



## ارزیابی عملکرد، کارایی مصرف آب و نور در ارقام حساس و مقاوم به خشکی گندم تحت سطوح مختلف آبیاری

زینب رحیمی<sup>۱</sup>، فرزاد حسین پناهی<sup>۲\*</sup> و عادل سی‌وسه مرده<sup>۳</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
  - ۲.\* نویسنده مسئول، استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
  ۳. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
- پست الکترونیک نویسنده مسئول [f.hosseinpanahi@agri.uok.ac.ir](mailto:f.hosseinpanahi@agri.uok.ac.ir)

پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۰۴

دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۶

### چکیده

به منظور بررسی اثرات تنش خشکی بر ارقام حساس و مقاوم به خشکی گندم، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه‌ی طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان انجام شد. کرت‌های اصلی، شامل پنج سطح مختلف FI (آبیاری به میزان نیاز آبی گیاه)، FI ۷۵٪، FI ۵۰٪ و FI ۲۵٪ و NI تیمار بدون آبیاری، و کرت‌های فرعی، شامل ارقام حساس (گاسکوژن و سایونز) و رقم مقاوم (آذر ۲) به خشکی گندم بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد، که اختلاف بین تیمارهای آبیاری و ارقام مورد مطالعه از نظر عملکرد اقتصادی و بیولوژیکی و کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد اقتصادی و بیولوژیکی معنی‌دار بود. با کاهش فراهمی آب، عملکرد اقتصادی و بیولوژیکی، کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد اقتصادی و بیولوژیکی و کارایی مصرف نور نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی کاهش یافت. در مجموع رقم مقاوم از نظر عملکرد اقتصادی و بیولوژیکی، بهره‌وری مصرف آب و نور برتر از ارقام حساس بود اما شاخص برداشت کمتری نسبت به ارقام حساس داشت. به طور کلی افزایش کارایی مصرف آب و نور در شرایط تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل برتری رقم مقاوم نسبت به دو رقم حساس بود.

**واژه‌های کلیدی:** بهره‌وری مصرف آب، تشعشعات فعال فتوسنتزی، تنش خشکی، سایونز، گاسکوژن

## مقدمه

امروزه بهبود کارایی مصرف آب (WUE) و تولید محصول بیشتر در ازای واحد آب مصرفی، از مهم‌ترین اهداف کشاورزی حتی در شرایط تنش خشکی می‌باشند. کارایی مصرف آب (WUE) معمولاً به عنوان یک جزء مهم در عملکرد و تحمل گیاهان زراعی به خشکی در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس، استدلال می‌شود که کارایی مصرف آب در کشت دیم، با افزایش تولید به ازای هر واحد آب مصرفی، افزایش می‌یابد. معمولاً در شرایط تنش خشکی کارایی مصرف آب (WUE) افزایش پیدا می‌کند، اما افزایش WUE در شرایط خشکی با افزایش تولید همراه نیست و میان این دو همبستگی منفی وجود دارد چرا که افزایش WUE ناشی از کاهش تعرق است و از افزایش تولید ناشی نمی‌شود. تا هنگامی که در شرایط تنش خشکی، امکان افزایش ظرفیت فتوسنتزی به دلیل محدودیت‌های ژنتیکی و محیطی وجود نداشته باشد، WUE بیشتر با کاهش تعرق در گیاهان زراعی همراه است و با توجه به وابستگی عملکرد به تعرق، این مساله به کاهش عملکرد می‌انجامد (Blum, 2009). برای افزایش بهره‌وری آب، مجموعه‌ای از یک سامانه کارآمد زراعی اعم از مهار آب، انتقال آب تا مزرعه، توزیع یکنواخت و صحیح آب در مزرعه، اتخاذ روش صحیح آبیاری، عملیات کاشت و داشت صحیح، رعایت دقیق مسائل به‌زراعی و به‌نژادی و... مورد نیاز است. تنش خشکی یکی از عوامل اصلی محدودکننده تولید موفق محصولات زراعی از جمله گندم می‌باشد. در شرایط تنش خشکی، به دلیل بسته شدن روزنه‌ها در طول دوره تنش و تغییر کارایی مصرف آب، ماده خشک تولیدی گیاه کاهش می‌یابد (Shamsi *et al.*, 2011).

دریافت تشعشع خورشیدی توسط گیاهان و مصرف آن در تولید زیست توده‌ی گیاهان نشان دهنده‌ی فرایندهای بنیادینی است که رشد و عملکرد گیاهان زراعی را کنترل می‌کند (Hemayati *et al.*, 2008). محاسبه‌ی راندمان مصرف نور یک راه کار مؤثر و کارا برای کمی کردن تجمع ماده خشک است و به صورت افزایش ماده خشک به ازای جذب هر واحد تابش فعال فتوسنتزی تعریف می‌شود و اغلب به صورت شیب رگرسیون خطی زیست توده در مقابل تابش جذب شده جمعی محاسبه می‌شود (Bai *et al.*, 2016). در شرایطی که

کمبود آب و مواد غذایی وجود نداشته باشد و در غیاب مشکل آفات و بیماری‌ها، تولیدات گیاهی یک رابطه خطی با مقدار تابش جمعی دریافتی دارند و تابش فعال فتوسنتزی جذب شده به عنوان مهم‌ترین عامل رشد گیاه خواهد بود (Tohidi *et al.*, 2012).

ایجاد پایداری در نظام‌های زراعی یکی از مهم‌ترین اهدافی است که توسط محققان دنبال می‌شود و برای رسیدن به این مهم، راهکارهای متفاوتی ارائه شده است. استفاده از ارقام گندم کارآمد در بهره‌برداری از منابع، به ویژه آب و تابش خورشیدی یکی از مهم‌ترین راه‌کارها به نظر می‌رسد. هدف از این مطالعه ارزیابی اثرات فراهمی آب در مقادیر مختلف بروی کارایی مصرف آب و نور ارقام حساس (گاسکوژن و سایونز) و مقاوم (آذر ۲) به خشکی که کشت و کار آن طی چند سال اخیر گسترش بسیار زیادی در کشور داشته، می‌باشد. ایران از نظر عرض جغرافیایی در شرایطی قرار دارد که امکان رسیدن به بهره‌وری آب زراعی بالا برای محصولات مختلف از جمله گندم در آن میسر است. با توجه به اهمیت تولید گندم و شرایط اقلیمی کشور، افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب در تولید آن بسیار مهم و حصول آن وابستگی شدیدی به نحوه مصرف آب و سایر نهاده‌ها دارد.

بدیهی است که اعمال دقیق تیمارهای آبیاری بر اساس یک روش معتبر همیشه به عنوان یک چالش در مطالعات تنش خشکی مطرح بوده است. لذا در این مطالعه سعی شد که از روش پنمن‌مونتیث فائو به منظور ارزیابی نیاز آبی گیاه و اعمال تیمارهای مختلف تنش بر اساس آن استفاده شود. براساس توصیه فائو این روش معتبرترین روش برآورد نیاز آبی گیاهان می‌باشد زیرا محاسبات این روش مبتنی بر داده‌های روزانه هواشناسی، اطلاعات جغرافیایی محل و خصوصیات آیرودینامیکی بوده و از این نظر نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد (Allen *et al.*, 1998).

