

## ارزیابی کارایی مصرف آب و نور ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط رطوبتی و فتوسنتزی متفاوت

مسعود عزت احمدی<sup>۱\*</sup> - قربان نورمحمدی<sup>۲</sup> - مسعود قدسی<sup>۳</sup> - محمد کافی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۹/۹

### چکیده

به منظور ارزیابی عملکرد، کارایی مصرف آب و نور ژنوتیپ‌های گندم، آزمایشی مزرعه ای به صورت کرت های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار و به مدت دو سال زراعی (۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶) در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق مشهد به اجرا در آمد. عامل اصلی آبیاری شامل آبیاری مطلوب و قطع آب از مرحله ظهور بسات تا رسیدگی، عامل فرعی هفت ژنوتیپ جدید گندم شامل لاین‌های شماره ۹۱۰۳، ۹۱۱۶، ۹۲۰۳، ۹۲۰۵، ۹۲۰۷، ۹۲۱۲، C-81-10 و رقم کراس شاهی و عامل فرعی شامل استفاده از فتوسنتز جاری و جلوگیری از فتوسنتز جاری بود. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد، اثر تنش رطوبتی و جلوگیری از فتوسنتز بر عملکرد دانه معنی دار بود. با اعمال تنش رطوبتی و جلوگیری از فتوسنتز جاری عملکرد دانه به ترتیب ۳۵ (۲۹۷۶ کیلوگرم در هکتار) و ۶۸ درصد (۱۸۳۰ کیلوگرم در هکتار) نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی (۴۵۷۷ کیلوگرم در هکتار) و استفاده از فتوسنتز جاری (۵۷۲۲ کیلوگرم در هکتار) کاهش یافت. تنش رطوبتی باعث کاهش کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه ( $WUE_G$ ) و کارایی مصرف نور ( $RUE$ ) شد.  $WUE_G$  تحت شرایط تنش رطوبتی (۰/۶۸۷ کیلوگرم بر متر مکعب آب مصرفی) و جلوگیری از فتوسنتز جاری (۰/۴۰۱ کیلوگرم بر متر مکعب آب مصرفی) در مقایسه با شرایط بهینه رطوبتی (۰/۸۴۱ کیلوگرم بر متر مکعب آب مصرفی) و استفاده از فتوسنتز جاری (۱/۱۲۷ کیلوگرم بر متر مکعب آب مصرفی) به طور معنی داری به ترتیب به میزان ۱۸/۳ و ۶۴/۴ درصد کاهش یافت. دلیل اصلی کاهش کارایی مصرف آب تحت تیمار تنش رطوبتی، کاهش عملکرد دانه بود. اختلافات ژنوتیپی نیز در مورد صفات مورد نظر وجود داشت، به طوری که در شرایط بهینه رطوبتی و قطع آبیاری بالاترین  $WUE_G$  به ترتیب مربوط به ژنوتیپ شماره ۹۱۰۳ و C-81-10 بود و کمترین  $WUE_G$  در هر دو شرایط آبیاری، مربوط به رقم کراس شاهی بود. با توجه به مطالب فوق، ژنوتیپ‌های C-81-10، ۹۱۰۳ و ۹۱۱۶ را می توان به عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش و مناسب برای شرایط تنش رطوبتی معرفی و از آنها در برنامه‌های اصلاحی استفاده نمود.

### واژه های کلیدی: عملکرد، آبیاری، محدودیت منبع، شاخص سطح برگ، تابش

### مقدمه

راهکارها به نظر می رسد. تنش خشکی یکی از عوامل اصلی محدود کننده تولید موفق محصولات زراعی از جمله گندم می باشد. برآورد شده است که حدود ۳۳ درصد از کل سطح زیر کشت گندم دنیا و حدود ۵۵ درصد از زمین‌های زیر کشت گندم کشورهای در حال توسعه، از جمله ایران، به نحوی تحت تاثیر تنش خشکی قرار دارد (۲۱). نتایج تحقیقات بسیاری از محققان نشان می دهد که تنش رطوبتی در مراحل مختلف نمو گندم، باعث کاهش معنی دار عملکرد کل ماده خشک (بیوماس) و عملکرد دانه شده است (۳ و ۱۹). پاسیورا (۲۸) در شرایط محدودیت رطوبت، معادله زیر را برای برآورد عملکرد دانه ارائه نمود:

$$GY = W \times WUE \times HI \quad (۱)$$

در معادله (۱)،  $GY$ ، عملکرد دانه؛  $W$ ، مقدار آب مصرفی؛  $WUE$ ، کارایی مصرف آب و  $HI$ ، شاخص برداشت می باشد. کارایی مصرف

ایجاد پایداری در نظام‌های زراعی یکی از مهم ترین اهدافی است که توسط محققان دنبال می شود و برای رسیدن به این مهم، راهکارهای متفاوتی ارائه شده است. استفاده از ارقام گندم کارآمد در بهره برداری از منابع، به ویژه آب و تابش خورشیدی یکی از مهم ترین

۱- فارغ التحصیل دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران و استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (Email: meahmady@yahoo.com)

۲- استاد دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۳- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

۴- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

افزایش بازده تبدیل تشعشع به ماده خشک (کارایی مصرف نور) یک عامل مهم در ارزیابی مقدار ماده خشک تولیدی در گیاهان زراعی است. بنابراین تولید ماده خشک در شرایط معمولی (بدون تنش) تابعی از زمان و تلفیقی از تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده (PAR)، کسری از PAR جذب شده و کارایی مصرف نور است (۷، ۸ و ۱۵). بر این اساس همان طور که گفته شد، RUE نسبت ماده خشک تولید شده به ازای واحد انرژی استفاده شده در تولید است و واحد آن گرم بر ژول ( $g \cdot J^{-1}$ ) به عنوان فیتوماس به ازای واحد انرژی دریافتی و یا ژول بر ژول ( $J \cdot J^{-1}$ ) به عنوان انرژی موجود در فیتوماس تولیدی به ازای واحد انرژی دریافتی تعریف می‌شود (۴۴). آکرچ و همکاران (۸) مقدار کارایی مصرف نور ارقام گندم را در مراحل مختلف نمو متفاوت گزارش کردند، به طوری که در ارقام مختلف این مقدار در فاصله بین مرحله سبز محصول تا ساقه رفتن ۰/۴۶ تا ۱/۰۸ گرم بر مگاژول، سبز شدن تا گرده افشانی ۱/۳۳ تا ۱/۷۴ گرم بر مگاژول، ساقه رفتن تا گرده افشانی ۱/۱۵ تا ۱/۹۷ گرم بر مگاژول و گرده افشانی تا رسیدگی ۰/۳۹ تا ۱/۵۶ گرم بر مگاژول بود.

فعالیت‌های مختلفی در مورد اثرات تنش رطوبتی بر وضعیت فتوسنتزی گیاه انجام شده و به طور کلی پذیرفته شده است که تنش رطوبتی، توسعه برگ را زودتر از فتوسنتز تحت تاثیر قرار می‌دهد (۳۴). به هر حال، بهینه‌سازی فتوسنتز گیاه تحت شرایط تنش رطوبتی نیازمند ایجاد توازن بین میزان حداکثر فتوسنتز در مراحل بحرانی رشد (هنگامی که شرایط مطلوب باشد) و اجتناب از اثرات مخرب تابش اضافی در شرایط تنش شدید می‌باشد. در این صورت انتخاب صفات مورد نظر، متناسب با وضعیت تنش (از نظر شدت و زمان وقوع) خواهد بود. با توجه به مطالب فوق هدف از این تحقیق، بررسی اثرات تنش رطوبتی بر عملکرد دانه، کارایی مصرف آب و نور ژنوتیپ‌های گندم می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق با استفاده از آزمایشی مزرعه‌ای به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و به مدت دو سال زراعی (۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا بر روی خاک لومی به اجرا در آمد. تیمار آبیاری در کرت‌های اصلی شامل آبیاری مطلوب در طول فصل رشد ( $D_1$ ) و تنش رطوبتی (قطع آبیاری و جلوگیری از نفوذ باران) از مرحله ظهور بساک تا رسیدگی ( $D_2$ )؛ تیمار ژنوتیپ در کرت‌های فرعی شامل هفت ژنوتیپ جدید گندم (لایین‌های شماره ۹۱۰۳ ( $G_1$ )، ۹۱۱۶ ( $G_2$ )، ۹۲۰۳ ( $G_3$ )، ۹۲۰۵ ( $G_4$ )، ۹۲۰۷ ( $G_5$ )، ۹۲۱۲ ( $G_6$ )، انتخابی از

آب، توانایی گیاه برای تولید ماده خشک (بیوماس) به ازای واحد آب تبخیر و تعرق یافته می‌باشد که ریچاردز (۳۳) آن را به وسیله معادله (۲) بیان کرده است:

$$WUE = TE / [1 + (Es / T)] \quad (2)$$

در معادله (۲)، TE، کارایی تعرق (وزن خشک اندام‌های هوایی به میزان آب از دست رفته به وسیله تعرق)؛ Es، مقدار آب از دست رفته از طریق تبخیر از سطح خاک و T، مقدار آب از دست رفته از طریق تعرق به وسیله گیاه زراعی می‌باشد. بر اساس معادله‌های فوق و تجزیه و تحلیل پاسیورا (۲۸) و ریچاردز (۳۳)، در مناطق تحت تنش به منظور افزایش عملکرد دانه، صفات مورد نظر بایستی در راستای توانایی بیشتر برای جذب آب، کارایی بیشتر برای تولید ماده خشک به ازای مقدار آب جذب شده و توانایی گیاه برای اختصاص بیشتر ماده خشک به دانه‌ها باشند. کیو و همکاران (۳۱) در ارزیابی کارایی مصرف آب ارقام گندم، مقدار آن را بر اساس فتوسنتز، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه به ترتیب ۲/۱ تا ۳/۳ میکرو مول دی اکسید کربن بر میلی مول آب، ۱ تا ۲/۶ کیلوگرم بر متر مکعب و ۱/۱ تا ۲/۱ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش کردند. همچنین عملکرد دانه یک گیاه زراعی (از جمله گندم) در طی یک دوره معین با معادله زیر بیان می‌شود (۱۸):

$$GY = RAD \times \%RI \times RUE \times HI \quad (3)$$

در معادله (۳) GY، عملکرد دانه؛ RAD، مقدار کل تابش خورشیدی<sup>۱</sup> دریافت شده به وسیله گیاه زراعی در طی دوره رشد؛  $\%RI$ <sup>۲</sup>، بخشی از RAD جذب شده به وسیله سایه انداز گیاه زراعی به طور متوسط در طی چرخه زندگی گیاه؛ RUE، کارایی مصرف نور<sup>۳</sup> یعنی کارایی کلی فتوسنتزی گیاه زراعی و حاصل نسبت ماده خشک تولیدی به واحد تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (PAR) و HI، شاخص برداشت می‌باشد. به طور کلی عملکرد، متناسب با مجموع فتوسنتز سایه انداز گیاهی در طی دوره رشد می‌باشد (۱۸). عملیات مدیریتی از قبیل تغییر تاریخ کاشت به دلیل تاثیر بر طول دوره زندگی گیاه بر میزان RAD مؤثر خواهد بود.  $\%RI$  می‌تواند از طریق رسیدن سریع تر به پوشش کامل اولیه (یعنی رشد اولیه) و توسعه بیشتر سطح برگ (مثلاً به وسیله اصلاح تحمل به تنش) افزایش یابد. RUE می‌تواند از طریق بهبود نفوذ تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) بین برگ‌های مختلف (یعنی شناخت اصول نمو سایه انداز گیاهی) به موازات پیشرفت در روند کلی فتوسنتزی گیاه در شرایط تنش افزایش یابد (۱۱).

