

## اثر اعمال مدیریت کم آبیاری در مراحل مختلف رشد گندم بر بهبود بهره‌وری اقتصادی آن

فهیمه شیرشاهی<sup>۱</sup>، حسین بابازاده<sup>۲\*</sup>، نیازعلی ابراهیمی پاک<sup>۳</sup>، حسن ابراهیمی‌راد<sup>۴</sup> و حنیف عبدلی<sup>۵</sup>

### چکیده

استفاده بهینه از منابع آب در بخش کشاورزی، به‌عنوان مصرف‌کننده عمده منابع آب، ضروری است. هدف در این جستار تعیین حد بهینه آب مصرفی، زمان بهینه اعمال آن و بهره‌وری اقتصادی مدیریت کم آبیاری گندم در شهرکرد است. بدین منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل در ۵ سطح شامل  $E_0$  (آبیاری کامل)،  $E_1$  (۸۵ درصد)،  $E_2$  (۷۰ درصد)،  $E_3$  (۵۵ درصد) تبخیر-تعرق واقعی گندم حاصل از لایسیمتر و  $E_4$  (بدون آبیاری) به طور جداگانه در شش مرحله رشد گیاه شامل جوانه‌زنی ( $T_1$ )، پنجه‌دهی ( $T_2$ )، ساقه‌دهی ( $T_3$ )، گل‌دهی ( $T_4$ )، شیری و خمیری دانه ( $T_5$ ) و رسیدن گیاه ( $T_6$ ) با سه تکرار به مدت سه سال زراعی در شهرکرد انجام شد. از روش بودجه‌بندی جزیی و با توجه به میزان آب مصرفی و سود خالص حاصل از هر تیمار مقادیر بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری اقتصادی برآورد شد. نتایج نشان داد در میان سطوح آبیاری تیمار ۷۰٪ تبخیر-تعرق و اعمال کم آبیاری در دوره رسیدن گیاه، حالت بهینه مصرف آب و کسب درآمد است و به ترتیب دارای بهره‌وری اقتصادی برابر با ۱/۱۳ و ۱/۱۷ هستند.

**واژه‌های کلیدی:** بهره‌وری اقتصادی، شهرکرد، کم آبیاری، گندم، لایسیمتر.

**ارجاع:** فهیمه شیرشاهی ف. بابازاده ح. ابراهیمی‌پاک ن. ع. ابراهیمی‌راد ح. و عبدلی ح. ۱۳۹۸. اثر اعمال مدیریت کم آبیاری در مراحل مختلف رشد گندم بر بهبود بهره‌وری اقتصادی آن. مجله پژوهش آب ایران. ۳۲: ۶۹-۷۷.

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی سیستم‌های کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.  
۲- دانشیار، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، گروه مهندسی سیستم‌های کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.  
۳- دانشیار بخش آبیاری مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.  
۴- دانشجوی دکتری گروه مهندسی سیستم‌های کشاورزی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.  
۵- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، آبیاری و زهکشی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

\* نویسنده مسئول: [h\\_babazadeh@hotmail.com](mailto:h_babazadeh@hotmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۹

## مقدمه

کم‌آبیاری، به‌عنوان یک استراتژی سودمند اقتصادی در وضعیت محدودیت آب و با هدف حداکثر استفاده از واحد حجم آب مصرفی، مطرح است (فرداد و گلکار، ۱۳۸۱). وضعیت خاص اقلیمی ایران که خشکی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی واقعیت انکارناپذیر آن است، هرگونه تولید مواد غذایی و کشاورزی پایدار را منوط به استفاده صحیح و منطقی از منابع محدود آب کشور کرده است (ابراهیمی پاک، ۱۳۸۱). از طرفی اعمال هرگونه مدیریت زراعی باید علاوه بر جنبه‌های فنی از جنبه‌های اقتصادی توجیه‌پذیر باشد تا کاربردی تلقی شود. در میان تولیدات کشاورزی، گندم از قدیمی‌ترین و پرمصرف‌ترین گیاهان زراعی جهان بوده (اکبری‌مقدم و همکاران، ۱۳۸۳) و مهم‌ترین منبع غذایی هر انسان است. با توجه به سطح بالای اختصاص یافته به کاشت گندم، به نظر می‌رسد بهینه‌سازی آبیاری گندم و یافتن دوره‌ای از رشد که کمترین کاهش عملکرد و بیشترین بهره‌وری آب و بهره‌وری اقتصادی را دارا باشد، سهم عمده‌ای در مصارف آب کشاورزی و تولید اقتصادی کشور داشته باشد.

کم‌آبیاری، تکنیکی است که حد مجاز کاهش عملکرد در اثر کاهش آب مصرفی را نشان می‌دهد و بالاترین میزان درآمد خالص به ازاء هر واحد آب مصرفی را به همراه دارد. علاوه بر این، باعث کاهش هزینه‌های تولید و صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود. در زمینه کم‌آبیاری مطالعات زیادی انجام شده است که دلالت بر اهمیت موضوع دارد. کاسکو و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی برای یافتن بهترین دوره رشد جهت اعمال کم‌آبیاری در گوجه‌فرنگی، دریافتند حذف آبیاری در دوره رسیدن، بالاترین سود خالص و بهترین عملکرد را دارد و آبیاری کامل برای سود خالص و عملکرد بیشتر ترجیح داده شد. گارگ و داهیچ (۲۰۱۴) یک مدل غیرخطی برای تعیین الگوی کشت تحت کم‌آبیاری توسعه دادند. میزان بازگشت سرمایه تا ۹۲/۵٪ با اعمال ۱۰۹/۷٪ سطح زیرکشت و اعمال کم‌آبیاری روبه افزایش بود.