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش اثرات تنش خشکی بر ارقام حساس و مقاوم به خشکی گندم بر اساس آزمایش کرت‌های خرد شده بر پایه‌ی طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان واقع در ۳۵ کیلومتری شهر سنندج (عرض جغرافیایی: ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی: ۴۷ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا: ۱۴۸۰ متر، متوسط بارندگی سالانه: ۳۴۰ میلی‌متر) مورد ارزیابی قرار گرفت. کرت‌های اصلی، شامل پنج سطح مختلف (FI)، آبیاری به میزان نیاز آبی گیاه، FI ۷۵٪، FI ۵۰٪ و FI ۲۵٪ به ترتیب آبیاری به میزان ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه در تیمار FI و NI تیمار بدون آبیاری، و کرت‌های فرعی، شامل ارقام حساس (گاسکوژن (بدون ریشک) و سایونز) و رقم مقاوم به خشکی گندم (آذر ۲، رقم ریشک‌دار) بودند. کشت ارقام در زمینی با مساحت ۱۲۰۰ متر مربع با استفاده از دستگاه خطی کار غلات و با تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع در تاریخ ۱۰ آبان ماه سال ۱۳۹۱ انجام گردید. قبل از کاشت، ضدعفونی تمام بذور با قارچ‌کش کاربندازیم انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل ۱۹ خط کاشت با فاصله خطوط ۱۵ سانتی‌متر به عرض سه متر و طول شش متر بود. همچنین جهت جلوگیری از نشست آب از هر کرت اصلی به کرت اصلی مجاور، فاصله دو متر بین کرت‌های اصلی و فاصله سه متر بین تکرارهای آزمایش منظور شد. کودهای مورد نیاز در زمان کاشت براساس نتایج آزمون خاک به میزان ۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل، ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و ۱۰۰ کیلوگرم اوره مورد استفاده قرار گرفت. در فروردین ماه ۱۳۹۲ کنترل علف‌های هرز پهن برگ با استفاده از علف‌کش توفوردی صورت گرفت و در طول دوره رشد نیز علف‌های هرز باقیمانده به صورت دستی وجین شد. از زمان از سرگیری رشد فعال در فصل بهار (روز ۱۷ فروردین مصادف با اوایل ساقه‌رفتن) تیمارهای مختلف خشکی اعمال شد. جهت محاسبه میزان آب مصرفی، کرت‌های آزمایش با استفاده از لوله‌های پلی‌اتیلنی لوله‌کشی شد و مقدار آب مصرفی در هر آبیاری و برای هر کرت توسط کنتور اندازه‌گیری شد. نیاز آبی گیاه با استفاده از روش پنمن-مونتیث فائو محاسبه شد (Allen et

al., 1998). امروزه در صورت عدم وجود داده‌های لایسی‌متری در یک منطقه، مدل فائو-پنمن-مونتیث (Allen et al., 1998) به عنوان مدل استاندارد برای محاسبه میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع و نیز واسنجی سایر مدل‌های تجربی به کار گرفته می‌شود (Shiri et al., a, b 2014 & Irmak et al., 2003). مدل یاد شده دارای دو مزیت عمده می‌باشد (Landeras et al., 2008): (۱) از آن‌جا که این معادله اساس فیزیکی دارد لذا می‌توان از آن در شرایط مختلف اقلیمی و اکولوژیکی (و بدون نیاز به واسنجی منطقه‌ای) استفاده نمود. (۲) دقت و اعتبار نتایج حاصل از این معادله در شرایط مختلف اقلیمی با استفاده از آزمایش‌های لایسی‌متری به اثبات رسیده است. از سوی دیگر از جمله مهم‌ترین معایب این مدل، نیاز به داده‌های اقلیمی وسیع (شامل دمای هوا، رطوبت، سرعت باد و تابش خورشیدی) می‌باشد. جهت اعمال تیمارهای خشکی ابتدا نیاز آبی گیاه در هر هفته مطابق معادله (۱) برآورد گردید. (Alizadeh and Kamali, 2008).

$$WR = (ET_c + R_o - P_e - CR) / (E_i / 100) \quad (\text{معادله ۱})$$

که در آن WR: نیاز آبی گیاه (میلی‌متر)،  $ET_c$ : تبخیر و تعرق گیاه زراعی (میلی‌متر)،  $R_o$ : رواناب (میلی‌متر)،  $P_e$ : بارندگی مؤثر (میلی‌متر)، CR: صعود کاپیلاری (میلی‌متر) و  $E_i$ : راندمان آبیاری (%). می‌باشند. با توجه به پایین بودن سطح ایستابی آب در منطقه آزمایش، مقدار صعود کاپیلاری صفر در نظر گرفته شد (Allen et al., 1998). همچنین از آن‌جایی که کرت‌های آزمایشی جهت جلوگیری از هدر رفت آب محصور شده بودند لذا مقدار رواناب نیز صفر لحاظ شد. از طرفی فاصله زیاد بین کرت‌ها و تکرارهای آزمایش مانع ورود و خروج جریان‌های افقی درون خاک گردید، لذا مقدار این اجزاء نیز صفر در نظر گرفته شد (Allen et al., 1998). بنابراین نیاز آبی گیاه در عمل بر اساس معادله (۲) محاسبه گردید.

$$WR = (ET_c - P_e) / (E_i / 100) \quad (\text{معادله ۲})$$

میزان تبخیر و تعرق گیاه گندم به صورت هفتگی توسط مدل پنمن-مونتیث فائو و براساس داده‌های روزانه هواشناسی محاسبه شد. در این روش ابتدا تبخیر و تعرق گیاه مرجع ( $ET_o$ ) با استفاده از معادله ۳ و تبخیر و تعرق گیاه زراعی ( $ET_c$ ) با استفاده از معادله ۴ محاسبه شد.

مقدار (a) ۰/۸ در نظر گرفته شد. راندمان آبیاری غالباً حاصل ضرب راندمان ذخیره آب در مخزن، راندمان انتقال و راندمان کاربرد در مزرعه است اما از آنجایی که در شرایط آزمایشی محاسبه دو جزء اول مورد هدف نبود و کنترل آب مستقیماً بر سر مزرعه نصب شد لذا راندمان آبیاری کاربرد در مزرعه به عنوان راندمان نهایی آبیاری مورد استفاده قرار گرفت (Alizadeh and Kamali, 2008). معمولاً راندمان آبیاری در روش‌های کرتی پایین است اما با توجه به لوله‌کشی کرت‌های آزمایش و کنترل کامل ورود و خروج آب در مجموع، راندمان ۹۰ درصد برای شرایط این آزمایش لحاظ شد. بدین ترتیب نیاز آبی برآورد شده برای هر هفته معیار آبیاری در تیمار شاهد اول (FI) قرار گرفت و برای تیمارهای FI ۰/۷۵، FI ۰/۵۰، FI ۰/۲۵ به ترتیب ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه به عنوان آبیاری اعمال شد. تیمار شاهد دوم (NI) نیز در فصل بهار هیچ‌گونه آبی دریافت نکرد.

برای تعیین کارایی مصرف نور میزان ماده خشک تجمعی، شاخص سطح برگ و میزان تابش تجمعی جذب شده در طول دوره رشد اندازه‌گیری شد. میزان ماده خشک تجمعی با نمونه‌برداری از بیوماس تولیدی در مقاطع زمانی طی دوره رشد به دست آمد. مقادیر شاخص سطح برگ روزانه با برازش تابع لجستیک پیک (معادله ۷) به مقادیر LAI اندازه‌گیری شده (Y) تعیین گردید.

$$Y = a + b \times 4 \times (\exp(-(x - c)/d)) / (1 + \exp(-(x - c)/d))^2 \quad (\text{معادله } 7)$$

که در آن، a: عرض از مبدأ (مقدار y در زمان x=۰)، b: زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، c: میانگین سرعت نسبی رشد سطح برگ، d: زمان شروع مرحله خطی رشد شاخص سطح برگ و x: زمان می‌باشند. به این ترتیب شاخص سطح برگ روزانه محاسبه شد. (Koocheki and Khajeh Hossein, 2008). از آنجائیکه میزان دقیق تشعشع خورشیدی حادث در اغلب ایستگاه‌های هواشناسی ثبت نمی‌گردد لذا برآورد میزان تشعشع حادث شده (I) در محل آزمایش براساس روش ساعات آفتابی و ضرایب آنگستروم صورت گرفت (Allen et al., 1998).

$$I = (a + b \times n/N) \times R_a \quad (\text{معادله } 8)$$

$$ET_o = 0/408 \times \Delta \times (R_n - G) + (\gamma \times 900 \times U_2 \times (e_s - e_a) / T + 273) / \Delta + \gamma \times (1 + 0/34 \times U_2) \quad (\text{معادله } 3)$$