علاوه بر افزایش میزان جذب تشعشع در طول فصل رشد،

- 1- Radiation
- 2- Radiation Interception Percentage
- 3- Radiation Use Efficiency

مکعب در هکتار محاسبه شد (۴ و ۵).

$$V = (R/100) \times 10000m^2 \quad (۵)$$

جهت تعیین شاخص سطح برگ در مراحل مختلف نمو، نمونه تصادفی از سطح ۰/۲ متر مربع انتخاب و از سطح زمین درو شد. پس از جدا کردن ساقه و برگ، سطح برگ در آزمایشگاه توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ تعیین شد (۵). میزان تابش دریافتی با استفاده از دستگاه تابش سنج مجهز به سنسور یک متری در بالا و پایین سایه انداز گیاهی به این صورت اندازه‌گیری شد که عملیات نورسنجی در ظهر خورشیدی (با اختلاف یک ساعت) و زمانی که آسمان کاملاً صاف و بدون ابر بود، انجام شد. سنسور دستگاه تابش سنج در هر کرت به صورت کاملاً افقی و تراز بر فراز بوته‌ها قرار گرفت و نور ورودی به عنوان نور مینا<sup>۱</sup> ( $I_0$ ) قرائت شد. نور پایین سایه انداز گیاهی ( $I$ ) نیز در سه جهت مختلف اندازه‌گیری شد و متوسط آن به عنوان نور عبور یافته<sup>۲</sup> از سایه انداز گیاهی در نظر گرفته شد (۴۰). سپس درصد جذب تابش<sup>۳</sup> (%RI) (۱۸) و ضریب خاموشی نور<sup>۴</sup> (۵) از معادله‌های زیر به دست آمد که LAI، شاخص سطح برگ می‌باشد.

$$\%RI = [1 - (I / I_0)] \times 100 \quad (۶)$$

$$K = [\ln(I_0 / I)] / LAI \quad (۷)$$

با استفاده از آمار تابش روزانه (دریافتی از اداره هواشناسی مجاور ایستگاه محل اجرای آزمایش) و با استفاده از معادله‌های زیر مقادیر تابش روزانه و تجمعی محاسبه گردید:

$$PAR_0 = 0.48 RG_0 \quad (۸)$$

$$PAR_a = 0.95 \times PAR_0 [1 - \exp(-k \times LAI)] \quad (۹)$$

در معادله‌های فوق (۴۵)،  $PAR_0$ ، تابش فعال فتوسنتزی در بالای سایه انداز گیاهی؛  $RG_0$ ، تابش ورودی کل و  $PAR_a$ ، تابش فعال فتوسنتزی جذب شده می‌باشد. مقادیر روزانه LAI از طریق برآزش معادله بین مقادیر شاخص سطح برگ هر مرحله اندازه‌گیری و زمان به دست آمد و تابش جذب شده تجمعی در هر مرحله نمو با داشتن مقادیر روزانه آن محاسبه گردید. در نهایت کارایی مصرف نور (RUE) با استفاده از معادله زیر به دست آمد (۳۹):

$$RUE = (W_n - W_{n-1}) / (cPAR_{a_n} - cPAR_{a_{n-1}}) \quad (۱۰)$$

در معادله (۱۰)،  $W_n$  و  $W_{n-1}$ ، به ترتیب وزن خشک (بیوماس) اندام‌های هوایی در روزهای  $n$  و  $n-1$ ؛ و  $cPAR_{a_n}$  و  $cPAR_{a_{n-1}}$  به ترتیب تابش فعال فتوسنتزی جذب شده در زمان‌های  $n$  و  $n-1$  می‌باشد (۳۹).

شرایط آب و هوایی سال‌های اجرای آزمایش متفاوت بود.

آزمایش یکنواخت سراسری خشکی گندم در سال ۱۳۸۴، C-81-10 و رقم کراس شاهی ( $G_8$ )، حساس به خشکی و تیمار شرایط فتوسنتزی در کرت‌های فرعی فرعی شامل استفاده از فتوسنتز جاری ( $P_1$ )، شرایط معمولی و جلوگیری از فتوسنتز جاری ( $P_2$ ) بود. برای اجرای تیمار اخیر حدود ۱۲ تا ۱۴ روز پس از ظهور سنبله یعنی آغاز مرحله رشد خطی پر شدن دانه‌ها، دید پتاسیم با غلظت ۰/۴ درصد ماده مؤثر بر روی کلیه اندام‌های گیاه از جمله ساقه‌ها، برگ‌ها و سنبله‌ها پاشیده شد تا از فتوسنتز جاری جلوگیری به عمل آید (۱۴).

هر کرت شامل ۶ ردیف با فاصله ۲۰ سانتی متر از یکدیگر (روی دو پشته) و به طول ۷ متر بود. به منظور اطمینان از عدم تداخل آبیاری، بین هر کرت اصلی دو پشته نکاشت (به عرض ۱/۲ متر) قرار گرفت. تاریخ کاشت در هر دو سال ۲۷ مهر و میزان بذر بر اساس تراکم ۵۰۰ بذر در متر مربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های گندم تعیین شد. میزان کود مورد نیاز بر اساس نتایج آزمون خاک و با استفاده از فرمول (۵۰-۹۰-۱۶۰) کیلوگرم N-P-K خالص در هکتار محاسبه و تمامی کود فسفردار و پتاسیم به علاوه یک سوم کود نیتروژن دار همزمان با کاشت (به عنوان کود پایه) و باقیمانده کود نیتروژن به نسبت مساوی در دو مرحله، ابتدای طولی شدن ساقه و ابتدای ظهور سنبله، به صورت سرک مصرف شد. کاشت با استفاده از ماشین بذر کار آزمایشات غلات انجام و سپس آبیاری صورت گرفت تا رطوبت پروفیل خاک در منطقه توسعه ریشه اشباع و جوانه زنی و سبز کردن بذر با سهولت انجام شود. برای کنترل علف‌های هرز دو بار و جین انجام شد.

تیمار تنش رطوبتی در مرحله ظهور بساک به وسیله قطع آبیاری و جلوگیری از نفوذ باران (با استفاده از یک باران گیر متحرک<sup>۱</sup>) اعمال شد (۵). به منظور اندازه‌گیری مقدار آب مصرفی در هر نوبت آبیاری، قبل از آبیاری نسبت به نمونه‌گیری مرکب از خاک تا عمق ۶۰ سانتی متر اقدام شد. سپس نمونه‌های خاک در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و درصد رطوبت وزنی تعیین گردید. سپس آبیاری انجام و بعد از خروج آب ثقلی، یعنی ۴۸ ساعت پس از آبیاری، نمونه برداری مجدداً انجام و میزان آب ذخیره شده در عمق ۶۰ سانتی متری خاک (عمق توسعه ریشه) از طریق معادله زیر محاسبه شد (۴):

$$R = (\theta w_1 - \theta w_2) \times Bd \times r / 100 \quad (۴)$$

که در معادله (۴)،  $\theta w_1$ ، درصد وزنی رطوبت خاک پس از آبیاری؛  $\theta w_2$ ، درصد وزنی رطوبت خاک قبل از آبیاری؛  $Bd$ ، وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب؛  $r$ ، عمق توسعه ریشه گندم و  $R$ ، عمق رطوبت ذخیره شده (سانتی متر) می‌باشد. سپس حجم آب آبیاری ( $V$ ) از طریق معادله (۵) و بر اساس متر

1 - Incident Radiation  
2 - Transmitted Radiation  
3 - Intercepted Radiation  
4 - Extinction Coefficient

1- Mobile Rain Shelter

نشان داد ژنوتیپ‌های ۹۲۰۳ (G3) و C-81-10 (G7) به ترتیب کمترین (۱۲۳۴۳) کیلوگرم در هکتار) و بیشترین (۱۳۰۰۵) کیلوگرم در هکتار) عملکرد بیولوژیک را داشتند (جدول ۲). عملکرد بیولوژیک بالاتر ژنوتیپ C-81-10 می‌تواند ناشی از بالا بودن شاخص سطح برگ، جذب تابش و سرعت رشد محصول باشد. افزایش تولید ماده خشک ممکن است از طریق افزایش جذب تابش (طیف فعال فتوسنتزی) و یا بهبود کارایی بافت‌های فتوسنتزی در استفاده از تابش خورشیدی، حاصل شده باشد (۳۸). افزایش عملکرد بالقوه در آینده عمدتاً از طریق اصلاح ارقامی که وزن خشک بیشتری تولید نموده و همزمان مقادیر شاخص برداشت بالا را حفظ کنند، امکان پذیر خواهد شد (۴۲).

### عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثر اصلی تنش رطوبتی، ژنوتیپ و شرایط فتوسنتزی و همچنین اثر متقابل سال × تنش رطوبتی و سال × تنش رطوبتی × فتوسنتز بر عملکرد دانه معنی دار بود (جدول ۱). میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها تحت شرایط معمولی و قطع آب به ترتیب ۴۵۷۷ و ۲۹۷۶ کیلوگرم در هکتار و تحت شرایط استفاده و جلوگیری از فتوسنتز جاری به ترتیب ۵۷۲۲ و ۱۸۳۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۲). عملکرد دانه تحت شرایط تنش رطوبتی و جلوگیری از فتوسنتز جاری، به ترتیب حدود ۳۵٪ و ۶۸٪ نسبت به شرایط معمولی کاهش یافت. گزارش‌های متعددی در مورد اثر تنش رطوبتی در مراحل مختلف نمو بر کاهش عملکرد دانه گندم وجود دارد که مؤید نتایج این آزمایش است (۲، ۱۹ و ۳۶).

مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم در میانگین تیمارهای تنش رطوبتی و شرایط فتوسنتزی نشان داد ژنوتیپ C-81-10 (G7) و رقم کراس شاهی (G8) به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۲). این در حالی است که همین ژنوتیپ (G7) بیشترین عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص داد. بلوم (۱۴) گزارش کرد برای افزایش عملکرد بالقوه باید میزان ماده خشک تولیدی را افزایش داد. پژوهشگران معتقدند از نظر تحمل به خشکی بین ارقام گندم واریانس ژنوتیپی وجود دارد و معمولاً ارقامی که در شرایط معمولی از عملکرد زیادی برخوردارند، شرایط تنش را نیز بهتر تحمل نموده و عملکرد قابل قبولی تولید می‌کنند (۱) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. خزاعی (۲) گزارش داد در شرایط آب و هوایی مشهد و در اثر تنش رطوبتی سراسر فصل رشد، عملکرد دانه ارقام مورد مطالعه به طور معنی داری کاهش یافت. همچنین قدسی (۵) گزارش داد بحرانی‌ترین مرحله گندم نسبت به تنش رطوبتی، مرحله پر شدن دانه‌ها است که تحت شرایط تنش رطوبتی انتهایی، عملکرد دانه ارقام گندم نسبت به شاهد (آبیاری کامل) کاهش یافت که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

مجموع بارندگی سال اول و دوم به ترتیب ۲۷۹/۸ و ۱۳۹/۵ میلی‌متر بود که به ترتیب ۶۵/۶ میلی‌متر بیشتر و ۷۴/۷ میلی‌متر کمتر از میانگین طولانی مدت بارندگی مشهد (۲۱۴/۲ میلی‌متر) بود. سال اول دارای پاییز ملایم، زمستان سرد و بهار گرم بود و به ترتیب ۱۲/۸، ۵۱ و ۳۶/۲ درصد بارندگی در پاییز، زمستان و بهار نازل شد. سال دوم دارای پاییز سرد، زمستان خیلی سرد و بهاری گرم بود و به ترتیب ۳۰/۳، ۳۸ و ۳۱/۷ درصد بارندگی در پاییز، زمستان و بهار نازل شد. متوسط دمای روزانه سال اول و دوم در فصل بهار به ترتیب ۳/۴۰ و ۳/۳۷ درجه سانتی‌گراد بیش از میانگین طولانی مدت دمای روزانه مشهد در طی این فصل (۱۸/۳ درجه سانتی‌گراد) بود. مرحله‌گرده افشانی بر حسب خروج ۵۰ درصد پرچم‌ها از سنبلچه‌ها مشخص شد. پس از رسیدگی کامل و حذف اثرات حاشیه‌ای، برداشت از ۴ ردیف وسطی به مساحت ۴/۸ متر مربع با داس از سطح خاک انجام و عملکرد بیولوژیک ابتدا اندازه‌گیری و پس از خرمکوبی، عملکرد دانه هر کرت توزین و ثبت شد. برای انجام محاسبات و تجزیه واریانس از نرم افزارهای Excel و Mstac استفاده شد و پس از انجام آزمون یکنواختی داده‌ها، تجزیه واریانس مرکب دو ساله بر روی عملکرد دانه و سایر صفات انجام شد. میانگین مربعات خطا برای هر منبع تغییر، به کمک روش کارمر و همکاران (۱۶) و با استفاده از امید ریاضی آنها تعیین و F جدول محاسبه و برای مقایسه میانگین‌ها از روش دانکن استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### عملکرد بیولوژیک

تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد اثر سال، تنش رطوبتی، شرایط فتوسنتزی و اثر متقابل سال × تنش رطوبتی، سال × تنش رطوبتی × فتوسنتز در سطح ۱٪ و اثر ژنوتیپ در سطح ۵٪ بر عملکرد بیولوژیک معنی دار بود (جدول ۱). عملکرد بیولوژیک تحت شرایط تنش رطوبتی حدود ۱۵/۷٪ نسبت به شرایط مطلوب کاهش یافت. بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۳۶۵۰ کیلوگرم در هکتار) از تیمار آبیاری کامل و کمترین آن (۱۱۵۰۹ کیلوگرم در هکتار) از تیمار تنش رطوبتی به دست آمد (جدول ۲). عملکرد بیولوژیک بالاتر تیمار D1 عمدتاً ناشی از عملکرد دانه بالاتر و تا حدودی ارتفاع بلندتر بوته بود. عملکرد بیولوژیک تحت شرایط استفاده از فتوسنتز جاری و جلوگیری از فتوسنتز جاری، به ترتیب ۱۴۲۳۴ و ۱۰۹۲۶ کیلوگرم در هکتار بود. به عبارتی تحت شرایط جلوگیری از فتوسنتز جاری، عملکرد بیولوژیک حدود ۲۳/۲ درصد نسبت به شرایط معمولی (استفاده از فتوسنتز جاری) کاهش یافت (جدول ۲). عملکرد بیولوژیک کمتر تیمار P2 ناشی از عملکرد دانه پایین‌تر بود.

بین عملکرد بیولوژیک ژنوتیپ‌های گندم تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها

جدول ۱- خلاصه نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد ارزیابی

منابع تغییر	صفات		عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه	کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد بیولوژیک
	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک				
سال	۳۷۱۷۲۰۸۰**	۱۴۶۷۸۴۸۲۸/۸**	۵/۵۶۱**	۱/۲۵۷**		
تکرار (سال)	۱۱۴۵۷۵/۸	۳۷۱۲۴۷/۲	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵		
تنش رطوبتی	۱۲۲۹۹۶۸۲۷/۷**	۲۲۰۱۰۹۷۹۴/۹**	۰/۱۶۵ <sup>ns</sup>	۱/۱۴۵**		
سال × تنش رطوبتی	۱۶۵۰۵۸۶۹/۹**	۳۱۰۲۵۵۵۶/۱**	۰/۵۴۵ <sup>ns</sup>	۰/۳۸۹**		
تکرار × تنش رطوبتی (سال)	۵۴۰۰۵/۷	۱۱۰۷۵۴۹/۸	۰/۰۴۶	۰/۰۰۲		
ژنوتیپ	۴۶۷۴۶۶۵/۴*	۱۵۱۷۱۴۷/۱*	۰/۰۶۳*	۰/۲۰۰*		
سال × ژنوتیپ	۷۴۸۸۰۶/۵ <sup>ns</sup>	۲۹۸۷۰/۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۳۳ <sup>ns</sup>		
تنش رطوبتی × ژنوتیپ	۴۳۱۳۴۳/۵ <sup>ns</sup>	۱۹۶۵۲۵/۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۶ <sup>ns</sup>		
سال × تنش رطوبتی × ژنوتیپ	۲۸۶۵۶۵/۹*	۷۹۳۶۱۱/۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۳۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۳*		
خطا	۱۰۷۵۳۵/۳	۵۴۸۹۳۷/۱	۰/۰۲۴	۰/۰۰۵		
فتوستنتر	۷۲۷۰۴۵۰۶۰/۶**	۵۲۵۲۹۳۸۶۰/۶**	۹/۸۸۳**	۲۵/۳۴۴**		
سال × فتوستنتر	۳۷۱۵۹۷۶۰/۹ <sup>ns</sup>	۲۹۸۱۲۴۰۴/۴ <sup>ns</sup>	۰/۷۳۹ <sup>ns</sup>	۱/۲۵۷ <sup>ns</sup>		
تنش رطوبتی × فتوستنتر	۶۹۶۸۱۵۳۵/۹ <sup>ns</sup>	۷۲۲۸۸۷۰۶/۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۳۴ <sup>ns</sup>	۰/۵۴۲ <sup>ns</sup>		
سال × تنش رطوبتی × فتوستنتر	۱۲۴۴۲۵۰۵/۹**	۲۸۳۰۰۰۳۳/۲**	۰/۶۶۸**	۰/۲۶۶**		
ژنوتیپ × فتوستنتر	۱۰۵۸۷۴۶/۳ <sup>ns</sup>	۱۱۸۱۱۶۵/۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۵۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۴۲ <sup>ns</sup>		
سال × ژنوتیپ × فتوستنتر	۵۲۱۰۹۲/۷ <sup>ns</sup>	۴۳۷۳۲۵/۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۲۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۲۶ <sup>ns</sup>		
تنش × ژنوتیپ × فتوستنتر	۳۶۳۰۷۸/۵ <sup>ns</sup>	۱۶۹۶۰۴/۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۷ <sup>ns</sup>		
سال × تنش رطوبتی × ژنوتیپ × فتوستنتر	۲۲۰۴۷۱/۷ <sup>ns</sup>	۳۱۱۱۵۲/۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۱*		
خطا	۱۰۸۶۶۰/۰	۲۵۵۴۸۴/۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۴		
ضریب تغییرات (C.V%)	۸/۳۲	۴/۰۲	۳/۹۸	۸/۶۲		

\*, \*\* و ns به ترتیب به معنی معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی دار.

کراس شاهی (G8) کمترین (۱۲۱۳) کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند.

اثر متقابل تنش رطوبتی × ژنوتیپ × فتوستنتر بر عملکرد دانه نشان داد، در شرایط معمولی و استفاده از فتوستنتر جاری و نیز در شرایط تنش رطوبتی و استفاده از فتوستنتر جاری ژنوتیپ ۹۱۰۳ (G1) بالاترین عملکرد دانه (به ترتیب ۷۸۷۰ و ۴۹۰۰ کیلوگرم در هکتار) را داشت. همچنین در شرایط مطلوب رطوبتی و جلوگیری از فتوستنتر جاری ژنوتیپ C-81-10 (۲۸۳۶ کیلوگرم در هکتار) و در شرایط تنش رطوبتی و جلوگیری از فتوستنتر جاری ژنوتیپ های ۹۱۱۶ (۱۸۸۷ کیلوگرم در هکتار) و C-81-10 (۱۸۵۳ کیلوگرم در هکتار) بیشترین عملکرد دانه را داشتند. در حالی که در کلیه شرایط رطوبتی و فتوستنتری، رقم کراس شاهی کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. پالتا و همکاران (۲۷) نشان دادند تحت تنش محدودیت رطوبتی عملکرد دانه و فتوستنتر جاری به ترتیب به میزان ۲۴٪ و ۵۷٪ کاهش یافت. در این تحقیق، در سال اول و دوم، عملکرد دانه تحت تنش رطوبتی نسبت به شرایط مطلوب به ترتیب حدود ۲۶ و ۴۱ درصد کاهش یافت.

