerance indicators in durum wheat (*Triticum turgidum* L. Var. durum). *Euphytica.*, 79(1-2): 65-73.
3. Amirjan, M.R., Iranbakhsh, A., and Abnosi, M.H. 2009. Molecular mechanism of photosynthesis. Arak university, P.o. Box38156.
4. Araus, J.L., Amaro, T., Voltas, J., Nakkoul, H., and Nachit, M.M. 1998. Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Field Crops Res.*, 55: 209-223.
5. Bahrololoumi, S.M.J. 2012. Study of effect of salt and water stresses on production Reactive oxygen species (ROS) and fluorescence characteristics of soybean (*Glycine max* L.). M.Sc. Dissertation, Crop Sciences Faculty. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. (In Persian with English Summary)
6. 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: 607-621.
7. Basu, P., Ashoo, S., and Sukumaran, N. 1998. Changes in net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in potato leaves induced by water stress. *Photosynthetic.*, 19: 13-35.
8. Bayat, A.A., Sepehri, A., Ahmadvand, G., and Dorri, H.R. 2010. Effect of water deficit stress on yield and yield components of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *J. Crop Sci.*, 12(1): 42-51. (In Persian with English Summary)

9. Bayoumi, T.Y., Manal, H., and Metwali, E. 2008. Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *Afr.J. Biotechnol.*, 14: 2341-2352.
10. Bhardway, R., and Singhal, G. 1981. Effect of water stress on photochemical activity of chloroplasts during greening etiolated barley seedlings. *Plant Cell Physiol.*, 22(2): 155-162.
11. Colom, M.R., and Vazzana, C. 2003. Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. *Environ. Exp. Bot.*, 49: 135-144.
12. Darvish-Balouchi, M., Paknezhad, F., Kashani, A., Ardakani, M.R., and Darvish-Balouchi, M. 2010. Effect of Drought Stress and some Microelements on Fluorescence chlorophyll parameters, chlorophyll content, RWC, EC, and grain yield in corn (SC704). *Iran. J. Field Crop Sci.*, 41(3): 531-543. (In Persian)
13. Entz, M.H., and Flower, D.B. 1990. Differential agronomic responses of winter wheat cultivars to preanthesis environmental stress. *Crop Sci.*, 30(6): 1119-1123.
14. Eshghizadeh, H.R., and Ehsanzadeh, P. 2009. Effect of defferrent irrigation regims on corn (*Zea mays* L.) genotypes, fluorescencechlorophyll, growthcharacteristics and seed yield. *Iran. J. Field Crop Sci.*, 40(2): 135-144.
15. Gebeyehu, P., Wiese, H., and Schubert, S. 2010. Effects of drought stress on seed sink strength and leaf protein patterns of common bean genotypes. *Afr. Crop Sci. J.*, 18(2): 75-88.
16. Ghanbari, A.A., Shakiba, M.R., Toorchi, M., and Choukan, R. 2013. Morpho-physiological responses of common bean leaf to water deficit stress. *Eur. J. Exp. Biol.*, 3(1): 487-492.
17. Havaux, M., and Niyogi, K.K. 1999. The violoxanthin cycle protects plants from photooxidative damage by more than one mechanism. *Proc. Nation. Aca. Sci.*, 96: 8762- 8767.
18. Havaux, M., Emez, M., and Lannoye, R. 1998. Selection de varieties de ble dur (*Triticum durum* Desf.) et de ble tender (*Triticum aestivum* L.) adapted a la secheresse par I mesure de I extinction de la et de ble tender (*Triticum aestivum* L.) adapted a la secheresse par I mesure de I extinction de la fluorescence de la chlorophylle in viva. *Agronomie.*, 8(3): 193-199.
19. Hong, Z., Lakkineni, K., Zhang, Z., and Verna, P.S. 2000. Removal of feedback inhibition of 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase results in increased praline accumulation and protection of plant from osmotic stress. *Plant Physiol.*, 122, 1129-1136.