به‌طور کلی در بین محصولات زراعی در کشور ما جو، یونجه، ذرت دانه‌ای و گندم، کارایی مصرف آب بالایی دارند. اسدی و همکاران (۱۳۸۰) کارایی مصرف آب در گندم را ۰/۶۱ تا ۱/۳۵، سپهوند (۱۳۸۸) مقدار این رقم را ۱/۶۴ و حیدری (۱۳۹۰) به‌طور متوسط ۰/۷۳ کیلوگرم در

مترمکعب اعلام کرده‌اند. موضوع بسیار مهم‌تر از بهره‌وری فیزیکی آب، بهره‌وری اقتصادی مصرف آب در گیاهان زراعی است. از دیدگاه اقتصادی، تنها افزایش بهره‌وری آب، کافی نیست، بلکه محصول تولید شده (با بهره‌وری آب بالا) باید ارزش اقتصادی یا درآمد بیشتری نصیب کشاورز کند.

در زمینه آب مصرفی، سه نگرش وجود دارد که در نگرش اول، هدف حصول حداکثر عملکرد در واحد سطح و مربوط به کارشناسان زراعت و کشاورزان است. نگرش دوم با هدف حصول حداکثر کارایی و بهره‌وری آب مصرفی بوده و توسط کارشناسان آبیاری اعمال می‌شود و در نهایت نگرش سوم متعلق به اقتصاددانان با هدف حداکثر سود و درآمد خالص نهایی است (واکس و پروت، ۱۹۸۳؛ توکلی، ۱۳۹۰). اگرچه نگرش دوم و سوم به هم نزدیک است، فقط کارشناسان آبیاری به تولید به ازای واحد نهاده تولید توجه دارند. زوارت و باستیانسن (۲۰۰۴) بهره‌وری فیزیکی آب محصولات گندم، برنج، پنبه و ذرت کشورهای مختلف را محاسبه و گزارش کردند. براساس نتایج این پژوهش، بهره‌وری فیزیکی آب به‌طور متوسط برای محصولات مذکور ۱/۰۹، ۱/۰۹، ۱/۰۶۵ و ۰/۲۳ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است. کائو و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی برای تعیین شاخص‌های بهره‌وری آب برای گیاهان دانه‌ای مقدار بهره‌وری کل ( $WP_p$ )، کارایی مصرف آب ( $WUE$ )، بهره‌وری با عنوان تبخیر-تعرق ( $WP_{ET}$ ) و آبیاری ( $WP_I$ ) به ترتیب برابر ۰/۶۹، ۰/۸۶، ۱/۳۱ و ۱/۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند.

بهره‌وری اقتصادی آب عبارت است از: قیمت محصول تولید شده به ازای واحد آب آبیاری مصرف شده که می‌توان آن را بر حسب ریال بر مترمکعب بیان کرد (هرناندز و همکاران، ۲۰۱۰). در منابع مذکور ارزیابی اقتصادی مصرف آب در مراحل مختلف رشد انجام نشده است. هدف از انجام این پژوهش، تعیین حد بهینه آب مصرفی، ارزیابی اقتصادی تیمارهای مربوط به زمان اعمال کم‌آبیاری و میزان عمق آب آبیاری و بهره‌وری اقتصادی مدیریت کم‌آبیاری گندم در شهرکرد است.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در ایستگاه تحقیقاتی چهار تخته شهرکرد وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع

بین ۵۰ تا ۱۷۰ سانتی‌متر و بافت متفاوت خاک منطقه در اعماق مختلف است. برخی ویژگی‌های فیزیکی پروفیل خاک در جدول ۱ ارائه شده است. آب از چاه تأمین و از نظر شوری و قلیائیت محدودیتی وجود نداشت.

طبیعی استان چهارمحال و بختیاری در عرض جغرافیایی ۳۲/۱۸ درجه و طول جغرافیایی ۵۰/۵۶ درجه و ارتفاع ۲۰۶۶ متری از سطح دریا و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار به مدت سه سال زراعی انجام شد. اراضی این منطقه به صورت جلگه‌ای، عمق خاک زراعی

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی پروفیل خاک محل انجام آزمایش

عمق (سانتی‌متر)						خصوصیات
۱۸۵ - ۱۴۰	۱۲۰ - ۱۴۰	۷۵ - ۱۲۰	۵۰ - ۷۵	۲۵ - ۵۰	۰ - ۲۵	
۲۰/۶	۱۹/۲	۱۷/۲	۱۷/۲	۲۳	۲۲/۵	ظرفیت نگه‌داری رطوبت مزرعه $F_c$ (درصد وزنی)
۱۰/۱	۹/۷	۷/۸	۷/۸	۱۲/۹	۱۲/۷	نقطه پژمردگی خاک PWP
۱/۶۷	۱/۶۹	۱/۶۷	۱/۷۸	۱/۵۷	۱/۳۴	جرم مخصوص ظاهری ( $gr/cm^3$ )
لوم سیلتی	لوم سیلتی	لوم شنی	لوم شنی	لوم رسی سیلتی	لوم رسی سیلتی	بافت خاک