اثر متقابل تنش رطوبتی × شرایط فتوستنتری بر عملکرد دانه معنی دار نبود، ولی بالاترین عملکرد دانه (۷۱۲۵ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل و استفاده از فتوستنتر جاری به دست آمد، در حالی که در شرایط تنش رطوبتی و جلوگیری از فتوستنتر جاری کمترین عملکرد دانه (۱۶۳۲ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد. نتایج نشان داد تحت شرایط تنش رطوبتی انتهایی، میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ ها و ارقام گندم در صورت استفاده از فتوستنتر جاری (شرایط معمولی) حدود ۳۹/۴ درصد و در شرایط جلوگیری از فتوستنتر جاری حدود ۱۹/۵ درصد نسبت به شرایط معمولی (آبیاری کامل) کاهش یافت. با توجه به نتایج حاصل از اثر متقابل ژنوتیپ × شرایط فتوستنتری بر عملکرد دانه مشخص شد که علاوه بر اثر متفاوت شرایط فتوستنتری بر عملکرد دانه، واکنش ارقام نیز در شرایط فتوستنتری متفاوت بود. به طور کلی در بین ارقام و ژنوتیپ های مورد بررسی، در شرایط استفاده از فتوستنتر جاری ژنوتیپ ۹۱۰۳ (G1) از پتانسیل عملکرد دانه بالایی (۶۳۸۵ کیلوگرم در هکتار) برخوردار بود، در صورتی که رقم کراس شاهی (G8) عملکرد دانه پایینی (۴۴۳۳ کیلوگرم در هکتار) داشت. در شرایط جلوگیری از فتوستنتر جاری ژنوتیپ C-81-10 (G7) بیشترین (۲۳۴۵ کیلوگرم در هکتار) و رقم



جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب (بر حسب عملکرد بیولوژیک و دانه)

صفات	عملکرد دانه (kg.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد بیولوژیک (kg.ha <sup>-1</sup> )	کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه (kg.ha <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )	کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد بیولوژیک (kg.ha <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )	*تنش رطوبتی
D <sub>1</sub>	۴۵۷۷ a	۱۲۶۵۰ a	۰/۸۴۱ a	۲/۵۹۸ a	
D <sub>2</sub>	۲۹۷۶ b	۱۱۵۰۹ b	۰/۶۸۷ b	۲/۶۵۶ a	
*رقم					
G <sub>1</sub>	۴۱۰۵ a	۱۲۷۹۱ a	۰/۸۳۰ a	۲/۶۷۰ a	
G <sub>2</sub>	۴۰۹۸ a	۱۲۸۰۷ a	۰/۸۲۹ a	۲/۶۷۱ a	
G <sub>3</sub>	۳۸۱۱ ab	۱۲۳۴۳ b	۰/۷۶۹ b	۲/۵۷۸ a	
G <sub>4</sub>	۳۵۰۹ b	۱۲۳۸۱ ab	۰/۷۱۵ b	۲/۵۸۹ a	
G <sub>5</sub>	۳۸۱۸ ab	۱۲۴۸۷ a	۰/۷۷۲ b	۲/۶۰۶ a	
G <sub>6</sub>	۳۸۶۹ ab	۱۲۴۶۳ a	۰/۷۸۶ b	۲/۶۰۳ a	
G <sub>7</sub>	۴۱۷۷ a	۱۳۰۰۵ a	۰/۸۴۸ a	۲/۷۱۶ a	
G <sub>8</sub>	۲۸۲۳ c	۱۲۳۶۲ ab	۰/۵۶۵ c	۲/۵۸۴ a	
*فتوسنتز					
P <sub>1</sub>	۵۷۲۲ a	۱۴۲۳۴ a	۱/۱۲۷ a	۲/۸۵۴ a	
P <sub>2</sub>	۱۸۳۰ b	۱۰۹۲۶ b	۰/۴۰۱ b	۲/۴۰۰ b	

\*D<sub>1</sub>، آبیاری مطلوب در طول فصل رشد و D<sub>2</sub>، قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا رسیدگی. G<sub>1</sub>، G<sub>2</sub>، G<sub>3</sub>، G<sub>4</sub>، G<sub>5</sub>، G<sub>6</sub>، G<sub>7</sub> و G<sub>8</sub> به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۹۱۰۳، ۹۱۱۶، ۹۲۰۳، ۹۲۰۵، ۹۲۰۷، ۹۲۱۲، ۸۱-۸۱-۱۰-C و رقم کراس شاهی. P<sub>1</sub>، استفاده از فتوسنتز جاری و P<sub>2</sub>، جلوگیری از فتوسنتز جاری. میانگین‌های دارای یک حرف مشترک در سطح ۵٪ با یکدیگر اختلاف آماری معنی دار ندارند.

مفهوم کاهش جذب نور، کاهش جذب و ساخت و نهایتاً کاهش اختصاص مواد فتوسنتزی به سنبله در حال رشد است که اثر منفی آن ممکن است با کاهش تعداد دانه در واحد سطح متجلی می‌شود (۱۳) و (۳۷).

شاخص سطح برگ در مرحله خمیری نرم در تیمار D<sub>2</sub> برابر ۲/۶۸۶ و در تیمار D<sub>1</sub> برابر ۳/۸۶۸ و این شاخص در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در تیمار D<sub>2</sub> برابر ۱/۷۴۸ و در تیمار D<sub>1</sub> برابر ۳/۲۱۷ بود (جدول ۳). شرایط نسبتاً سخت ناشی از تنش رطوبتی پس از مرحله ظهور بساک در تیمار D<sub>2</sub> که باعث پیری زودرس، زرد شدن و ریزش برگها شد، دلیل کاهش سطح سبز برگ تحت تنش رطوبتی پس از ظهور بساک (D<sub>2</sub>) بود. کاهش سطح سبز برگ و دوام سطح برگ با کوتاه شدن دوره پر شدن دانه تحت تأثیر محدودیت رطوبتی پس از ظهور بساک (D<sub>2</sub>) باعث جذب تشعشع در طول دوره پر شدن دانه در مقایسه با شرایط بهینه رطوبتی (D<sub>1</sub>) شد و بنابراین کاهش جذب و ساخت در این مقطع زمانی، تأثیر منفی مستقیم بر وزن دانه داشت. به طور خلاصه کاهش سطح سبز برگ در طول دوره پر شدن دانه و کاهش طول این دوره می‌تواند تفسیر کاهش عملکرد در شرایط تنش محدودیت رطوبتی پس از ظهور بساک باشد. رینولدز و همکاران (۳۲) افزایش سطح سبز برگ و به تبع آن افزایش جذب تشعشع را در طول دوره پر شدن دانه از دلایل عملکرد بالاتر ارقام

اثر متقابل سال × تنش رطوبتی × شرایط فتوسنتزی بر عملکرد دانه معنی دار بود، به طوری که میزان کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی و جلوگیری از فتوسنتز جاری در سال دوم نسبت به سال اول بیشتر بود. گزارشات متعددی (۲، ۵ و ۳۰) در مورد اثر تنش رطوبتی در مراحل مختلف نمو گندم (به ویژه پس از مرحله ظهور بساک) بر کاهش عملکرد دانه وجود دارد که مؤید نتایج حاصل از این آزمایش است.

### شاخص سطح برگ

اثر تنش رطوبتی در مراحل خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک و اثر ژنوتیپ در مراحل ظهور برگ پرچم، ظهور بساک، خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک بر شاخص سطح برگ معنی دار بود (جدول ۳). شرایط بهینه رطوبتی (D<sub>1</sub>) برتری محسوسی نسبت به تیمار تنش رطوبتی (D<sub>2</sub>) از نظر شاخص سطح برگ در مراحل خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک داشت (جدول ۳). با توجه به زمان اعمال تنش رطوبتی به نظر می‌رسد که این تفاوت عمدتاً به دلیل تفاوت در پیری برگ باشد. رابرتسون و گیوتتا (۳۵) کاهش سطح برگ را در تنش محدودیت رطوبتی قبل از ظهور بساک (مرحله سنبلیچه انتهایی، ظهور بساک) و بهوتا و همکاران (۱۳) کاهش سطح برگ پرچم را در شرایط تنش رطوبتی در گندم گزارش کردند. کاهش سطح سبز برگ به

### کارایی مصرف آب

حجم آب مصرفی در تیمار شاهد (آبیاری کامل) و تیمار تنش رطوبتی (قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا پایان دوره رشد و جلوگیری از نفوذ باران) در سال اول به ترتیب ۵۱۹/۵ و ۴۳۴/۶ و در سال دوم به ترتیب ۵۲۳/۷ و ۴۳۲ میلی متر بود (جدول ۴). نتایج به دست آمده از کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه ( $WUE_G$ ) نشان داد، در سال دوم به طور متوسط برای تیمارهای تنش رطوبتی، کارایی مصرف آب بالاتر از مقادیر آن در سال اول بود (جدول ۴). با اعمال تیمار تنش رطوبتی، کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه (WUE<sub>G</sub>) نیز نشان داد با اعمال تیمار تنش رطوبتی، کارایی مصرف آب (WUE<sub>G</sub>) به طور نسبی کاهش یافت (جدول ۴). دلیل اصلی کاهش کارایی مصرف آب تحت تیمار تنش رطوبتی، کاهش بیشتر صورت کسر (یعنی عملکرد دانه) در قیاس با مخرج کسر (آب مصرفی) بود. آندرسون (۱۰) نیز گزارش نمود تحت تیمارهای تنش رطوبتی شدید در مراحل بحرانی نمو (طویل شدن ساقه، گلدهی و ظهور بساک) به علت تاثیر شدید تنش بر تجمع ماده خشک، کارایی مصرف آب گندم کاهش یافت که نتایج این آزمایش را تایید می نماید، هر چند ناصری و فلاحی (۲۵) کاهش کارایی مصرف آب را با افزایش تعداد دفعات آبیاری در گندم گزارش کردند.