20. Javadipour, Z., Movahhedi Dehnavi, M., and Balouchi, H.R. 2012. Evaluation of photosynthesis parameters, chlorophyll content and fluorecence of safflower

- cultivars under saline condition. *Electron. J. Crop Prod.*, 6(2): 35-56. (In Persian with English Summary)
21. Khoshvaghti, H. 2006. Effects of water limitation on growth rate, grain filling and yield of three pinto bean cultivars. M.Sc. Dissertation, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Iran. (In Persian with English Summary)
22. Kisman, A. 2003. Effects of drought stress in growth and yield of soybean. *Sci. Philo.*, PPs 702.
23. Kouchacki, A., and Banayan Avval, M. 1994. *Agricultural Crops*. Third Edition. Mashhad University Jihad Publications, Mashhad, Iran. (In Persian)
24. Kumar, A., and Singh, D.P. 1998. Use of physiological indices as screening technique for drought tolerance in oil seed Brassica species. *Ann. Bot.*, 81: 413-420.
25. Lu, C., and Zhang, J. 1998. Effects of water stress on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition in wheat plants. *Aust. J. Plant Physiol.*, 25: 883.
26. Majnoon Hosein, N. 2009. *Agronomy and Pulses Production*, 4th edition. Tehran University Jihad Publications, Tehran, Iran. (In Persian)
27. Mamnoei, E., and Seyed Sharifi, R. 2010. Study the effects of water deficit on chlorophyll fluorescence indices and the amount of proline in six barley genotypes and its relation with canopy temperature and yield. *J. Plant Biol.*, 5: 51-62. (In Persian with English Summary)
28. Mayek-Perez, N., Garica-Espinosa, R., Lopez-Castanda, C., Acosta-Gallegos, J.A., and Simpson, J. 2002. Water relations, histopathology and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) during pathogenesis of *Macrophomina phaseolina* under drought stress. *Physiol. Mol. Plant Pathol.*, 60: 158-195.
29. Mohammadi, H., Soltani, A., Sadeghipour, H., Zeinali, E., and Najafi Hezarjaribi, R. 2008. Effect of seed deterioration on vegetative growth and chlorophyll fluorescence in soybean (*Glycine max* L.). *J. Agric. Sci. Nat. Resour.*, 15(5): 112-118.
30. Movahhedy Dehnavy, M., Modarres Sanavy, S.A.M., Soroushzadeh, A., and Jalali, M. 2004. Change in proline, total soluble sugars, SPAD and chlorophyll fluorescence in winter safflower cultivars under drought stress and foliar application of zinc and manganese. *Iran. J. Desert.*, 9(1): 93-109. (In Persian with English Summary)
31. Nazari-Nasi, H., Jabbari, F., Azimi, M.R., and Norouzian, M. 2012. Evaluation of Drought Stress on Cell Membrane Stability, Photosynthesis rate, Relative Water Content and seed yield in four pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Iran. J. Field Crop Sci.*, 43(3): 491-199. (In Persian)
32. Ommen, O.E., and Donnelly, A. 1999. Chlorophyll content of spring wheat flag leaves grown under elevated CO<sub>2</sub> concentrations and other environmental stresses within the 'ESPACE-wheat' project. *Eur. J. Agron.*, 10: 197-203.

33. 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(6): 841-847.
34. Piper, F.I., Corcuera, L.J., Alberdi, M., and Lusk, C. 2007. Differential photosynthetic and survival responses to soil drought in two evergreen *Nothofagus* species. *Science.*, 64: 447-452.
35. Rahbarian, R., Khavari-nejad, R.A., Ganjeali, A., Bagheri, A.R., and Najafi, F. 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Acta. Bio. Craco. Ser. Bot.*, 53: 47-56.
36. Ramirez-Vallejo, P., and Kelly, J.D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *J. Euphytica.*, 99(6): 127-136.