روی  $T_1$  دوره‌های رشد  $T_2, T_3, T_4, T_5$  و  $T_6$  آبیاری کامل شده و الی آخر تا دوره  $T_6$  یعنی ۳۰ تیمار و در ۳ تکرار مجموعاً ۹۰ کرت آزمایشی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به میزان آب مصرفی و سود خالص حاصل از هر تیمار مقادیر بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری اقتصادی براساس معادله زیر محاسبه شد:

$$P_w = \frac{Y}{W} \quad (1)$$

$$P\$ = \frac{B}{W} \quad (2)$$

که در آن،  $P_w$  شاخص بهره‌وری آب آبیاری،  $Y$  عملکرد تولیدی برحسب کیلوگرم،  $W$  میزان آب مصرفی بر حسب مترمکعب،  $P\$$  بهره‌وری اقتصادی آب،  $B$  سود حاصل بر حسب ریال،  $W$  میزان آب مصرفی بر حسب مترمکعب است.

بودجه‌بندی جزئی، تحلیل نهایی براساس اختلاف منافع به اختلاف هزینه، نسبت درآمد به هزینه هر تیمار، میزان سود خالص، تعیین بهره‌وری کل آب مصرفی در هر یک از تیمارها و با توجه به قیمت آب و آبیاری و سایر نهاده‌ها در تحلیل اقتصادی است (توکلی، ۱۳۹۰). در بررسی اقتصادی تحقیق برای تعیین مدیریت‌های برتر کم‌آبیاری از طریق بودجه‌بندی جزئی انجام شد. اگر قیمت آب بیش از میزانی باشد که سود ناشی از افزایش تولید با تغییر مدیریت آبیاری، برابر با هزینه‌های آب و آبیاری شود، به آن حد سودآوری گفته می‌شود.

روش بودجه‌بندی جزئی در مواردی به کار می‌رود که در سازمان تولید مزرعه، تغییرات جزئی رخ داده باشد. در

از آنجا که زمین انتخابی طرح در تناوب با زراعت چغندرقتد بود، عملیات لازم تهیه زمین انجام و قطعات آزمایشی پس از دیسک و مالکشی با ایجاد کرت‌های آزمایشی برابر با  $۲/۵ * ۴$  متر اعمال شد و فاصله بین دو کرت مجاور  $۲/۵$  متر بود که از آن به‌عنوان ضریب اطمینان عدم نفوذ آب استفاده شد و انتهای کرت‌ها بسته بود؛ بنابراین هیچ‌گونه تلفات سطحی آب وجود نداشت. در هر کرت آزمایشی ۱۲ خط کشت به طول ۴ متر و فاصله ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته و از رقم الوند برای کشت استفاده شد. برای اندازه‌گیری دقیق تبخیر-تعرق واقعی گیاه از یک لایسیمتر زهکش‌دار در وضعیت مشابه مزرعه استفاده شد. با اندازه‌گیری دقیق مقدار رطوبت خاک درون لایسیمتر و تعیین مقدار تبخیر-تعرق واقعی گیاه گندم مقادیر آب آبیاری هر کرت محاسبه و از طریق کنتور آب با دقت بالا، اندازه‌گیری حجمی شده و در اختیار هر کرت قرار داده می‌شد. در این آزمایش پنج تیمار آبیاری با عمق‌های آبیاری به‌ترتیب برابر صد در صد تبخیر-تعرق حاصل از لایسیمتر گندم ( $E_0$ )، ۸۵ درصد  $ET_0$  ( $E_1$ )، ۷۰ درصد  $ET_0$  ( $E_2$ )، ۵۵ درصد  $ET_0$  ( $E_3$ ) و بدون آبیاری ( $E_4$ ) اعمال شد. برای ارزیابی دقیق تنش آبی یا نقصان آب آبیاری در گیاه گندم، دوران رشد گیاه نیز به شش دوره رشد گیاه شامل  $T_1$ : جوانه‌زنی،  $T_2$ : پنجه‌زنی،  $T_3$ : ساقه‌دهی،  $T_4$ : گلدهی،  $T_5$ : شیری و خمیری و  $T_6$ : رسیدن گیاه تقسیم شد. اعمال تنش‌ها در دوره‌های رشد بدین‌گونه بوده است که در زمان اعمال تنش آبی