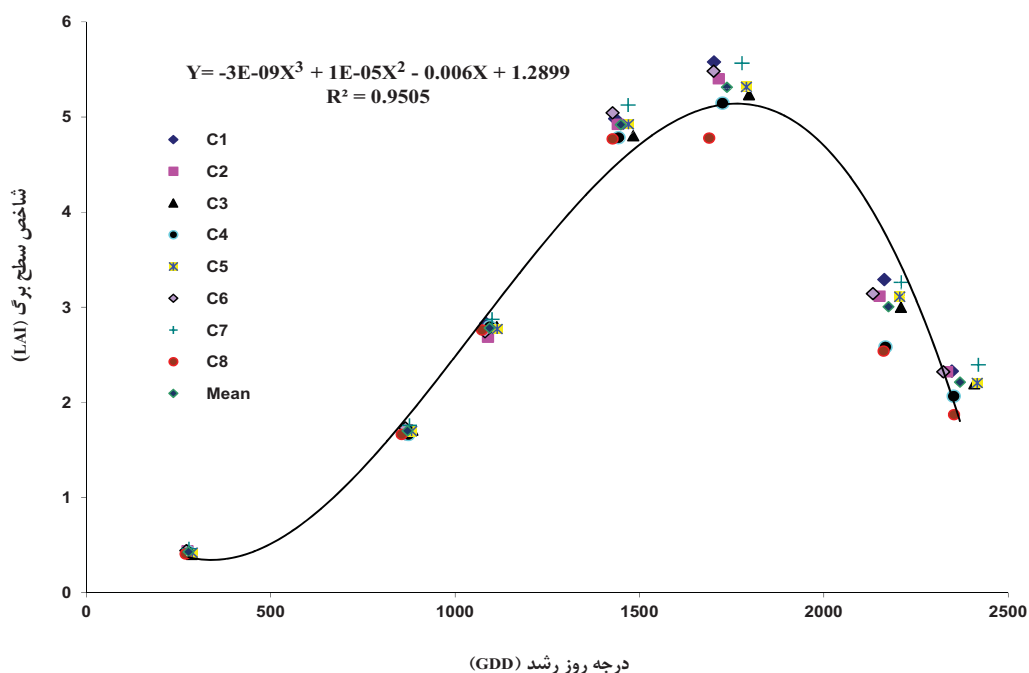
جدید گندم گزارش کردند. بنابراین اهمیت شاخص سطح سبز برگ در مرحله پر شدن دانه در ارتباط با عملکرد دانه واضح است. کاهش سطح سبز برگ ناشی از تنش رطوبتی در مرحله پر شدن دانه به دلیل پیری زودرس برگها و کاهش دوام سطح سبز برگ توسط بسیاری از پژوهشگران در گندم گزارش شده است (۵ و ۱۱).

ژنوتیپ‌های گندم از نظر شاخص سطح سبز برگ تفاوت‌های معنی‌داری را در مراحل ظهور برگ پرچم، ظهور بساک، خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک نشان دادند (جدول ۳). ژنوتیپ‌های  $G_1$ ،  $G_2$ ،  $G_6$  و  $G_7$  در مراحل نمو فوق، بیشترین شاخص سطح سبز برگ را داشتند. کمترین شاخص سطح سبز برگ در مراحل نمو فوق، مربوط به ژنوتیپ‌های  $G_8$  (کراس شاهی) و  $G_4$  (۹۲۰۵) بود (شکل ۱). با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲ و ۷ بالاترین عملکرد دانه را نیز دارا بودند و پس از این سه ژنوتیپ، ژنوتیپ شماره ۶ از نظر عملکرد دانه قرار داشت و کمترین عملکرد دانه نیز مربوط به ژنوتیپ شماره ۸ بود، با مقایسه روند شاخص سطح برگ، کاهش عملکرد ژنوتیپ شماره ۸ و افزایش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲، ۷ و ۶ تفسیر می‌شود.

جدول ۳- اثر محدودیت رطوبتی و ژنوتیپ بر شاخص سطح برگ در مراحل مختلف نمو گندم

شاخص سطح برگ در مراحل مختلف نمو							
تیمار	دو برگی	گل‌انگیزی (F.I)	ابتدای طویل شدن ساقه (T.S)	ظهور برگ پرچم (Booting)	ظهور بساک (Anthesis)	خمیری نرم (Soft dough)	رسیدگی فیزیولوژیک
*تنش رطوبتی							
D <sub>1</sub>	۰/۴۳۳a	۱/۷۰۵a	۲/۸۱۰a	۴/۸۹۷a	۵/۳۳۷a	۳/۸۶۸a	۲/۲۱۷a
D <sub>2</sub>	۰/۴۳۵a	۱/۷۳۰a	۲/۸۱۱a	۴/۹۳۶a	۵/۳۰۱a	۲/۶۸۶b	۱/۷۴۸b
*ژنوتیپ							
G <sub>1</sub>	۰/۴۴۸a	۱/۷۳۱a	۲/۸۸۶a	۴/۹۷۴ab	۵/۵۶۸a	۳/۵۶۹a	۲/۶۵۶a
G <sub>2</sub>	۰/۴۴۲a	۱/۷۱۱a	۲/۶۵۸b	۴/۹۷۵ab	۵/۴۱۹a	۳/۳۷۱a	۲/۶۰۵a
G <sub>3</sub>	۰/۴۲۰a	۱/۷۲۳a	۲/۸۳۸a	۴/۷۸۵bc	۵/۲۴۹ab	۳/۲۴۶ab	۲/۴۴۸ab
G <sub>4</sub>	۰/۴۲۸a	۱/۷۵۵a	۲/۷۹۴ab	۴/۷۲۲c	۵/۱۲۳b	۳/۰۸۲b	۲/۳۲۳b
G <sub>5</sub>	۰/۴۲۳a	۱/۶۸۶a	۲/۷۷۱ab	۴/۹۴۳ab	۵/۳۲۵ab	۳/۳۳۰a	۲/۵۰۵ab
G <sub>6</sub>	۰/۴۲۷a	۱/۷۰۷a	۲/۸۵۵a	۵/۰۴۹a	۵/۰۶a	۳/۳۲۵a	۲/۵۵۴ab
G <sub>7</sub>	۰/۴۶۰a	۱/۷۲۲a	۲/۸۸۰a	۵/۱۱۷a	۵/۵۹۵a	۳/۵۲۱a	۲/۶۸۸a
G <sub>8</sub>	۰/۴۲۴a	۱/۷۰۵a	۲/۸۰۳a	۴/۷۶۹bc	۴/۸۵۸c	۲/۷۶۴c	۲/۰۸۴c

\*D<sub>1</sub>، آبیاری مطلوب در طول فصل رشد و D<sub>2</sub>، قطع آبیاری از مرحله ظهور بساک تا رسیدگی.  $G_1$ ،  $G_2$ ،  $G_3$ ،  $G_4$ ،  $G_5$ ،  $G_6$ ،  $G_7$  و  $G_8$  به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۹۱۰۳، ۹۱۱۶، ۹۲۰۳، ۹۲۰۵، ۹۲۰۷، ۹۲۱۲، ۹۲۱۳، ۸۱-۱۰-C و رقم کراس شاهی. میانگین‌های دارای یک حرف مشترک در سطح ۵٪ با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ ژنوتیپ‌های گندم با پیشرفت مراحل نمو

جدول ۴- میزان بارندگی، حجم آب مصرفی، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب آبیاری در تیمارهای مختلف تنش رطوبتی

میانگین دوساله WUE <sub>G</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	WUE <sub>G</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	عملکرد دانه (kg.ha <sup>-1</sup> )	حجم آب مصرفی با احتساب بارندگی مؤثر (mm)	بارندگی (mm)	سالهای اجرای آزمایش	تیمار تنش
۸/۷۶۸	۷/۳۹۷	۳۸۴۳	۵۱۹/۵	۵۸/۱	اول	D <sub>1</sub>
	۱۰/۱۳۹	۵۳۱۰	۵۲۳/۷	۷۶/۶	دوم	
۶/۸۶۹	۶/۵۰۹	۲۸۲۹	۴۳۴/۶	۷/۶	اول	D <sub>2</sub>
	۷/۲۲۹	۳۱۲۳	۴۲۲/۰	۴۷/۳	دوم	

بود که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. در میانگین دو سال اجرای آزمایش در شرایط آبیاری مطلوب، ژنوتیپ C-81-10 (G<sub>7</sub>) و در شرایط تنش رطوبتی، ژنوتیپ ۹۱۰۳ (G<sub>1</sub>) بیشترین کارایی مصرف آب آبیاری را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

اگر چه اثر متقابل تنش رطوبتی × ژنوتیپ × فتوسنتز بر کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه معنی دار نبود، ولی مشخص شد که بیشترین WUE<sub>G</sub> (۱/۳۸۹ کیلوگرم بر متر مکعب) در میانگین دو سال به تیمار D<sub>1</sub>G<sub>1</sub>P<sub>1</sub> (ژنوتیپ ۹۱۰۳ در شرایط مطلوب رطوبتی و استفاده از فتوسنتز جاری) و کمترین WUE<sub>G</sub> (۰/۲۵۸ کیلوگرم بر متر مکعب) به تیمار D<sub>2</sub>G<sub>8</sub>P<sub>2</sub> (رقم کراس شاهی در شرایط تنش رطوبتی

در سال اول اجرای آزمایش، بالاترین WUE<sub>G</sub> در تیمار D<sub>1</sub> به ژنوتیپ ۹۱۱۶ (G<sub>2</sub>) اختصاص یافت، در حالی که در تیمار D<sub>2</sub> بیشترین WUE<sub>G</sub> متعلق به ژنوتیپ ۹۲۱۲ (G<sub>6</sub>) بود. در هر دو شرایط رطوبتی و در هر دو سال آزمایش، رقم کراس شاهی (G<sub>8</sub>) کمترین WUE<sub>G</sub> را داشت (جدول ۵). دلیل اصلی کم یا زیاد بودن WUE<sub>G</sub> در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی و در تیمار تنش رطوبتی، به عملکرد دانه آنها مربوط بود. بر طبق یافته‌های محققان (۹ و ۲۸) در شرایطی که مقدار آب مصرفی برای ژنوتیپ‌های گندم مشابه باشد، ارقامی که در شرایط بدون تنش (پتانسیل) و یا شرایط تنش رطوبتی از عملکرد دانه بالاتری برخوردار باشند، کارایی مصرف آب آنها نیز بیشتر خواهد





(D<sub>2</sub>) باعث کاهش معنی دار شاخص سطح برگ در مراحل خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک شد (جدول ۳)، اما اثر این عامل بر ضریب خاموشی نور (K) غیر معنی دار بود (داده‌ها نشان داده نشده). بنابراین با توجه به اینکه جذب نور تابعی از شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور می باشد (۱۸)، به دلیل تأثیر کم تیمار محدودیت رطوبتی و ژنوتیپ بر ضریب خاموشی نور، تفاوت درصد جذب نور فعال فتوسنتزی در تیمارهای مختلف محدودیت رطوبتی و ژنوتیپ‌ها بیشتر ناشی از تفاوت در سطح سبز برگ آنها بود. عدم تأثیر تنش محدودیت رطوبتی در مراحل مختلف نمو بر ضریب خاموشی نور توسط رابرتسون و گیونتا (۳۵) گزارش شده است؛ آنها تفاوت غیرمعنی دار ضریب K بین واریته‌های گندم را نیز گزارش کردند. بررسی دیگری عدم تفاوت ژنوتیپی بین واریته‌های تریتیکاله از نظر ضریب خاموشی نور گزارش شده است (۱۷).