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (\text{معادله } 4)$$

که در این معادلات، ET<sub>o</sub>: تبخیر و تعرق مرجع (میلی‌متر در روز)، R<sub>n</sub>: تشعشع خالص در سطح پوشش گیاهی (مگاژول بر متر مربع در روز)، G: شار گرما به داخل خاک (مگاژول بر متر مربع در روز)، T: دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)، U<sub>2</sub>: سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین (متر بر ثانیه)، e<sub>s</sub>: فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)، e<sub>a</sub>: فشار بخار واقعی (کیلوپاسکال)، Δ: شیب منحنی فشار بخار اشباع نسبت به دما (کیلوپاسکال به ازای هر درجه سانتی‌گراد)، γ: ضریب سایکرومتری (کیلوپاسکال به ازای هر درجه سانتی‌گراد)، ET<sub>c</sub>: تبخیر و تعرق گیاه زراعی (میلی‌متر در روز) و K<sub>c</sub>: ضریب گیاهی (بدون واحد) می‌باشند. محاسبه اجزای معادله تبخیر و تعرق مرجع نیازمند اطلاعات جغرافیایی محل از قبیل عرض جغرافیایی و ارتفاع محل از سطح دریا و اطلاعات هواشناسی از قبیل دماهای حداقل و حداکثر روزانه، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی می‌باشد که از ایستگاه هواشناسی اخذ گردید. طبق توصیه فانو مقدار K<sub>c</sub> برای مرحله آغازین رشد ۰/۴، برای مراحل میانی رشد ۱/۱۵ و برای مرحله پایانی رشد ۰/۴ می‌باشد، اما از آنجایی که ضریب گیاهی تحت تأثیر خصوصیات گیاهی و محیطی قرار می‌گیرد لذا جهت تخمین دقیق‌تر مقادیر این ضریب، مقادیر توصیه شده فانو در طول فصل رشد براساس معادله (۵) اصلاح شد (Allen et al., 1998).

$$K_{c\text{adj}} = K_{c\text{FAO}} + (0/04 \times (U_2 - 2) - 0/004 \times (RH_{\text{min}} - 45)) \times (H/3)^{0.3} \quad (\text{معادله } 5)$$

که در آن RH<sub>min</sub>: رطوبت نسبی حداقل (درصد) و H: ارتفاع گیاه (متر) می‌باشند. جزئیات محاسبه سایر اجزای معادله پنمن-مونتیث فانو در Allen و همکاران (۱۹۹۸) موجود است. محاسبه بارندگی مؤثر از طریق معادله (۶) صورت گرفت (Alizadeh and Kamali, 2008).

$$Pe = a.P \quad (\text{معادله } 6)$$

که در آن Pe مقدار بارندگی و a درصد ثابتی از بارندگی است که مقدار آن معمولاً بین ۰/۷ و ۰/۹ در نظر گرفته می‌شود (Alizadeh and Kamali, 2008). در این آزمایش

(شکل ۲). به طوری که بیشترین عملکرد دانه مربوط به رقم گاسکوژن در تیمار FI به میزان ۸۲۴۵ کیلوگرم در هکتار بود و این رقم در تیمار FI ۲۵٪ کمترین عملکرد را به نسبت ارقام آذر ۲ و سایونز داشت. گاسکوژن در راستای افزایش عملکرد، اصلاح شده و پتانسیل بالایی در شرایط فراهمی مناسب آب دارد اما نسبت به میزان آب خاک نیز حساسیت بالایی نشان می‌دهد. میزان کاهش عملکرد بیولوژیک رقم گاسکوژن در تیمارهای FI ۷۵٪، FI ۵۰٪، FI ۲۵٪ و NI نسبت به تیمار شاهد FI به ترتیب ۲۱، ۵۵، ۷۰ و ۷۳ درصد و در رقم سایونز ۹، ۵۰، ۵۳ و ۶۳ درصد بود در حالیکه این کاهش در رقم متحمل یعنی آذر ۲ به ترتیب ۱۲، ۲۵، ۳۱ و ۴۱ درصد بود. این نتایج نشان می‌دهد که شیب کاهش عملکرد ارقام حساس در مقابل کاهش فراهمی آب تندتر از رقم متحمل می‌باشد (شکل ۱). در مجموع بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک متعلق به رقم گاسکوژن و به ترتیب در تیمارهای FI (آبیاری کامل)، ۱۸۵۵۰ کیلوگرم در هکتار و NI (تیمار بدون آبیاری)، ۴۸۸۳ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (شکل ۲). براساس نمودارهای شکل (۲) میزان کاهش عملکرد اقتصادی رقم گاسکوژن در تیمارهای FI ۷۵٪، FI ۵۰٪، FI ۲۵٪ و NI نسبت به شاهد به ترتیب ۱۸، ۶۳، ۷۴ و ۷۸ درصد و در رقم سایونز به ترتیب ۱۱، ۵۵، ۵۸ و ۷۱ درصد بود و در رقم مقاوم آذر ۲ به ترتیب ۷، ۳۱، ۳۵ و ۵۰ درصد به دست آمد. مقایسه این کاهش با کاهش در عملکرد بیولوژیک به وضوح نشان می‌دهد که بیشترین اثرات زیان‌آور تنش خشکی در مراحل پایانی فصل رشد یعنی زمان پر شدن اندام‌های اقتصادی بود (شکل ۱). Varga و همکاران (۲۰۱۵) بحرانی‌ترین مرحله گندم نسبت به تنش رطوبتی را مرحله پر شدن دانه گزارش کردند که تحت شرایط تنش رطوبتی انتهایی، عملکرد دانه ارقام گندم نسبت به تیمار شاهد (آبیاری کامل) کاهش یافت که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. با توجه به شرایط آب و هوایی سنج، گرم شدن هوا و خشکی آخر فصل در این زمان اثرات تنش خشکی را افزایش داد. بنابراین مدیریت منابع آبی متناسب با مراحل حساس گیاه کمک شایانی در افزایش بهره‌وری تولید گندم در این منطقه خواهد نمود. کاهش حجم آبیاری در اوایل بهار و افزایش آبیاری در مراحل پایانی مخصوصاً آبیاری‌های کم حجم با دور آبیاری کوتاه روش

که a و b ضرایب انگستروم هستند. a بیانگر بخشی از تشعشعات فرا زمینی ( $R_a$ ) است که در یک روز کاملاً ابری به زمین می‌رسد و  $a + b$  بیانگر بخشی از تشعشعات فرارزمینی است که در یک روز کاملاً صاف به زمین می‌رسد. n تعداد ساعات آفتابی است که از ایستگاه هواشناسی اخذ شد و بیانگر طول روز است که برای هر روز و هر عرض جغرافیایی دارای مقداری ثابت می‌باشد. با داشتن مقادیر شاخص سطح برگ روزانه ( $LAI_t$ ) و تابش ورودی روزانه ( $I_0$ )، مقادیر تابش جذب شده روزانه ( $I_{abc}$ ) توسط گیاه بر حسب مگاژول در متر مربع در روز با استفاده از (معادله ۹) محاسبه شد. سپس رگرسیون خطی بین مقادیر تشعشع تجمعی جذب شده و مقادیر ماده خشک تولیدی تجمعی ترسیم شد. شیب خط حاصله برابر با مقدار کارایی مصرف نور (گرم ماده خشک تولیدی به ازاء هر مگاژول تشعشعات جذب شده) می‌باشد.

$$I_{abc} = I_0 (1 - e^{-k \cdot LAI_t})$$

(معادله ۹)

در پایان فصل رشد عملکرد تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد و تجزیه واریانس و مقایسات میانگین توسط نرم‌افزار MSTATC انجام شد. رسم نمودارها در محیط برنامه Excel صورت گرفت و جهت یافتن بهترین معادله در هر منحنی و برازش آن در صفات مختلف از برنامه‌های SlideWrite استفاده شد. بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب) تیمارهای مختلف نیز از نسبت عملکرد (کیلوگرم) به مقدار آب مصرفی (مترمکعب) محاسبه شد و کارایی مصرف نور تیمارهای مختلف به صورت گرم ماده خشک به ازای هر مگاژول انرژی خورشیدی جذب شده بدست آمد. تجزیه واریانس و مقایسات میانگین داده‌ها توسط نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد. رسم نمودارها در محیط برنامه Excel صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### عملکرد و بهره‌وری مصرف آب (WUE)

نتایج نشان داد اثر تیمارهای مختلف آبیاری، رقم و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد اقتصادی معنی‌دار بود (جدول ۱). کاهش میزان فراهمی آب در تیمارها با کاهش تدریجی عملکرد بیولوژیک و عملکرد اقتصادی همراه بود

محدودیت آبیاری منجر به کاهش ۶۰ درصدی عملکرد، ۳۲/۶ درصدی بهره‌وری مصرف آب و ۱۴ درصدی شاخص برداشت گردید. به طور کلی میزان کارایی مصرف آب با کاهش مصرف آب افزایش یافت این در حالی است که معمولاً در شرایط کم آبیاری میزان بهره‌وری آب بالا خواهد رفت. Varga و همکاران (۲۰۱۵) افزایش کارایی مصرف آب را در گندم در شرایط تنش خشکی گزارش کردند که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت. Ali و Talukder (۲۰۰۸) و Katerji و Mastrorilli (۲۰۰۸) دسترسی گیاه به رطوبت را در مراحل حساس رشد، از عوامل مؤثر بر افزایش راندمان مصرف آب عنوان کردند. آن‌ها گزارش کردند که با راهکارهای مدیریتی برای افزایش راندمان مصرف آب باید مانع از مواجهه مراحل حساس فنولوژیک با تنش رطوبتی شد. تعداد زیادی از محققین گزارش کرده‌اند که بین ارقام پاییزه گندم تفاوت‌های زیادی از نظر بهره‌وری مصرف آب وجود دارد (Varga et al., & Miranzadeh et al., 2011) اما همه آن‌ها عنوان کرده‌اند که با تغییر در میزان آب قابل دسترس، امکان تغییر بهره‌وری مصرف آب وجود دارد (Varga et al., 2013 & Varga et al., 2015). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با راه کارهای مدیریت کم آبیاری در مناطق مستعد خشکی و آبیاری به موقع در مراحل حساس گیاه به تنش خشکی، با صرفه‌جویی در مصرف آب، می‌توان عملکرد مطلوبی را بدست آورد.