$(C(w))$ ، عملکرد دانه  $(Y_g)$ ، عملکرد کاه و کلش  $(Y_s)$ ، قیمت فروش دانه (۱۰۵۰۰ ریال بر کیلوگرم)  $(P_1)$ ، قیمت فروش کاه و کلش (۲۵۰۰ ریال بر کیلوگرم)  $(P_2)$ ، هزینه‌های ثابت تولید  $(C_1)$ ، هزینه واحد آب مصرفی  $(\beta)$ ، عمق آب مصرفی  $(w)$ ، تعداد انبار کمباین (براساس ظرفیت ۲۰۰۰ کیلوگرمی هر انبار)  $(A)$  و هزینه هر انبار کمباین  $(P_3)$  است. قیمت فروش دانه و کاه و کلش براساس سال ۱۳۹۲ و درآمدها و هزینه‌ها برحسب ریال در هکتار، عملکرد بر حسب کیلوگرم در هکتار، قیمت فروش محصول اصلی (دانه) و فرعی (کاه و کلش) بر حسب ریال بر کیلوگرم، هزینه آب مصرفی بر حسب ریال بر مترمکعب، عمق آب مصرفی بر حسب میلی‌متر-هکتار و هزینه کمباین ریال در هر هکتار است. بنابراین پس از تعیین قیمت آب مصرفی و درآمدها و هزینه‌های تولید، به بررسی دو گزینه از مدیریت زمان و میزان آبیاری و نیز تحلیل نتایج بهره‌وری آب و آزمون آماری پرداخته شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مربوط به شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی آب و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن براساس دو نرم‌افزار SPSS و MSTAT-C برای هر یک از تیمارهای آبیاری و دوره رشد انجام و بر این اساس بهترین سطح آبیاری و دوره اعمال کم آبیاری برای تولید گندم مشخص شد.

این حالت، آثار این تغییر جزئی بر درآمد و هزینه‌های مزرعه تعیین و در مورد جایگزینی آن تصمیم‌گیری می‌شود. البته برای اتخاذ تصمیم درباره تغییر جزئی، برآورد افزایش یا کاهش هزینه منتج از انتخاب روش جدید و افزایش یا کاهش درآمد ناشی از انتخاب روش جدید لازم است. هرگاه مجموع کاهش هزینه و افزایش درآمد ناشی از کاربرد روش جدید بیشتر از مجموع افزایش هزینه و کاهش درآمد ناشی از انتخاب روش جدید باشد، انتخاب تکنیک جدید اقتصادی است (نوکلی، ۱۳۹۰).

برای واقعی شدن هزینه‌های تولید شامل هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت، حالت عمومی‌تر و نیمه‌مکانیزه مورد توجه قرار گرفت. جدول ۲ متوسط هزینه‌های مختلف کاشت، داشت و برداشت گندم را بدون احتساب هزینه‌های متغیر نشان می‌دهد. هزینه‌ها شامل دو بخش هزینه ثابت و هزینه متغیر است و هزینه‌های متغیر شامل هزینه‌های مربوط به آب و آبیاری و همچنین برداشت محصول به وسیله کمباین سنگین در هر هکتار می‌شود. تابع عمومی درآمد خالص در واحد سطح به صورت زیر است:

$$N.B = B(w) - C(w) = (Y_g \cdot P_1 + Y_s \cdot P_2) - (C_1 + \beta \cdot w + A \cdot P_3) \quad (3)$$

در این رابطه پارامترها به ترتیب بیان‌کننده درآمد خالص  $(N.B)$ ، درآمد ناخالص  $(B(w))$ ، هزینه‌های تولید

جدول ۲- هزینه‌های ثابت کاشت، داشت و برداشت براساس سال ۱۳۹۲

هزینه (هزار ریال در هکتار)	شرح عملیات	ردیف
۲۰۲۵۰	کاشت شامل شخم، دیسک، کودپاشی، بذریاشی، شیار، کارگری، خرید کود و بذر گندم، اجاره بها و مدیریت	۱
۷۰۸۰	داشت شامل تعمیرات، کارگری، بیمه حوادث، سموم علف‌کش و سن، سم‌پاشی، کودهای آلی و ارگانیک و آزمایش خاک (هر ۳ سال یکبار)	۲
۳۰۰	هزینه‌های پیش‌بینی نشده	۳
۷۵۰	برداشت شامل جمع‌آوری و حمل و نقل هر هکتار	۴
۲۱۷۳۸	مجموع هزینه‌های ثابت در هر هکتار	

## نتایج و بحث

(جدول ۳) نشان داد که حداکثر سود خالص از اعمال تیمار E3 در دوره پنجه‌دهی (۴۰۴۹۲ هزار ریال) است. با توجه به اینکه سود خالص به تنهایی تفاوت‌ها را نشان نمی‌دهد، از نسبت درآمد به هزینه و بهره‌وری اقتصادی آب و بهره‌وری آب آبیاری برای بهینه‌سازی اقتصادی

عملکرد دانه و کاه و کلش، سود خالص و نسبت درآمد ناخالص به هزینه تولید و سود خالص به ازای واحد آب مصرفی و بهره‌وری آب آبیاری پس از اندازه‌گیری و یا برآورد ارائه شد (جدول ۳). بررسی میانگین هزینه کل

حداکثر میزان بهره‌وری اقتصادی (۱۲/۷۸) هزار ریال بر متر مکعب) و حداکثر بهره‌وری آب آبیاری (۱/۵۸) کیلوگرم بر هکتار) بود. طبق جدول ۴ نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر سطوح مختلف عمق آب آبیاری و همچنین مراحل مختلف رشد بر عملکرد دانه، درآمد ناخالص، هزینه تولید، درآمد خالص و نسبت درآمد به هزینه معنی‌دار بود ( $P < 0.01$ ).