الزویسکی (۲۶) کاهش معنی دار میزان فتوسنتز و تعرق را در ارقام گندم در اثر تنش رطوبتی گزارش کردند. با توجه به شرایط بهینه رطوبتی تیمار D<sub>2</sub> تا مرحله ظهور بساک، عدم تفاوت معنی دار آن از نظر جذب نور تا مرحله ظهور بساک با تیمار D<sub>1</sub> قابل انتظار بود. با افزایش شاخص سطح برگ از مرحله گل‌انگیزی تا ظهور بساک، جذب نور فعال فتوسنتزی نیز افزایش نشان داد (داده‌ها نشان داده نشده)، هر چند بین تیمار D<sub>1</sub> و D<sub>2</sub> اختلاف معنی داری وجود نداشت. درصد جذب نور فعال فتوسنتزی در مراحل خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک با توجه به کاهش LAI، روند کاهشی نشان داد. همچنین با اعمال تنش رطوبتی، میزان جذب نور فعال فتوسنتزی در مراحل خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک کاهش معنی داری را نشان داد (از ۷۸/۳ درصد به ۶۷/۵ درصد در مرحله خمیری نرم و از ۶۶/۹ درصد به ۵۴/۹ درصد در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک). این افزایش ناشی از تولید برگ‌های بیشتر و رشد گیاه و در نتیجه افزایش سطح برگ بود. آراس و همکاران (۱۱ و ۱۲) اثر تنش رطوبتی را بر تسریع پیری برگ و کاهش سطح سبز برگ و در نتیجه کاهش جذب نور فعال فتوسنتزی گزارش کردند.

نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های گندم از نظر جذب نور فعال فتوسنتزی تفاوت‌های معنی داری داشتند. کمترین درصد جذب نور فعال فتوسنتزی در مرحله گل‌انگیزی به ژنوتیپ‌های G<sub>3</sub> و G<sub>4</sub> تعلق داشت (به ترتیب ۳۹/۴ و ۳۹/۷ درصد)، هر چند بین ژنوتیپ‌ها در مرحله گل‌انگیزی از نظر جذب نور فعال فتوسنتزی اختلاف آماری معنی داری وجود نداشت. افزایش درصد جذب نور فعال فتوسنتزی (PARI) در تمام ژنوتیپ‌ها تا ظهور بساک ادامه داشت (شکل ۲). ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲ و ۷ در مرحله ظهور بساک برتری خود را بر سایر ژنوتیپ‌ها از نظر جذب نور فعال فتوسنتزی نشان دادند (شکل ۲). تفاوت ژنوتیپ‌ها از نظر درصد جذب نور فعال فتوسنتزی در طی مراحل رشد، به دلیل تفاوت آنها از نظر شاخص سطح سبز برگ بود.

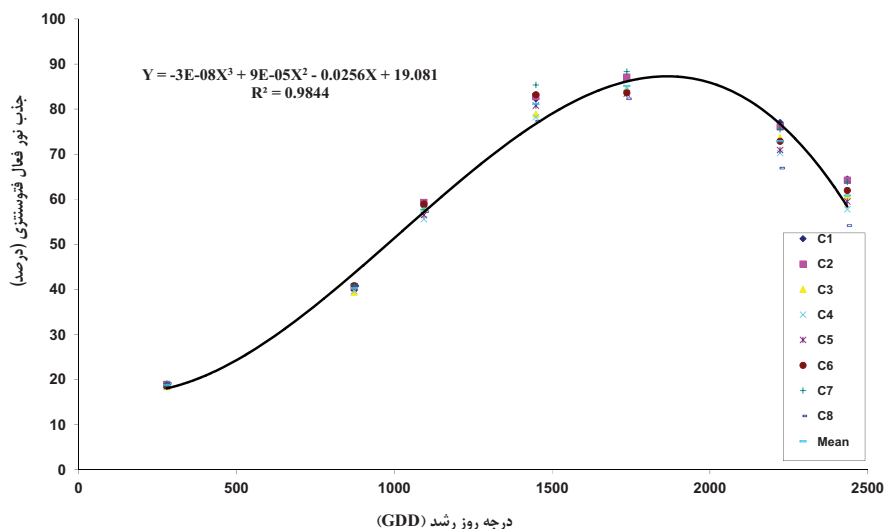
عملکرد بیولوژیک به ازای هر واحد آب مصرفی در شرایط محدودیت رطوبتی (۲/۶۵۶ کیلوگرم بر متر مکعب) نیز افزایش غیر معنی داری نسبت به شرایط بهینه رطوبتی (۲/۵۹۸ کیلوگرم بر متر مکعب) نشان داد (جدول ۲). افزایش راندمان مصرف آب (عملکرد دانه به ازای هر واحد آب مصرفی) در شرایط بهینه رطوبتی در مقایسه با شرایط محدودیت رطوبتی حدود ۲۲٪ بود، ولی در ارتباط با عملکرد بیولوژیک به ازای هر واحد آب مصرفی، حدود ۲٪ کاهش نشان داد (جدول ۲). زانگ و همکاران (۴۶)، ناصری و فلاحی (۲۵) و کیو و همکاران (۳۱) افزایش کارایی مصرف آب را در گندم در شرایط تنش محدودیت رطوبتی گزارش کردند.

مقایسه ژنوتیپ‌های گندم از نظر عملکرد دانه تولیدی به ازای هر واحد آب مصرفی نشان داد که ژنوتیپ C-81-10 (G<sub>7</sub>) با ۰/۸۴۸ کیلوگرم در متر مکعب آب مصرفی، بیشترین کارایی مصرف آب را دارا بود (جدول ۲). کمترین کارایی مصرف آب (۰/۵۶۵ کیلوگرم به ازای متر مکعب آب مصرفی) مربوط به ژنوتیپ کراس شاهی (G<sub>8</sub>) بود (جدول ۲). اختلاف ژنوتیپ‌ها از نظر کارایی مصرف آب به توانایی آنها از نظر جذب رطوبت خاک و گسترش سیستم ریشه و توانایی آنها در اختصاص بیشتر ماده خشک به دانه مربوط می‌شود (۲۹). گزارش‌های متعددی تنوع ژنتیکی را در بین ارقام گندم از نظر کارایی مصرف آب مورد تأکید قرار داده است (۶، ۹، ۲۱ و ۲۵) که نتایج حاصل از این بررسی را تایید می‌نماید.

مقایسه شرایط بهینه و محدودیت فتوسنتزی از نظر کارایی مصرف آب (عملکرد دانه و بیولوژیک به ازای هر واحد آب مصرفی) نشان داد که در شرایط بهینه فتوسنتزی عملکرد دانه به ازای هر واحد آب مصرفی (۱/۱۲۷ کیلوگرم بر متر مکعب) افزایش معنی داری نسبت به شرایط جلوگیری از فتوسنتز (۰/۴۰۱ کیلوگرم بر متر مکعب) نشان داد (جدول ۲). عملکرد بیولوژیک به ازای هر واحد آب مصرفی در شرایط بهینه فتوسنتزی (۲/۵۸۴ کیلوگرم بر متر مکعب) نیز افزایش غیر معنی داری نسبت به شرایط جلوگیری از فتوسنتز (۲/۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب) نشان داد (جدول ۲). افزایش راندمان مصرف آب (عملکرد دانه به ازای هر واحد آب مصرفی) در شرایط مطلوب فتوسنتزی در مقایسه با شرایط جلوگیری از فتوسنتز حدود ۶۴٪ بود، ولی در ارتباط با عملکرد بیولوژیک به ازای هر واحد آب مصرفی حدود ۷٪ کاهش نشان داد.

### درصد جذب نور فعال فتوسنتزی (PARI)

اثر محدودیت رطوبتی در مراحل خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک و اثر ژنوتیپ در مراحل ظهور برگ پرچم، ظهور بساک، خمیری نرم و رسیدگی فیزیولوژیک بر درصد جذب نور فعال فتوسنتزی معنی دار بود (داده‌ها نشان داده نشده). تیمار تنش رطوبتی



شکل ۲- تغییرات جذب نور فعال فتوسنتزی (PARI) ژنوتیپ های گندم با پیشرفت مراحل نمو

برگ باشد، زیرا در شرایط تنش رطوبتی جلوگیری از جذب تشعشع اضافی که باعث فعال شدن بازدارنده های فتوسنتزی می شود (۳۳)، بسیار حایز اهمیت است.

برخی واکنش های وارینه های متحمل به تنش رطوبتی (مانند لوله شدن برگ و کرک دار بودن سطح سبز برگ) که باعث اجتناب از خسارات ناشی از جذب نور اضافی می شود (۴۳)، مکانیزم های خود تنظیمی به منظور کاهش خسارات تنش رطوبتی از طریق کاهش جذب تشعشع اضافی می باشد. کاهش سطح سبز برگ و در نتیجه کاهش جذب نور فعال فتوسنتزی و به تبع آن کاهش جذب و ساخت و تجمع ماده خشک در شرایط تنش رطوبتی باعث شد که نهایتاً راندمان مصرف نور با شرایط بهینه تفاوت معنی داری نداشته باشد. عدم تأثیر تنش رطوبتی بر کارایی مصرف نور در گندم (۳۵) و غلات مناطق معتدله (۲۴) نیز گزارش شده است. روند خطی نیز بین تجمع ماده خشک نسبت به نور فعال فتوسنتزی جذب شده تجمعی در ژنوتیپ های مختلف گندم مشاهده شد (شکل ۴). مقایسه شیب خط رگرسیون بین تجمع ماده خشک و نور فعال فتوسنتزی جذب شده تجمعی (راندمان مصرف نور) در ژنوتیپ های مختلف نیز تفاوت غیر معنی دار بین ژنوتیپ های گندم را نشان داد. کاهش تجمع ماده خشک به نسبت کاهش نور فعال فتوسنتزی جذب شده تجمعی بود و

تفاوت ژنتیکی از نظر شاخص سطح سبز برگ و درصد جذب نور فعال فتوسنتزی در گندم (۳۵ و ۳۷)، جو (۲۲) و تریبیکاله (۱۷) نیز گزارش شده است.