مؤثری در افزایش طول دوره پر شدن دانه و در نتیجه بهبود عملکرد اقتصادی خواهد بود. میزان کاهش مصرف آب در تیمارهای FI ۷۵٪، FI ۵۰٪، FI ۲۵٪ و NI نسبت به تیمار FI، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۸۴ درصد بود (شکل ۲). میزان کاهش عملکرد اقتصادی رقم مقاوم در تمام تیمارها کمتر از میزان کاهش مصرف آب بود در حالیکه در ارقام حساس در تیمار FI ۵۰٪ میزان کاهش عملکرد اقتصادی بیشتر از کاهش مصرف آب بود و در تیمار FI ۲۵٪ تقریباً برابر و در تیمارهای FI ۷۵٪ و NI کمتر از میزان کاهش مصرف آب بود. در نتیجه می‌توان گفت بهره‌وری مصرف آب رقم مقاوم در تیمارهای در معرض تنش، افزایش یافته است. به همین دلیل اختلاف تیمارهای آبیاری و ارقام و اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و ارقام از نظر بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کارایی مصرف آب به ترتیب در تیمارهای NI (۲/۷۲۲) کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب مصرفی و FI (۱/۰۶۷) کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب مصرفی مشاهده شد. کارایی مصرف آب در گیاهان چهار کربنه ۳-۵ و برای گیاهان سه کربنه ۲-۳ کیلوگرم ماده خشک به ازای هر مترمکعب آب مصرفی گزارش شده است (Erickson et al., 2012). در آزمایشی که Nakhforoosh و همکاران (۲۰۱۵) بر ارقام ارقام جدید و قدیم گندم تحت شرایط مختلف آبیاری انجام دادند گزارش کردند که

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات کارایی مصرف آب ارقام مقاوم (آذر ۲) و حساس (گاسکوئن و سایونز) به خشکی گندم تحت سطوح مختلف آبیاری  
Table 1- Analysis of variance for water use productivity of drought-tolerant (Azar2) and drought-susceptible (Gascogne and Sayonce) cultivars of wheat under different irrigation levels

میانگین مربعات (mean squares)		درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییرات S.O.V
کارایی مصرف آب برحسب عملکرد بیولوژیک Water use productivity in biological yield (kg/m <sup>3</sup> )	کارایی مصرف آب برحسب عملکرد اقتصادی Water use productivity in economical yield (kg/m <sup>3</sup> )		
0.821 <sup>ns</sup>	0.102 <sup>ns</sup>	2	تکرار Replication
15.382**	1.978**	4	تیمارهای آبیاری Irrigation Treatments
0.551	0.043	6	اشتباه آزمایشی First error
1.452**	0.333**	2	رقم Cultivar
2.282**	0.448**	6	تیمارهای آبیاری × رقم Irrigation Treatments × Cultivar
0.238	0.047	16	ضریب تغییرات C.V.

ns, \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, \* and \*\* are non-significant and significant at 1% and 5% probability levels, respectively

#### نشریه پژوهش‌های گندم

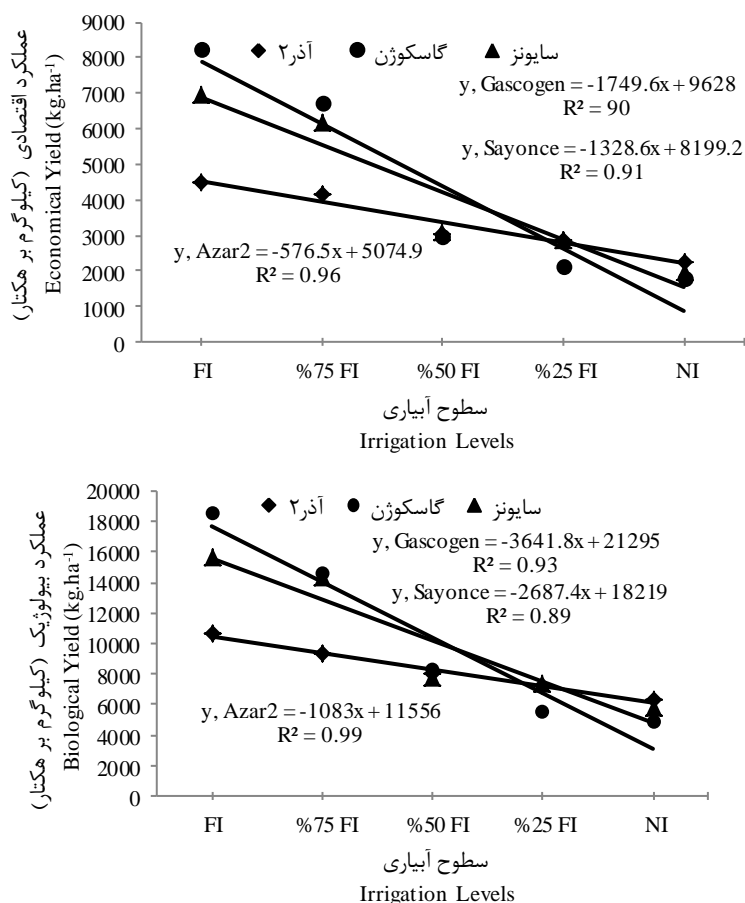
دوره دوم. شماره اول (پیاپی ۲). بهار و تابستان ۱۳۹۸

ادامه جدول ۱- تجزیه واریانس صفات عملکرد اقتصادی و بیولوژیک ارقام مقاوم (آذر ۲) و حساس (گاسکوژن و سایونز) به خشکی گندم تحت سطوح مختلف آبیاری

Table 1- Analysis of variance for biological and economical yield of drought-tolerant (Azar2) and drought-susceptible (Gascogne and Sayonce) cultivars of wheat under different irrigation levels

میانگین مربعات (mean squares)			
عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg/ha)	عملکرد اقتصادی Economical yield (kg/ha)	درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییرات S.O.V
2795633.929 <sup>ns</sup>	318808.249 <sup>ns</sup>	2	تکرار Replication
147032969.118 <sup>**</sup>	36428552.045 <sup>**</sup>	4	تیمارهای آبیاری Irrigation Treatments
2907158.475	2717480.024	8	اشتباه آزمایشی First error
19293969.248 <sup>**</sup>	4622302.424 <sup>**</sup>	2	رقم Cultivar
14868339.548 <sup>**</sup>	3185896.489 <sup>**</sup>	8	تیمارهای آبیاری × رقم Irrigation Treatments × Cultivar
14199859.875	193066.100	20	ضریب تغییرات C.V.

ns, \* و \*\* به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد  
ns, \* and \*\* are non-significant and significant at 1% and 5 % probability levels, respectively