تیمارهای آب و زمان اعمال تیمار کم‌آبیاری استفاده شد. با توجه به نتایج حداکثر نسبت درآمد به هزینه ۲/۲۵ و مربوط به تیمار E4 اعمال شده در مرحله رسیدن گیاه بوده است. در کل تمامی تیمارهای اعمال شده دارای نسبت درآمد به هزینه بزرگ‌تر از یک و مرقوم به صرفه بودند. بهره‌وری اقتصادی آب و دوره رشد برای هر تیمار محاسبه و در جدول ۳ ارائه شده است. تیمار E4 اعمال شده در دوره رسیدن گیاه دارای

جدول ۳- مقادیر عملکرد دانه و کاه و کلش، درآمد ناخالص و خالص، هزینه کل و نسبت درآمد به هزینه در تیمارهای آبیاری در دوره‌های رشد مختلف گندم

دوره رشد	تیمار آبیاری	عمق آبیاری	عملکرد دانه (kg/ha)	کاه و کلش (kg/ha)	درآمد ناخالص (B) هزار ریال	هزینه تولید (C) هزار ریال	درآمد خالص (NB) هزار ریال	نسبت درآمد به هزینه (B/C)	بهره‌وری اقتصادی (کیلوگرم بر مترمکعب)	بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)
جوانه‌زنی	E0	۵۳۷	۵۴۳۳	۷۷۳۳	۷۶۳۸۳	۳۹۲۴۸	۳۷۱۳۵	۱/۹۵	۶/۹۱	۱/۰۱۲
	E1	۵۲۵	۵۴۰۰	۸۴۳۳	۷۷۷۸۳	۳۸۸۸۲	۳۸۹۰۱	۲/۰۰	۷/۴۱	۱/۰۲۹
	E2	۵۱۱	۵۵۰۰	۷۸۶۷	۷۷۴۱۶	۳۸۵۳۰	۳۸۸۸۶	۲/۰۱	۷/۶۰	۱/۰۷۵
	E3	۵۰۰	۵۰۶۷	۶۷۳۳	۷۰۰۳۳	۳۷۹۷۶	۳۲۰۵۷	۱/۸۴	۶/۴۲	۱/۰۱۴
	E4	۴۸۴	۵۰۳۳	۷۶۳۳	۷۱۹۳۳	۳۷۷۱۷	۳۴۲۱۶	۱/۹۱	۷/۱۰	۱/۰۳۹
پنجه‌دهی	E0	۵۳۷	۵۱۳۳	۷۰۶۷	۷۱۵۶۶	۳۹۱۹۸	۳۲۳۶۸	۱/۸۳	۶/۰۰	۰/۹۵۶
	E1	۵۱۵	۴۷۳۳	۷۰۶۷	۶۷۳۶۶	۳۸۴۷۹	۲۸۸۸۷	۱/۷۵	۵/۶۱	۰/۹۲۰
	E2	۵۰۰	۵۵۶۷	۷۶۰۰	۷۷۴۵۰	۳۸۱۴۴	۳۹۳۰۶	۲/۰۳	۷/۸۶	۱/۱۱۳
	E3	۴۸۵	۵۶۳۳	۷۶۳۳	۷۸۲۳۳	۳۷۷۴۱	۴۰۴۹۲	۲/۰۷	۸/۳۵	۱/۱۶۱
	E4	۴۷۰	۵۱۶۷	۷۴۰۰	۷۲۷۵۰	۳۷۱۳۵	۳۵۶۱۵	۱/۹۶	۷/۵۸	۱/۱۰۰
ساقه‌دهی	E0	۵۳۷	۴۸۶۷	۶۵۶۷	۶۷۵۱۶	۳۹۰۳۸	۲۸۴۱۸	۱/۷۳	۵/۲۹	۰/۹۰۶
	E1	۵۰۳	۵۰۳۳	۶۵۶۷	۶۹۲۶۶	۳۸۱۳۴	۳۱۱۳۲	۱/۸۲	۶/۱۹	۱/۰۰۰
	E2	۴۷۰	۵۱۰۰	۷۳۰۰	۷۱۸۰۰	۳۷۱۳۵	۳۴۶۶۵	۱/۹۳	۷/۳۸	۱/۰۸۵
	E3	۴۲۹	۴۲۳۳	۶۶۳۳	۶۱۰۳۳	۳۵۷۶۷	۲۵۲۶۶	۱/۷۱	۵/۸۸	۰/۹۸۶
	E4	۳۷۵	۲۵۳۳	۶۵۶۷	۴۳۰۱۶	۳۳۸۹۴	۹۱۲۲	۱/۲۷	۲/۴۳	۰/۶۷۵
گلدهی	E0	۵۳۷	۴۶۳۳	۷۰۳۳	۶۶۲۳۳	۳۹۰۹۸	۲۷۱۳۵	۱/۶۹	۵/۰۵	۰/۸۶۳
	E1	۵۰۰	۴۵۶۷	۶۹۰۰	۶۵۲۰۰	۳۷۹۲۳	۲۷۲۷۷	۱/۷۲	۵/۴۶	۰/۹۱۴
	E2	۴۶۳	۵۲۳۳	۸۳۶۷	۷۵۸۶۶	۳۷۰۳۴	۳۸۸۳۲	۲/۰۵	۸/۳۸	۱/۱۳۰
	E3	۴۲۸	۴۶۰۰	۶۱۶۷	۶۳۷۱۶	۳۵۷۲۵	۲۷۹۹۱	۱/۷۸	۶/۵۴	۱/۰۷۵
	E4	۳۵۲	۲۳۶۷	۴۸۰۰	۳۶۸۵۰	۳۳۰۵۱	۳۷۹۹	۱/۱۱	۱/۰۸	۰/۶۷۲
خمیری شیری	E0	۵۳۷	۴۷۳۳	۷۵۶۷	۶۸۶۱۶	۳۹۰۹۸	۲۹۵۱۸	۱/۷۵	۵/۴۹	۰/۸۸۱
	E1	۴۸۷	۵۱۳۳	۷۱۶۷	۷۱۸۱۶	۳۷۶۳۳	۳۴۱۸۳	۱/۹۱	۷/۰۳	۱/۰۵۵
	E2	۴۲۸	۵۱۰۰	۶۷۶۷	۷۰۴۶۶	۳۵۸۷۸	۳۴۵۸۸	۱/۹۶	۸/۰۸	۱/۱۹۲
	E3	۳۵۹	۴۷۶۷	۷۱۶۷	۶۷۹۶۶	۳۳۷۴۹	۳۴۲۱۷	۲/۰۱	۹/۵۴	۱/۳۲۹
	E4	۲۹۶	۲۹۶۷	۷۶۳۳	۵۰۲۳۳	۳۱۶۵۳	۱۸۵۸۰	۱/۵۹	۶/۲۹	۱/۰۰۴
رسیدن گیاه	E0	۵۳۷	۵۳۵۰	۷۹۶۷	۷۶۰۹۱	۳۹۱۹۸	۳۶۸۹۳	۱/۹۴	۶/۸۷	۰/۹۹۶
	E1	۴۶۵	۴۸۰۰	۷۲۳۳	۶۸۴۸۳	۳۶۹۴۷	۳۱۵۳۶	۱/۸۵	۶/۷۸	۱/۰۳۲
	E2	۴۲۰	۵۰۳۳	۷۵۶۷	۷۱۷۶۶	۳۵۶۹۴	۳۶۰۷۲	۲/۰۱	۸/۵۸	۱/۱۹۸
	E3	۳۷۸	۳۹۰۰	۶۶۰۰	۵۷۴۵۰	۳۴۲۹۰	۲۳۱۶۰	۱/۶۸	۶/۱۲	۱/۰۳۱
	E4	۳۲۰	۳۰۶۷	۵۱۱۱	۷۳۷۰۰	۳۲۷۴۷	۴۰۹۵۳	۲/۲۵	۱۲/۷۸	۱/۵۸۲