37. Rasti-Sani, M., Lahouti, M., and Ganjeali, A. 2014. Effect of drought stress on some morphophysiological traits and chlorophyll fluorescence of red bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iran. J. Pulses Res.*, 5: 1. 103-116. (In Persian with English Summary)
38. Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., and Vivekanadan, M.V. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and Antioxidant metabolism in higher plants. *J. Plant Physiol.*, 161: 1189-1202.
39. Rigoberto, R.S., Josue, K.S., Jorge Alberto, A.G., Carlos, T.L., Joaquín, O.C., and Kelly, J.D. 2004. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. *Field Crops Res.*, 85(6): 203-211.
40. Rohacek, K., Soukupova, J., and Bartak, M. 2008. Chlorophyll fluorescence: A wonderful tool to study plant physiology and plant stress. In Schoefs B, (eds). *Plant Cell Compartments- Selected Topics. Research Signpost, Kerala, India.*, 41-104.
41. Salehpour, M., Ebadi, A., Izadi, M., and Jamaati-e-Somarin, S. 2009. Evaluation of water stress and nitrogen fertilizer effects on relative water content, membrane stability index, chlorophyll and some other traits of lentils (*Lens culinaris* L.) under hydroponics conditions. *Res. J. Environ. Sci.*, 3: 103-109.
42. Samimi Sadeh, N., Saba, J., Shekari, F., and Soleimani, K. 2008. Potential usefulness of the physiological traits for evaluation of drought resistance in wheat. *J. Agric. Sci. Nat. Resour.*, 14(5): 110-115.
43. Sayed, O.H. 2003. Chlorophyll fluorescence as a tool in cereal research. *Photosynthetica*, 3: 321-330.
44. Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carver, B.F., and Mornhinweg, D.W. 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Sci.*, 28: 526-531.

45. Shepherd, A., McGinn, S.M., and Wyseure, G.C.L. 2002. Simulation of the effect of water shortage on the yields of winter wheat in North-East England. *Ecol. Model.*, 147: 41-52.
46. Soltani, A. 2004. Chlorophyll fluorescence and its application. Internal Press". University of Agricultural Science and Natural Resource, Gorgan., Iran.
47. Taize, L., and Zaiger, E. 2007. ABA and Drought Adaptation. (5th ed.). Chapter 25. P: 671-682.
48. Tilahun, A., and Sven, S. 2003. Mechanisms of drought resistance in grain: PSII stomatal regulation and root growth. *Ethiop. J. Sci. Technol.*, 26: 137-144.
49. Turkan, I., Bor, M., Ozdemir, F., and Koca, H. 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Sci.*, 168: 223-231.
50. Yadav, R.S., and Bhushan, C. 2001. Effect of moisture stress on growth and yield in rice genotype. *Indian J. Agric. Res.*, 2: 104-107.
51. Yordanov, I., Velikova, V., and Tsonev, T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulg. J. Plant Physiol. Special Issue.*, 187-206.
52. Zadehbagheri, M., Kamelmanesh, M.M., Javanmardi, S., and Sharafzadeh, S. 2012. Effect of drought stress on yield and yield components, relative leaf water content, proline and potassium ion accumulation in different white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotype. *Afr. J. Agric. Res.*, 7(42): 5661-5670.
53. Zafarani-Moattar, P., Raey, Y., Ghassemi-Golezani, K., and Mohammadi, S.A. 2012. Effect of limited irrigation on growth and yield of bean cultivars. *J. Sustain. Agric. Prod. Sci.*, 21(4): 85-94. (In Persian with English Summary)
54. Zlatev, Z. 2009. Drought-induced changes in chlorophyll fluorescence of young wheat plants. *Biotechnol. Biotechnol. Equip.*, 23(4): 438-441.
55. Zlatev, Z.S., and Yordanov, I.T. 2004. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. *Bulg. J. Plant Physiol.*, 30: 3-18.