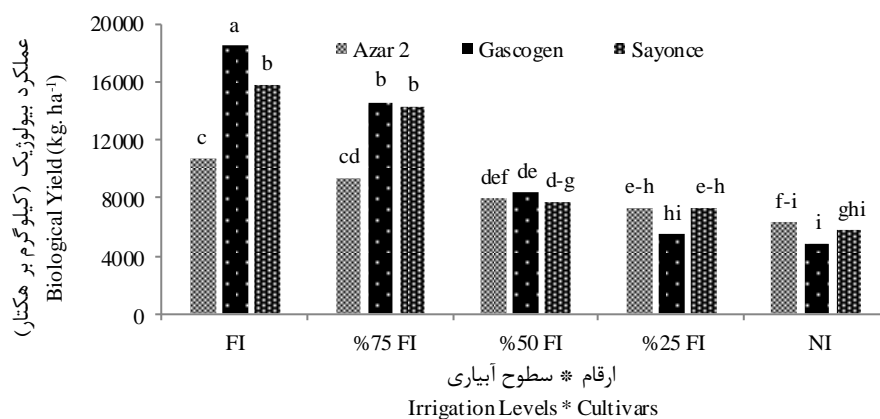
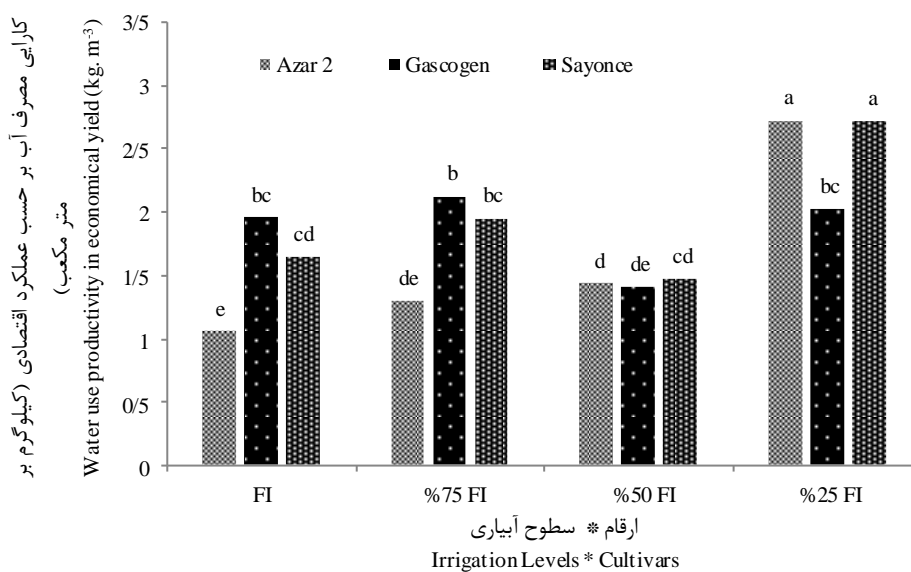
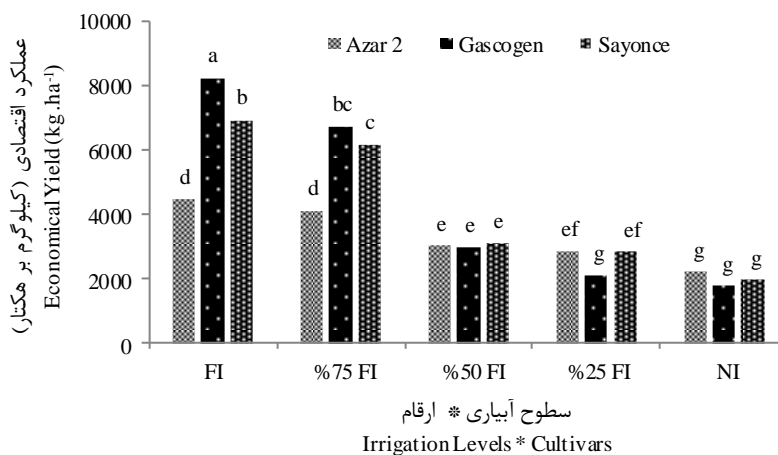


شکل ۱- رگرسیون خطی مربوط به عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک ارقام مقاوم (آذر ۲) و حساس (گاسکوژن و سایونز) به خشکی گندم تحت سطوح مختلف آبیاری.

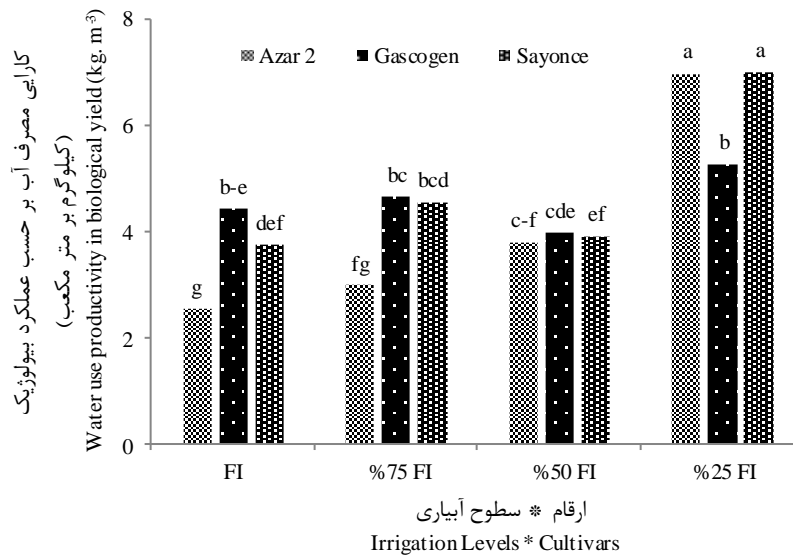
Fig 1. Linear regression for biological and economical yield of drought-tolerant (Azar2) and drought susceptible (Gascogne and Sayonce) cultivars of wheat under different irrigation levels.

نشریه پژوهش‌های گندم

دوره دوم. شماره اول (پیاپی ۲). بهار و تابستان ۱۳۹۸







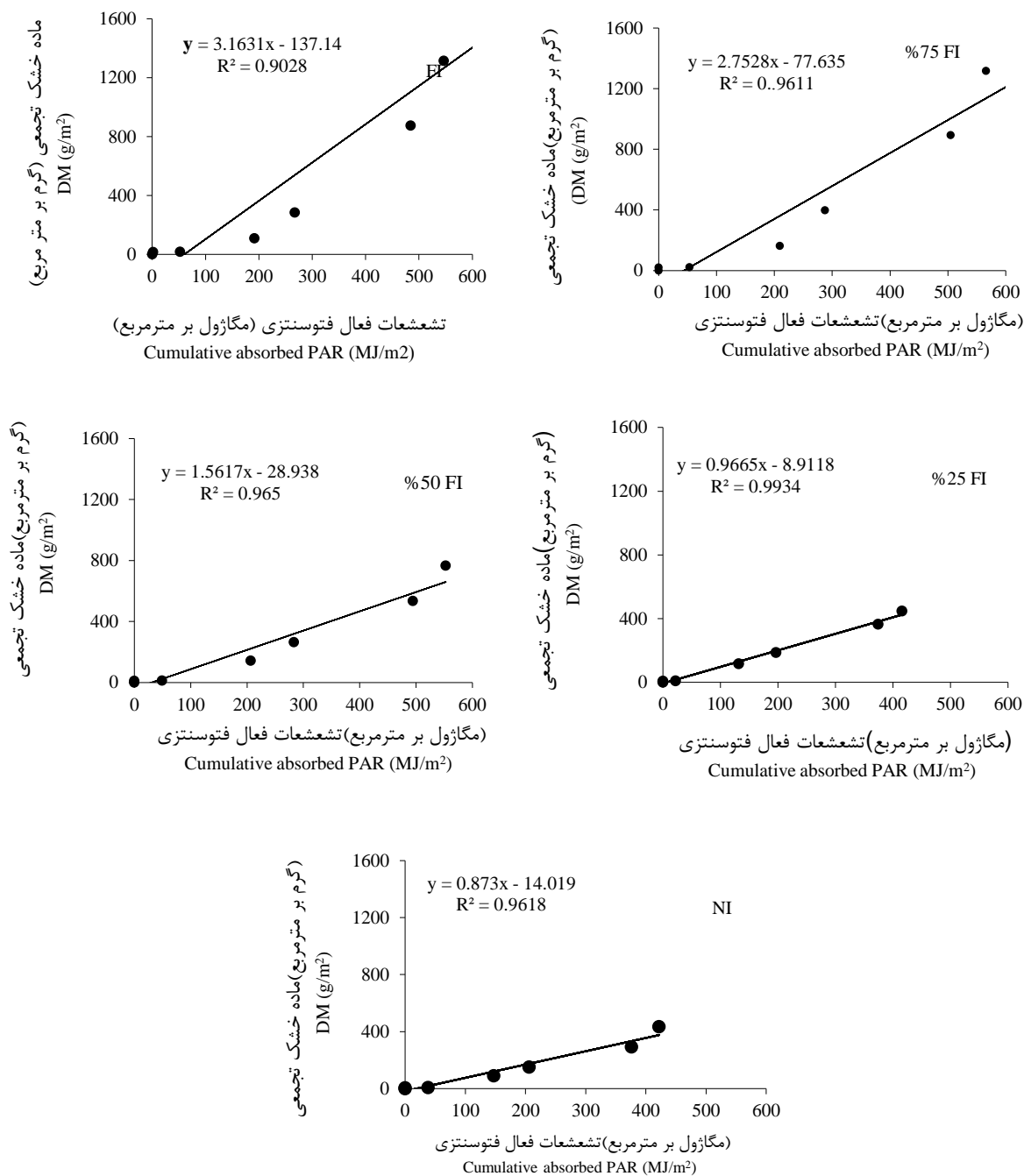
شکل ۲- مقایسه میانگین مربوط به اثر تیمارهای آبیاری و رقم بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی در ارقام مقاوم (آذر ۲) و حساس (گاسکوژن و سایونز) به خشکی گندم (FI، آبیاری به میزان نیاز آبی گیاه، %۷۵ FI، %۵۰ FI و %۲۵ FI به ترتیب آبیاری به میزان ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه در تیمار FI و NI تیمار بدون آبیاری).