رشد بسته به وضعیت خاک، عوامل اقلیمی، رقم (مثل پاکوتاه یا پا بلند بودن) و طول فصل رویش متغیر است. حتی ممکن است در وضعیت کمبود آب مطلوب باشند (اسلاتر، ۱۹۵۸). در شکل ۲- میانگین عملکرد دانه گندم در مراحل مختلف رشد ارائه شده است.

تنها تأثیر عامل کم آبیاری و اثر متقابل عامل‌های کم آبیاری و زمان اعمال کم آبیاری بر وزن کاه و کلش در دو سطح مورد بررسی معنی‌دار نبود. گندم در مراحل مختلف رشد و نمو خود حساسیت یکسانی به کمبود آب ندارد (دانی، ۱۹۷۲ و نونز و همکاران، ۱۹۶۰). درجه حساسیت یا واکنش به کمبود آب در مراحل مختلف

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه، کاه و کلش، هزینه و درآمد و نسبت آن‌ها، بهره‌وری آب و اقتصادی گندم

بهره‌وری آب آبیاری (Kg/m <sup>3</sup> )	بهره‌وری اقتصادی (1000Rial/m <sup>3</sup> )	نسبت درآمد به هزینه (B/C)	درآمد خالص (NB- هزار ریال)	هزینه تولید (C- هزار ریال)	درآمد ناخالص (B- هزار ریال)	کاه و کلش (Ton/ha)	عملکرد دانه (Ton/ha)	درجه آزادی	منابع تغییر
۱۲/۹۵**	۰/۰۵۷*	۰/۱۹۵**	۲۹۷۰۰۰۰۰**	۱۷۱۵۰**	۳۱۱۴۰۰۰۰**	۴/۷۴	۱/۳۵۲**	۲	تکرار
۱۹/۵۵**	۰/۱۲۸**	۰/۲۴۵**	۳۵۴۱۰۰۰۰**	۲۱۲۱۷۲۳۸**	۴۵۹۶۰۰۰۰**	۲/۶۳۶	۲/۸۹۰**	۵	زمان اعمال کم آبیاری
۱۲/۲۹**	۰/۱۱۶**	۰/۲۳۷**	۴۱۳۱۰۰۰۰**	۶۲۱۰۱۴۰۷**	۶۸۳۲۰۰۰۰**	۱/۴۷۲ <sup>ns</sup>	۵/۲۷۱**	۴	عامل آب
۱۰/۷۹**	۰/۰۷۲**	۰/۱۲۰**	۱۵۰۲۰۰۰۰**	۲۸۹۹۸۱۸**	۱۷۰۷۰۰۰۰**	۱/۳۷۴ <sup>ns</sup>	۱/۱۴۸**	۲۰	زمان * عامل آب
۲/۲۷	۰/۰۱۳	۰/۰۳۳	۴۵۶۳۴۰۰۶	۲۲۲۶۷	۴۷۳۷۹۹۴۲	۱/۰۳۳	۰/۲۹۵	۵۸	خطا

\* و \*\* معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪ ns غیر معنی‌دار

عملکرد کل تیمار E2 در میان تمامی تیمارها توصیه می‌شود.