### کارایی مصرف نور (RUE)

روند تجمع ماده خشک با توجه به نور فعال فتوسنتزی جذب شده تجمعی (CPARI) در شرایط بهینه و محدودیت رطوبتی در شکل ۳ نشان داده شده است. مقایسه شیب خطوط برازش (راندمان مصرف نور) در شرایط بهینه (D<sub>1</sub>) با شرایط محدودیت رطوبتی (D<sub>2</sub>) نشان داد که راندمان مصرف نور در شرایط بهینه با محدودیت رطوبتی تفاوت معنی داری نداشت. عدم تأثیر محدودیت رطوبتی بر راندمان مصرف نور به دلیل کاهش نسبی و یکسان نور تجمعی جذب شده (CPARI) و ماده خشک بود، زیرا بین تجمع ماده خشک و نور جذب شده یک رابطه خطی وجود دارد (۱۲، ۲۳ و ۳۹).

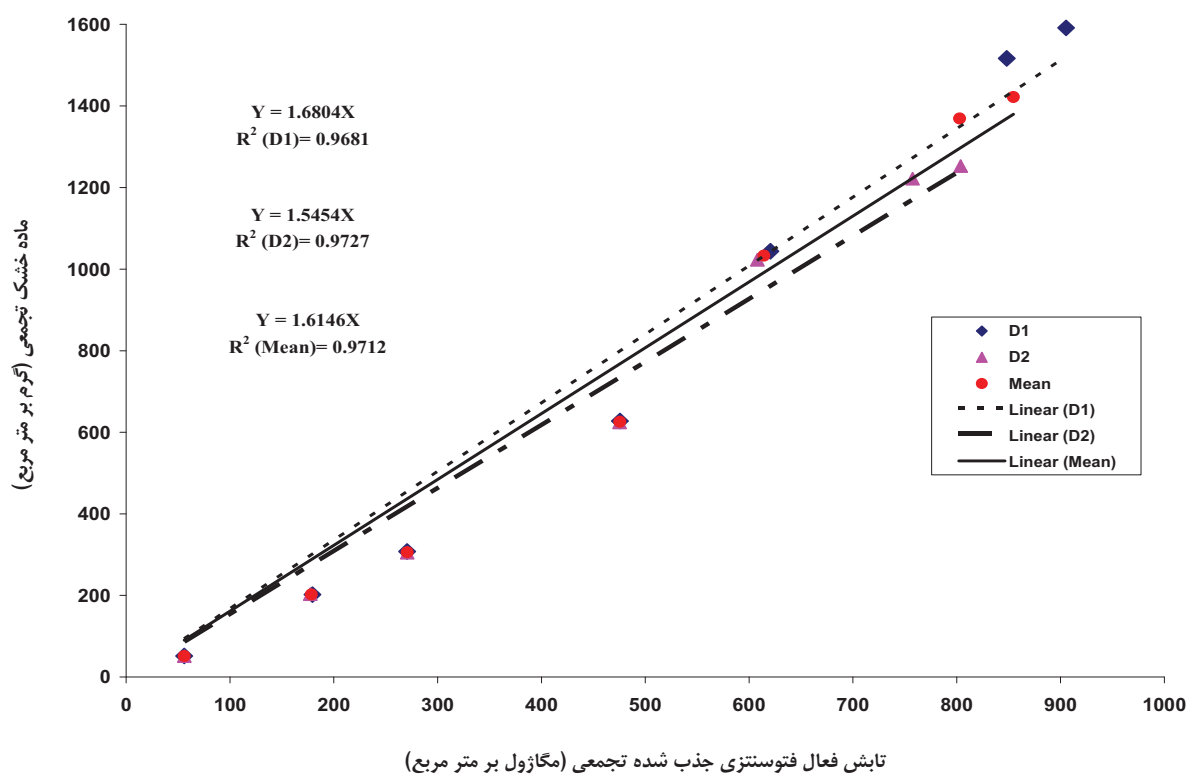
بنابراین کاهش تجمع ماده خشک به نسبت کاهش جذب نور فعال فتوسنتزی جذب شده تجمعی در شرایط تنش رطوبتی، باعث ثابت بودن راندمان مصرف نور شد. به نظر می رسد که کاهش جذب نور در شرایط تنش رطوبتی (و به تبع آن کاهش تجمع ماده خشک) یک سازوکار خود تنظیمی گیاه تحت تنش از طریق کاهش سطح سبز

اضافی در شرایط تنش شدید می باشد. در این صورت انتخاب صفات مورد نظر، متناسب با وضعیت تنش (از نظر شدت و زمان وقوع) خواهد بود.

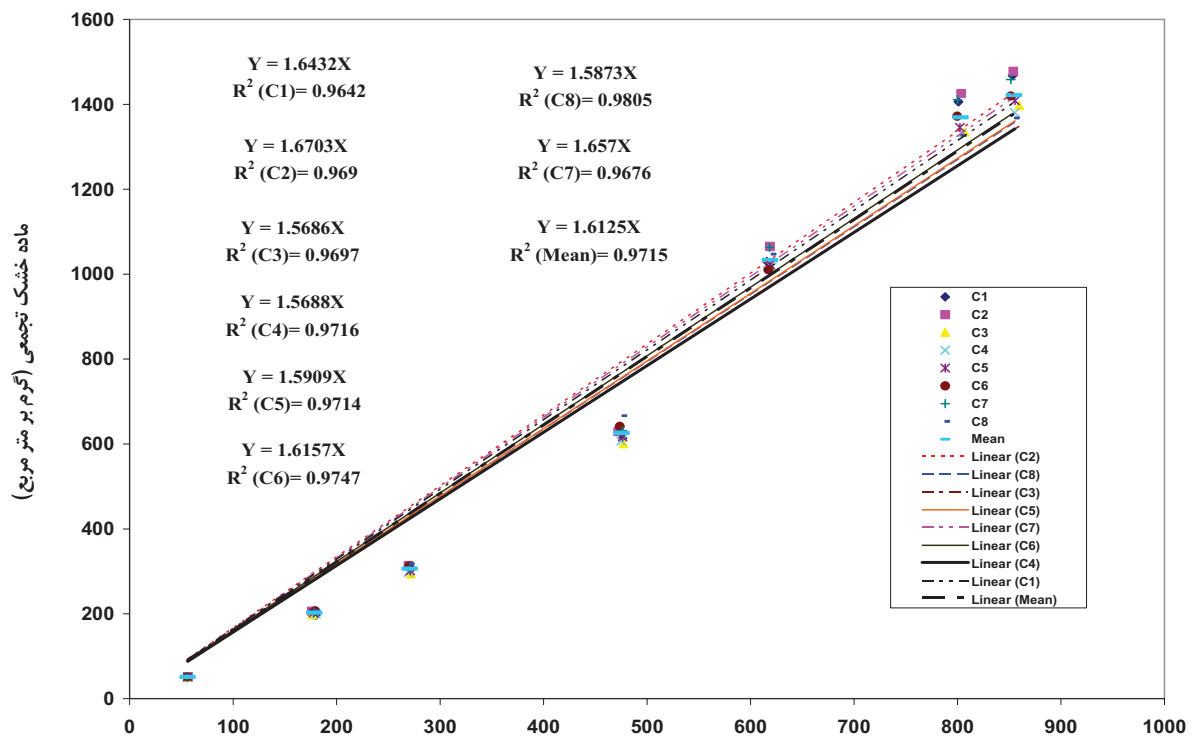
بر اساس نتایج به دست آمده از این آزمایش در شرایط معمولی رطوبتی و استفاده از فتوسنتز جاری ژنوتیپ های ۹۱۰۳، ۹۱۱۶، و C-81-10 جزء برترین ژنوتیپ ها از نظر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب بودند. ژنوتیپ های C-81-10، ۹۱۱۶ و ۹۲۰۷ تحت شرایط معمولی و جلوگیری از فتوسنتز جاری بالاترین عملکرد دانه و کارایی مصرف آب را داشتند. در شرایط تنش رطوبتی و تحت شرایط استفاده از فتوسنتز جاری ژنوتیپ های ۹۱۰۳، ۹۲۱۲ و C-81-10 و در شرایط تنش رطوبتی و جلوگیری از فتوسنتز جاری ژنوتیپ های ۹۱۱۶، C-81-10 و ۹۱۰۳ دارای بالاترین عملکرد دانه و کارایی مصرف آب بودند. با توجه به مطالب فوق، ژنوتیپ های C-81-10 و ۹۱۱۶ را می توان به عنوان ژنوتیپ های امید بخش و مناسب برای شرایط تنش رطوبتی معرفی نمود، در حالی که تحت شرایط معمولی هم عملکرد دانه آنها بالا بود.

ژنوتیپ هایی که وزن خشک کمتری داشتند به همان نسبت نور کمتری جذب کرده بودند و نهایتاً راندمان مصرف نور، نسبتاً ثابت بود. رابرتسون و گیونتا (۳۵) عدم تنوع ژنتیکی را در بین واریته های گندم از نظر راندمان مصرف نور گزارش کردند. لگ و همکاران (۲۲) نتایج مشابهی در جو و سزردنیک و نالبورزیک (۱۷) در تریتیکاله گزارش کردند، که نتایج این تحقیق را تایید می نماید.