Fig 2. Mean comparisons of different levels of irrigation and cultivar interaction on grain yield, biological yield, grain yield and water use efficiency in seed of wheat drought-tolerant (Azar2) and drought-susceptible (Gascogne and Sayonce) cultivars of wheat. (FI is irrigation based on crop water requirement, 75%FI, 50%FI and 25%FI are irrigation based on 75%, 50% and 25% of crop water requirement in FI treatment, respectively and NI is treatment without irrigation).

هر مگاژول PAR) بدست آمد (شکل ۴). در رقم حساس گاسکوژن نیز با کاهش میزان فراهمی آب میزان RUE دچار کاهش شد به گونه‌ای که در رقم گاسکوژن RUE از ۳/۱۶ گرم به ازای مگاژول PAR در تیمار FI به ۰/۸۷ گرم به ازای هر مگاژول PAR در تیمار NI تقلیل یافت (شکل ۳). در رقم سایونز بیشترین میزان RUE در تیمار %۷۵ FI (۲/۲۲) گرم به ازای هر مگاژول PAR) مشاهده شد و تیمار %۲۵ FI کمترین مقدار (۱/۲۳) گرم به ازای هر مگاژول PAR) را به خود اختصاص داد (شکل ۵). به طور کلی روند مشخصی در ارتباط با کارایی مصرف نور در رقم سایونز مشاهده نشد. نکته مهم دامنه تغییرات بسیار بالای این شاخص در رقم حساس (گاسکوژن) نسبت به رقم مقاوم (آذر ۲) بود. بنابراین می‌توان استنباط کرد که حفظ مقادیر بالای RUE در گستره‌ای از مقادیر فراهمی آب یک شاخص مناسب برای معرفی ارقام تحت شرایط تنش خشکی می‌باشد.

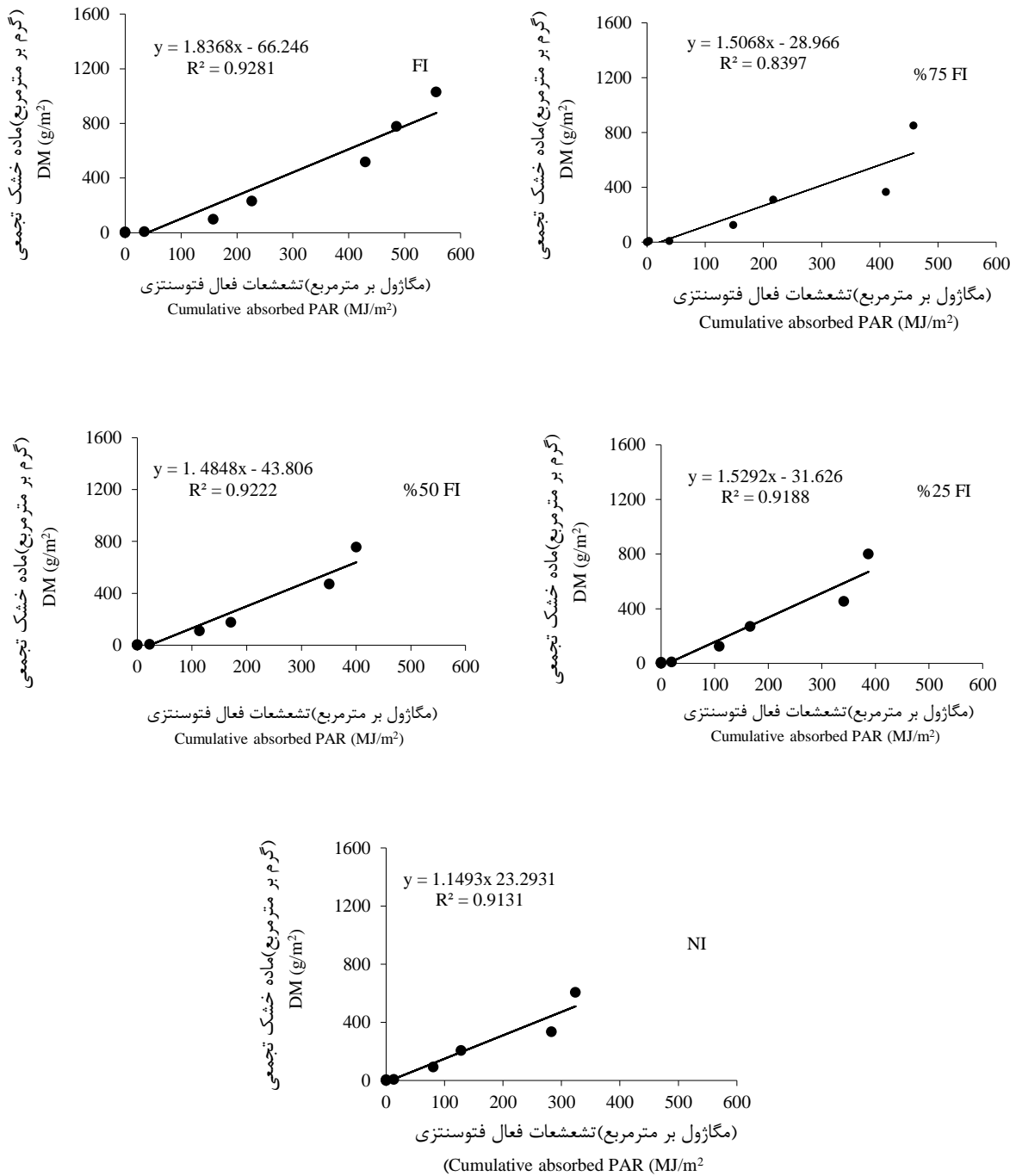
#### کارایی مصرف نور (RUE)

کارایی مصرف نور، از شیب رابطه خطی بین ماده خشک تولید شده و تشعشعات فعال فتوسنتزی تجمعی بدست آمد (شکل‌های ۳، ۴ و ۵). مقادیر تشعشع جذب شده در تیمارهای مختلف آبیاری متناسب با شاخص سطح برگ آن‌ها بود. در ماه ششم از فصل رشد (از ۱۵۰ روز پس از کاشت تا ۲۲۶ روز پس از کاشت) به تدریج میزان جذب نور در تیمارهایی که آب کمتری دریافت می‌کردند کاهش یافت که دلیل آن کاهش سطح برگ به دلیل پیری و مرگ و میر بود. شکل ۵ به وضوح نشان می‌دهد که با کاهش فراهمی آب در فصل بهار (یعنی به ترتیب در تیمارهای %۷۵ FI، %۵۰ FI، %۲۵ FI و NI) میزان جذب نور، مخصوصاً در مراحل پایانی فصل رشد شدیداً افت کرده و این مسئله یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد در تیمارهای در معرض تنش خشکی بود. کم‌ترین و بیش‌ترین میزان RUE در رقم آذر ۲، به ترتیب در تیمارهای NI (۱/۱۴) گرم به ازای هر مگاژول PAR) و تیمار FI (۱/۸۳) گرم به ازای