مقایسه میانگین عملکرد حاصل از اعمال کم آبیاری در دوره‌های رشد مختلف نشان داد تیمار T6 از یک سو همراه تیمار T1 در کلاس a قرار دارد و از سوی دیگر همراه تیمارهای T2 و T5 در گروه b قرار دارد. اک (۱۹۸۸) مشاهده کرد که آبیاری در مراحل پنجه‌زنی و تشکیل گره در مقایسه با آبیاری در مراحل خوشه‌رفتن و گرده‌افشانی منجر به عملکرد بالاتری می‌شود و نتیجه گرفت که چنانچه فقط یک آبیاری مقدور است، مرحله تشکیل گره بهترین زمان آبیاری است. در بررسی گرگوری و همکاران (۱۹۹۴) نیز آبیاری در اواخر مرحله تشکیل گره و مرحله گرده افشانی به‌طور معنی‌داری عملکرد را افزایش داد.

بیشترین درآمد ناخالص مربوط به تیمار E2 (۷۴۱۲۷ هزار ریال) و کمترین درآمد ناخالص مربوط به تیمار E4 (۵۸۰۸۰ هزار ریال) بود. نتایج این پارامتر مشابه نتایج عملکرد است. با توجه به معنی‌دار نبودن تأثیر عامل کم آبیاری بر کاه و کلش، تأثیر تیمار آبیاری بر درآمد

با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵ و شکل ۱) تیمار E2 با میزان عملکردی برابر ۵/۲۵ تن در هکتار بیشترین و تیمار E4 با میزان عملکردی برابر با ۳/۸۵ تن در هکتار کمترین عملکرد دانه را داشت. کاهش عملکرد با کاهش آب، رابطه خطی نداشت. تیمار E0 به‌عنوان تیمار شاهد از یک سو با تیمارهای E1 و E2 در کلاس a و از سوی دیگر با تیمار E1 و E3 در کلاس b قرار می‌گیرد. مقایسه میانگین عملکرد حاصل از اعمال کم آبیاری در دوره‌های رشد مختلف نشان داد دوره T4 با مقدار عملکرد ۴/۲۸ تن در هکتار کمترین مقدار عملکرد را داشت؛ بنابراین حساس‌ترین مرحله به کاهش آب بوده است. تیمار T4 همراه T3 و T5 از یک سو در کلاس C قرار دارد. گفتنی است تیمارهای T1 و T2 در کلاس a قرار دارند.

تأثیر تیمار کم آبیاری در کاه و کلش به دو دسته a و b تقسیم و تیمار E2 در کلاس a و E3 در کلاس b قرار دارد. مابقی تیمارها از یک سو در کلاس b قرار دارند؛ لذا به لحاظ عملکرد دانه و کاه و کلش تولیدی تیمار E2 به تیمار E3 ارجحیت داشته و برای داشتن حداکثر

نسبت درآمد به هزینه در تمامی تیمارها بزرگتر از یک بود. بیشترین مقدار آن در E2 (۱/۹۹) و از اعمال کم‌آبیاری در دوره T6 (۱/۹۴) حاصل شده است. در نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵ و شکل ۳) بیشترین بهره‌وری اقتصادی مربوط به تیمار E2 (۱/۱۳) هزار ریال بر مترمکعب بود که با تیمارهای E0 و E1 در کلاس a قرار گرفت) و از اعمال کم‌آبیاری در دوره T6 (۱/۱۷) هزار ریال بر مترمکعب) حاصل شد. سینگ (۱۹۸۱) اظهار داشته است که مرحله رویشی و دوره بعد از خمیری شدن نرم، به کمبود تبخیر- تعرق حساس نیستند. همچنین طول خوشه تحت تأثیر قرار نگرفته است. روبینز و دومینگو (۱۹۶۲) در آزمایشی روی گندم بهاره نتیجه گرفتند که تنش رطوبتی قبل از مرحله خوشه رفتن به طور نسبی عملکرد را کاهش نمی‌دهد؛ اما از آن مرحله به بعد کمبود آب به‌طور معنی‌داری عملکرد را کاهش می‌داد و بیشترین کاهش عملکرد زمانی اتفاق می‌افتد که تنش در طول خوشه رفتن و بعد از آن روی دهد.