کالدربنی و همکاران (۱۵) در مورد کارایی مصرف نور در گندم بیان داشتند که اگرچه RUE در ارقام قدیمی و جدید در دوره قبل از گرده افشانی یکسان بود، اما در ارقام جدید در طی دوره پس از گرده افشانی به طور بارزی کارایی مصرف نور و سرعت رشد محصول نسبت به ارقام قدیمی بیشتر بود. همچنین آنها اظهار داشتند در مرحله گرده افشانی زیست توده ارقام جدید کمتر از ارقام قدیمی بود و بنابراین کارایی مصرف نور به عنوان یک شاخص فیزیولوژیک مهم بایستی در برنامه های به نژادی گندم منظور شود. به طور خلاصه می توان گفت بهینه سازی فتوسنتز گیاه تحت شرایط تنش، نیازمند ایجاد توازن بین میزان حداکثر فتوسنتز در مراحل بحرانی رشد (هنگامی که شرایط مطلوب باشد) و اجتناب از اثرات مخرب تابش



شکل ۳- ارتباط بین ماده خشک تجمعی و تابش فعال فتوسنتزی جذب شده تجمعی (CPARI) در شرایط بهینه (D<sub>1</sub>) و محدودیت رطوبتی (D<sub>2</sub>)



تابش فعال فتوسنتزی جذب شده تجمعی (مگاژول بر متر مربع)

شکل ۴- ارتباط بین ماده خشک تجمعی و تابش فعال فتوسنتزی جذب شده تجمعی (CPARI) در ژنوتیپ‌های گندم

## منابع

- ۱- اهدایی، ب. ۱۳۷۲. انتخاب برای مقاومت به خشکی در گندم. مجموعه مقالات کلیدی اولین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران. کرج. ص. ۴۳-۶۲.
- ۲- خزاعی، ح.ر. ۱۳۸۱. اثر تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیکی ارقام مقاوم و حساس گندم و معرفی مناسبترین شاخص‌های مقاومت به خشکی. رساله دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۲۵ صفحه.
- ۳- عزت احمدی، م، ق. نورمحمدی، م. قدسی و م. کافی. ۱۳۸۹. اثر تنش رطوبتی و محلول پاشی یدید پتاسیم بر خصوصیات زراعی و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۸ (۲): ۱۸۶-۱۷۷.
- ۴- علیزاده، ا. ۱۳۷۲. اصول طراحی سیستم های آبیاری. دانشگاه امام رضا، ص ۲۰۵-۲۰۲.
- ۵- قدسی، م. ۱۳۸۳. جنبه های اکوفیزیولوژیک کمبود آب بر رشد و نمو ارقام گندم. رساله دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی. دانشگاه تهران. ۲۱۸ صفحه.
- 6- Abd El-Rahman, G. 2009. Water use efficiency of wheat under drip irrigation systems at Al-Maghara area, North Sinai, Egypt. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci. 5 (5): 664-670.
- 7- Acreche, M.M., and G.A. Slafer. 2009. Grain weight, radiation interception and use efficiency as affected by sink-strength in Mediterranean wheats released from 1940 to 2005. Field Crops Res. 110: 98-105.
- 8- Acreche, M.M., G. Briceño-Félix, J.A.M. Sánchez and G.A. Slafer. 2009. Radiation interception and use efficiency as affected by breeding in Mediterranean wheat. Field Crops Res. 110: 91-97.
- 9- Ali, M.H., and M.S.U. Talukder. 2008. Increasing water productivity in crop production - A synthesis. Agric. Water Manag. 95: 1201-1213.
- 10- Anderson, W.K. 1992. Increasing grain yield and water use of wheat in a rainfed Mediterranean type environment. Aust. J. Agric. Res. 43: 1-17.
- 11- Araus, J.L., G.A. Salfer, M.P. Reynolds and C. Royo. 2002. Plant breeding and drought in C3 cereals: What should we breed for? Ann. Bot. 89: 925-940.



- 12- Araus, J.L., J. Bort, P. Steduto, D. Villegas and C. Royo. 2003. Breeding cereals for Mediterranean conditions: ecophysiological clues for biotechnology application. *Ann. Appl. Biol.* 142: 129-141.
- 13- Bhutta, W.M., M. Ibrahim and A. Tahira. 2006. Association analysis of some morphological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under field stress conditions. *Plant Soil Environ.* 52 (4): 171-177.
- 14- Blum, A. 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. *Euphytica.* 100: 77-83.
- 15- Calderini, D.F., M.F. Dreccer and G.A. Slafer. 1997. Consequences of breeding on biomass, radiation interception and radiation use efficiency in wheat. *Field Crops Res.* 52: 271-281.
- 16- Carmer, S.G., W.E. Nyquist and W.M. Walker. 1989. Least significant differences for combined analysis of experiments with two or three factor treatment design. *Agron. J.* 81: 665-672.
- 17- Czerednik, A., and E. Nalborczyk. 2001. Physiological factors affecting yield formation in the canopy of traditional and new morphotypes of triticale plant (*X Triticosecale* wittmack). *Acta Physiol. Plantarum.* 23: 55-68.
- 18- Fischer, R.A. 2001. Selection traits for improving yield potential. *In: Reynolds, M.P., J.I. Ortiz-Monasterio and A. McNab, (eds). Application physiology in wheat breeding. Mexico, D. F., CIMMYT., pp: 148-159.*
- 19- Hamam, K.A. 2008. Increasing yield potential of promising bread wheat lines under drought stress. *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 4(6): 842-860.
- 20- Katerji, N., M. Mastrorilli and G. Rana. 2008. Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: Review and analysis. *Europ. J. Agron.* 28: 493-507.
- 21- Kirigwi, F.M., M. Van Ginkel, R.G. Trethowan, R.G. Sears, S. Rajaram, and G.M. Paulsen. 2004. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. *Euphytica.* 135: 361-371.
- 22- Legg, B.J., W. Day, D.W. Lawlor and K.J. Parkinson. 1979. The effect of drought on barley growth: models and measurements showing the relative importance of leaf and photosynthetic rate. *J. Agric. Sci. Camb.* 92: 703-716.
- 23- Miralles, D.J., and G.A. Slafer. 1997. Radiation interception and radiation use efficiency of near-isogenic wheat lines with different height. *Euphytica.* 97: 201-208.
- 24- Muchow, R.C. 1989. Comparative productivity of maize, sorghum and pear millet in a semi-arid tropical environment. II. Effects of water deficits. *Field Crops Res.* 20: 207-219.
- 25- Nasserri, A., and H.A. Fallahi. 2007. Water use efficiency of winter wheat under deficit irrigation. *J. Biol. Sci.* 7(1): 19-26.
- 26- Olszewski, J., A. Pszczalkowska, T. Kulik, G. Fordoński, K. Płodzień, A. Okorski and J. Wasielewska. 2008. Rate of photosynthesis and transpiration of winter wheat leaves and ears under water deficit conditions. *Pol. J. Natur. Sci.* 23(2): 326-335.
- 27- Palta, J.A., T. Kobata, N.C. Turner and I.R. Fillery. 1994. Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by postanthesis water deficits. *Crop Sci.* 34: 118-124.
- 28- Passioura, J.B. 1996. Drought and drought tolerance. *Plant Growth Reg.* 20: 79-83.
- 29- Passioura, J.B. 1997. Grain yield, harvest index and water use efficiency of wheat. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 43: 117-120.
- 30- Praba, M.L., J.E. Cairns, R.C. Babu and H.R. Lafitte. 2009. Identification of physiological traits underlying cultivar differences in drought tolerance in rice and wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 195: 30-46.
- 31- Qiu, G.Y., L. Wang, X. He, X. Zhang, S. Chen, J. Chen and Y. Yang. 2008. Water use efficiency and evapotranspiration of winter wheat and its response to irrigation regime in the north China plain. *Agric. Water Manag.* 148: 1848-1859.
- 32- Reynolds, M.P., B. Skovmand, R.M. Terthowan, R.P. Singh and M. Van Ginkel. 2000. Applying physiology strategies to wheat breeding. Anonymous: Research highlights of the CIMMYT wheat program .Mexico, D.F., CIMMYT. pp: 49-56.
- 33- Richards, R.A. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regul.* 20: 157-166.
- 34- Richards, R.A., A.G. Condon and G.J. Rebetzke. 2001. Traits to improve yield in dry environments. *In: Reynolds, M.P., J.I. Ortiz-Monasterio and A. McNab. (eds). Application of Physiology in Wheat Breeding. Mexico, D.F. CIMMYT. 240 pages.*
- 35- Robertson, M.J., and F. Giunta. 1994. Response of spring wheat exposed to pre-anthesis water stress. *Aust. J. Agric. Res.* 45: 19-35.
- 36- Shahryari, R., E. Gurbanov, A. Gadimov and D. Hassanpanah. 2008. Tolerance of 42 bread wheat genotypes to drought stress after anthesis. *Pak. J. Biol. Sci.* 11(10): 1330-1335.
- 37- Shearman, V.J., R. Sylvester-Bradley, R.K. Scott and M.J. Foulkes. 2005. Physiological processes associated with yield progress in the UK. *Crop Sci.* 45: 175-185.
- 38- Siddique, K.H.M., R.K. Belford, M.W. Perry and D. Tennant. 1989. Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean type environment. *Aust. J. Agric. Res.* 40: 473-487.
- 39- Sinclair, T.R., and R.C. Muchow. 1999. Radiation-use efficiency. *In: Advances in Agronomy. Sparks, D.L., (ed.). pp. 215-265.*
- 40- Slafer, G.A., and R. Savin. 1994. Sink-source relationships and grain mass at different positions within the spike in wheat. *Field Crops Res.* 37:39-49.

- 41- Slafer, G.A., F.H. Andrade and E.H. Satorre. 1990. Genetic-improvement effects on pre-anthesis physiological attributes related to wheat grain-yield. *Field Crops Res.* 23: 255-263.
- 42- Slafer, G.A., and J.L. Araus. 1998. Keynote address: Improving wheat responses to abiotic stresses. *In: Slinkard A.E. (ed.). Proceeding of the 9th International Wheat Genetics Symposium. Saskatchewan, pp: 201-213.*
- 43- Tardy, F., A. Creach and M. Havaux. 1998. Photosynthetic pigment concentration, organization and interconversions in pale green Syrian landraces of barley (*Hordeum vulgare* L. Tadmor). Adapted to harsh climate conditions. *Plant Cell and Environ.* 21: 479-489.
- 44- Tollenaar, M., and A. Aguilera. 1992. Radiation use efficiency of an old and a new maize hybrid. *Agron. J.* 84: 536-541.
- 45- Varlet Grancher, C., G. Gosse, M. Chartier, H. Sinoquet, R. Bonhomme and J.M. Allirand. 1989. Mise au point: Rayonnement solaire absorbe ou intercepte par un couvert vegetal. *Agronomie.* 9: 419-439.
- 46- Zhang, X., S. Chen, H. Sun, Y. Wang, and L. Shao. 2010. Water use efficiency and associated traits in winter wheat cultivars in the North China Plain. *Agric. Water Manag.* 97: 1117-1125