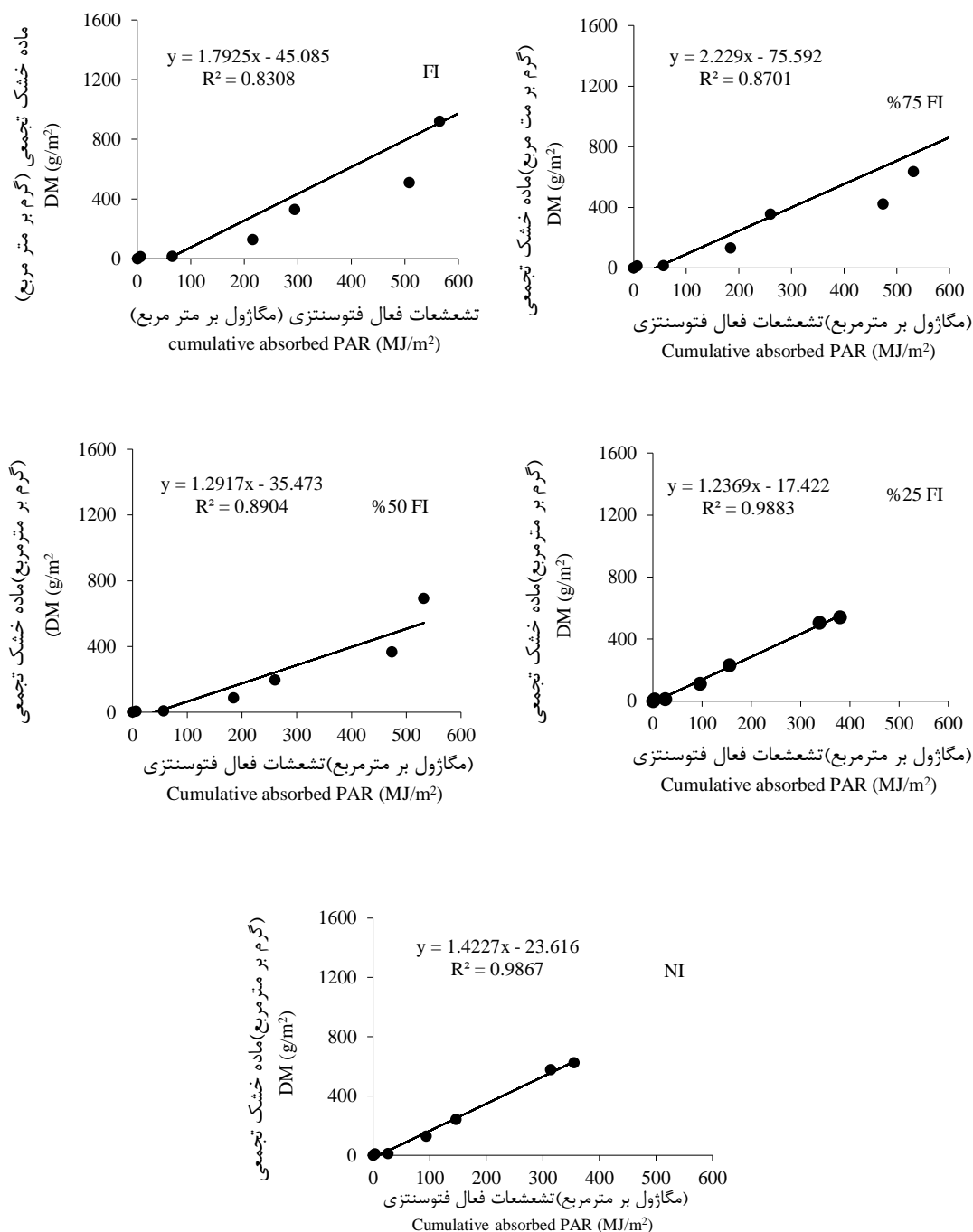
شکل ۳- ارتباط بین ماده خشک تجمعی و تشعشعات فعال فتوسنتزی تجمعی در رقم گاسکوژن تحت تیمارهای مختلف آبیاری (FI، آبیاری به میزان نیاز آبی گیاه، ۷۵٪ FI، ۵۰٪ FI و ۲۵٪ FI به ترتیب آبیاری به میزان ۷۵، ۵۰، ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه در تیمار FI و NI تیمار بدون آبیاری).

Fig 3. Relationship between cumulative dry matter and Photosynthetically active radiation in Gascogne cultivar under different irrigation levels. (FI is irrigation based on crop water requirement, 75%FI, 50%FI and 25% FI are irrigation based on 75%, 50% and 25% of crop water requirement in FI treatment, respectively and NI is treatment without irrigation).



شکل ۴- ارتباط بین ماده خشک تجمعی و تشعشعات فعال فتوسنتزی تجمعی در رقم آذر ۲ تحت تیمارهای مختلف آبیاری (FI، آبیاری به میزان نیاز

آبی گیاه، %۷۵ FI، %۵۰ FI و %۲۵ FI به ترتیب آبیاری به میزان ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه در تیمار FI و NI تیمار بدون آبیاری).  
 Fig 4. Relationship between cumulative dry matter and Photosynthetically active radiation in Azar 2 cultivar under different irrigation levels. (FI is irrigation based on crop water requirement, 75%FI, 50%FI and 25%FI are irrigation based on 75%, 50% and 25% of crop water requirement in FI treatment, respectively and NI is treatment without irrigation).



شکل ۵- ارتباط بین ماده خشک تجمعی و تشعشعات فعال فتوسنتزی تجمعی در رقم سایونز تحت تیمارهای مختلف آبیاری (FI، آبیاری به میزان نیاز آبی گیاه، ۷۵٪ FI، ۵۰٪ FI و ۲۵٪ FI به ترتیب آبیاری به میزان ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه در تیمار FI و NI تیمار بدون آبیاری).

Fig 5. Relationship between cumulative dry matter and Photosynthetically active radiation in Sayonce cultivar under different irrigation levels. (FI is irrigation based on crop water requirement, 75%FI, 50%FI and 25%FI are irrigation based on 75%, 50% and 25% of crop water requirement in FI treatment, respectively and NI is treatment without irrigation).

(Hatfield and Walthal, 2015). اختلاف در تسهیم مواد بین قسمت هوایی و زیرزمینی، هنگامی که فقط زیست توده هوایی مورد استفاده قرار می گیرد، می تواند اثر مهمی بر روی محاسبه کارایی مصرف نور داشته باشد (Siddique *et al.*, 1989). اگر چه کارایی مصرف نور بالاتر نشانگر استعداد بهتر گیاه در تبدیل نور به ماده خشک می باشد، ولی تولید ماده خشک و در نهایت عملکرد بستگی زیادی به مقدار تابش جذب شده توسط گیاه نیز دارد Valvoa و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که بین سال های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۱ متعاقب کاهش عملکرد گندم، کارایی مصرف نور هم در طی این ۱۳ سال کاهش نشان داده است.

### نتیجه گیری کلی

کمبود آب، منجر به کاهش عملکرد اقتصادی و بیولوژیکی، کارایی مصرف آب و نور شد. ارقام مورد مطالعه از نظر عملکرد اقتصادی و بیولوژیک و کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد اقتصادی و بیولوژیک تفاوت معنی داری از خود نشان دادند. به طور کلی رقم متحمل (آذر ۲) علی رغم پایین تر بودن شاخص برداشت، از نظر عملکرد اقتصادی و بیولوژیک برتر از ارقام حساس (گاسکوژن و سایونز) بود که دلیل این برتری افزایش کارایی مصرف آب و نور در شرایط تنش خشکی بود. بنابر نتایج به دست آمده، متخصصین اصلاح رقم می توانند شاخص های کارایی مصرف نور و آب را به عنوان معیارهای انتخاب رقم مناسب در شرایط تنش خشکی مدنظر قرار دهند. مطلبی که به وضوح در مورد رقم متحمل آذر ۲ دیده شد.

کارایی مصرف نور برای گیاهان مختلف زراعی تقریباً ثابت (۱/۴ گرم ماده خشک به ازای هر مگاژول انرژی خورشیدی جذب شده است (Junior *et al.*, 2015). نتایج مطالعات بعدی نشان داد که اگرچه کارایی مصرف نور بیشتر از طریق عوامل ژنتیکی کنترل می شود، ولی عوامل محیطی و عملیات مدیریتی نظیر تاریخ کاشت، تراکم و رقم به دلیل نقش مهمی که در فعالیت فتوسنتزی دارند این عامل را تحت تأثیر قرار می دهند. Acreche و همکاران (۲۰۰۹) مقدار کارایی مصرف نور ارقام گندم را در مراحل مختلف نموی متفاوت گزارش کردند، به طوری که در ارقام مختلف این مقدار در فاصله بین مرحله سبز شدن محصول تا ساقه رفتن ۰/۹۲ تا ۲/۱۶ گرم به ازای هر مگاژول PAR، سبز شدن تا گرده افشانی ۲/۶۶ تا ۳/۴۸ گرم به ازای هر مگاژول PAR، ساقه رفتن تا گرده افشانی ۲/۳ تا ۳/۹۴ گرم به ازای هر مگاژول PAR و گرده افشانی تا رسیدگی ۰/۷۸ تا ۳/۱۲ گرم به ازای هر مگاژول PAR بود.

در این مطالعه نیز با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که در هر سه رقم با فراهمی شرایط در تیمار FI (آبیاری کامل) ماده خشک تجمعی در واحد سطح افزایش یافت و موجب افزایش کارایی استفاده از نور گردید، در حالی که با اعمال تیمارهای آبیاری در طول فصل رشد و روند کاهش ماده خشک، کارایی مصرف نور نیز کاهش یافت که این کاهش در تیمار NI (بدون آبیاری) بیشتر مشهود بود. تغییرات کارایی مصرف نور می تواند به علت شرایط محیطی از جمله کمبود آب، تنش مواد غذایی و یا دمای کم باشد

## منابع

- Acreche, M. M., Briceño-Félix, G., Sanchez, J. A. M. and Slafer, G. A. 2009. Radiation -interception and use efficiency as affected by breeding in Mediterranean wheat. *Field Crops Research*, 110: 91-97.
- Ali, M. H. and Talukder, M. S. U. 2008. Increasing water productivity in crop production - A synthesis. *Agricultural Water Management*, 95: 1201-1213.
- Alizadeh, A. and Kamali, G. H. 2008. Crop Water Requirement in Iran. *Astan Ghods Razavi, Mashhad*, 228p. (In Persian).
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage, 56 p.
- Bai, Z., Mao, S., Han, Y., Feng, L., Wang, G. and Yang, B. 2016. Study on light interception and biomass production of different cotton cultivars. Publish with PLOS ONE, 11(5): 1-17.
- Blum, A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*, 112, 119-123.
- Erickson, J. E., Soikaew, A., Sollenberger, L. E. and Bennett, J. M. 2012. Water Use and Water-Use Efficiency of Three Perennial Bioenergy Grass Crops in Florida. *Agriculture*, 2: 325-338.
- Hatfield, J. L. and Walthall, C. L. 2015. Meeting Global Food Needs: Realizing the Potential via Genetics × Environment × Management Interactions. *Agronomy Journal*, 107 (4): 1215-1226.
- Hemayati, S., Kashani, A., Fatollahi-Taleghani, D., Nourmohammadi, G.H. and Siadat, A. 2008. Effect of planting date, plant density and cultivar on the components of solar radiation in sugar beet a. Solar radiation absorption and optical absorption coefficient. *Sugar Beet Magazine*, 24 (1): Page 23-42. (In Persian).
- Irmak, S., Allen, R.G. and Whitty, E.B. 2003. Daily grass and alfalfa-reference evapotranspiration estimates and alfalfa-to-grass evapotranspiration ratios in Florida. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129(5): 360-370.
- Junior, R. A. F., Souza, J. L. D., Lyra, G. B., Escobedo, J. F. and Santos, M. V. C. 2015. Energy conversion efficiency in sugarcane under two row spacing in northeast of Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19 (8): 741-747.
- Katerji, N., Mastrorilli, M. and Rana, G. 2008. Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: Review and analysis. *European Journal of Agronomy and Crop Science*, 28: 493-507.
- Koocheki, A. and Khajeh Hosseini, M. 2008. *Modern Agronomy*. Jahad Mashhad University Press, Iran 740 pp. (In Persian)
- Landeras, G., Ortiz-Barredo, A. and Lopez, J.J. 2008. Comparison of artificial neural network models and empirical and semi-empirical equations for daily reference evapotranspiration estimation in the Basque Country (Northern Spain). *Agricultural Water Management*, 95: 553-565.
- Miranzadeh, H., Emam, Y., Pilesjo, P. and Seyyedi, H. 2011. Water use efficiency of four dryland wheat cultivars under different levels of nitrogen fertilization. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13: 843-854. (In Persian).
- Nakhforoosh, A., Grausgruber, H., Kaul, H. P. and Bodner, G. 2015. Dissection of drought response of modern and underutilized wheat varieties according to Passioura's yield-water framework. *Frontiers in Plant Science*, 6: 1-13.
- Shamsi, K., petrosyan, M., Noor-mohammadi, G. Haghparast, A., Kobraee, S., Rasekhi, B. 2011. Differential agronomic responses of bread wheat cultivars to drought stress in the west of Iran. *African Journal of Biotechnology*, 10 (14): 2708-2715. (In Persian).
- Shiri, J., Nazemi, A.H., Sadraddini, A.A., Landeras, G., Kisi, O., Fakheri Fard, A. and Marti, P. 2014 a. Comparison of heuristic and empirical approaches for estimating reference evapotranspiration from limited inputs in Iran. *Computers and Electronics in Agriculture*, 108: 230-241.

- Shiri, J., Sadraddini, A.A., Nazemi, A.H., Kisi, O., Landeras, G., Fakheri Fard, A. and Marti, P. 2014 b. Generalizability of geneexpression programming-based approaches for estimating daily reference evapotranspiration in coastal stations of Iran. *Journal of Hydrology*, 508: 1-11. (In Persian).
- Siddique, K. H. M., Belford, R. K., Perry, M. W. and Tennant, D. 1989. Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. *Australian Journal of Agricultural Research*, 40 (3): 473-487.
- Tohidi. M. Nadery, A. Siadat, S. and Lak, S. (2012). Variables productivity of light interception in grain maize hybrids at various amount of nitrogen. *World Applied Sciences Journal*. Vol. 16. pp: 86-93. (In Persian).
- Valvoa, P. J. L., Mirallesa, D. J. and Serragoa, R. A. 2018. Genetic progress in Argentine bread wheat varieties released between 1918 and 2011: Changes in physiological and numerical yield components. *Field Crops Research*, 221: 314-321.
- Varga, B., Varga-Laszlo, E., Bencze, S., Balla, K. and Veisz, O. 2013. Water use of winter cereals under well-watered and drought stressed conditions. *Plant, Soil and Environment*, 59: 150-155.
- Varga, B., Vida, G., Varga-Laszlo, E., Bencze, S. and Veisz, O. 2015. Effect of simulating drought in various phenophases on the water use efficiency of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201: 1-9.

## Evaluation of yield, radiation and water use efficiency of drought resistant and susceptible wheat cultivars under different irrigation levels

Zeynab rahimi<sup>1</sup>, Farzad Hosseinpanahi <sup>2\*</sup>& Adel Siosemardeh<sup>3</sup>

1. M. Sc. of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

2\*. Corresponding author, Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

3. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Email: [f.hosseinpanahi@agri.uok.ac.ir](mailto:f.hosseinpanahi@agri.uok.ac.ir)

Received: 2019/07/17

Accepted: 2019/08/26

### Abstract

A field experiment was conducted in order to evaluate drought stress on yield, radiation use efficiency (RUE) and water use efficiency (WUE) of drought resistant and susceptible cultivars of wheat at agricultural faculty research field of University of Kurdistan during 2012-2013 growing season. The experiment was split plots based on randomized complete blocks design with three replications. The main plots were different levels of irrigation (FI as irrigation based on crop water requirement, 75%FI, 50%FI and 25%FI as irrigation based on 75%, 50% and 25% of crop water requirement in FI treatment, and NI as treatment without irrigation) and subplots were three wheat cultivars (Azar2 (resistant), Gascogen and Sayonce (susceptible)). Analysis of variance showed that the differences among irrigation treatments and studied cultivars were significant for economical yield (EY), biological yield (BY), and WUE in terms of economical (WUEe) and biological (WUEb) yield. The amount of EY, BY, WUEe, WUEb, and RUE were decreased with reduce in water availability rather than control treatment. The overall results showed that the amount of EY, BY, WUE and RUE of resistant cultivar were greater than susceptible cultivars. However, the harvest index of susceptible cultivars was greater than resistant one. In general, increasing WUE and RUE under drought stress treatments were two most important factors determining performance excellence of resistant cultivar rather than susceptible cultivars.

**Keywords:** *Water use efficiency, Photosynthetically active radiation, Drought stress, Sayonce, Gascogen*