ناخالص با تأثیر این عامل بر عملکرد دانه هم‌سو است. در مورد زمان اعمال کم‌آبیاری نیز نتایج مشابه نتایج عملکرد دانه بود و کمترین درآمد ناخالص از اعمال تیمار کم‌آبیاری در دره T4 حاصل شد. فرداد و گلکار (۱۳۸۱) در پژوهشی در کرج به این نتیجه رسیدند که کاهش ۶۵٪ آب مصرفی و توسعه سه برابری سطح زیر کشت، بیشترین سود خالص را برای گیاه گندم به همراه دارد. این در حالی است که در پژوهش حاضر بدون افزایش سطح زیرکشت و تنها با اعمال تیمار کم‌آبیاری با وضعیت ذکر شده در مواد و روش‌ها می‌توان با صرفه‌جویی در آب و کاهش هزینه‌های آب مصرفی و عملیات آبیاری و مصرف ۷۰٪ تبخیر- تعرق به بیشترین سود و عملکرد دانه رسید.

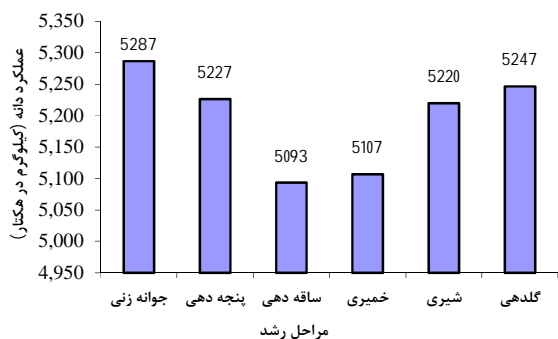
هزینه تولید در تیمارهای مختلف آبیاری E0 تا E4 با روند نزولی به‌ترتیب از ۳۹۱۵۶ هزار ریال تا ۳۴۳۶۶ هزار ریال در کلاس a تا e قرار دارند. این موضوع به دلیل افزایش هزینه‌های متغیر در تیمارهای پرآب‌تر بوده است.

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین عملکرد دانه، کاه و کلش، هزینه و درآمد و نسبت آن‌ها، بهره‌وری آب و اقتصادی گندم

عوامل آزمایشی	عملکرد دانه (Ton/ha)	کاه و کلش (Ton/ha)	درآمد ناخالص (B) - هزار ریال	هزینه تولید (C) - هزار ریال	درآمد خالص (NB) - هزار ریال	نسبت درآمد به هزینه (B/C)	بهره‌وری آب آبیاری (kg/m <sup>3</sup> )	بهره‌وری اقتصادی (1000Rial/m <sup>3</sup> )
E0	۵/۰۲ <sup>ab</sup>	۷/۳۲ <sup>ab</sup>	۷۱۰۶۸ <sup>ab</sup>	۳۹۱۵۶ <sup>a</sup>	۳۱۹۱۱ <sup>b</sup>	۱/۸۱ <sup>b</sup>	۰/۹۳ <sup>b</sup>	۵/۹۴ <sup>c</sup>
E1	۴/۹۴ <sup>ab</sup>	۷/۲۳ <sup>ab</sup>	۶۹۹۸۶ <sup>ab</sup>	۳۷۹۹۹ <sup>b</sup>	۳۱۹۸۶ <sup>b</sup>	۱/۸۳ <sup>b</sup>	۰/۹۹ <sup>b</sup>	۶/۴۱ <sup>bc</sup>
E2	۵/۲۵ <sup>a</sup>	۷/۵۸ <sup>a</sup>	۷۴۱۲۷ <sup>a</sup>	۳۷۰۶۹ <sup>c</sup>	۳۷۰۵۸ <sup>a</sup>	۱/۹۹ <sup>a</sup>	۱/۱۳ <sup>a</sup>	۷/۹۸ <sup>a</sup>
E3	۴/۷۰ <sup>b</sup>	۶/۸۲ <sup>b</sup>	۶۶۴۰۵ <sup>b</sup>	۳۵۸۷۴ <sup>d</sup>	۳۰۵۳۰ <sup>b</sup>	۱/۸۴ <sup>b</sup>	۱/۰۹ <sup>a</sup>	۷/۱۵ <sup>ab</sup>
E4	۳/۸۵ <sup>c</sup>	۷/۰۴ <sup>ab</sup>	۵۸۰۸۰ <sup>c</sup>	۳۴۳۶۶ <sup>e</sup>	۲۳۷۱۴ <sup>c</sup>	۱/۶۷ <sup>c</sup>	۱/۰۱ <sup>b</sup>	۶/۲۰ <sup>bc</sup>
T1	۵/۲۸ <sup>a</sup>	۷/۶۸ <sup>a</sup>	۷۴۷۱۰ <sup>a</sup>	۳۸۴۷۰ <sup>a</sup>	۳۶۲۳۹ <sup>a</sup>	۱/۹۳ <sup>a</sup>	۱/۰۳۴ <sup>b</sup>	۷/۰۸۳ <sup>a</sup>
T2	۵/۲۴ <sup>a</sup>	۷/۳۵ <sup>abc</sup>	۷۳۴۷۳ <sup>a</sup>	۳۸۱۳۹ <sup>b</sup>	۳۵۳۳۴ <sup>ab</sup>	۱/۹۲ <sup>a</sup>	۱/۰۴۹ <sup>b</sup>	۷/۰۸۵ <sup>a</sup>
T3	۴/۳۵ <sup>c</sup>	۶/۷۳ <sup>bc</sup>	۶۲۵۲۶ <sup>c</sup>	۳۶۸۰۵ <sup>c</sup>	۲۵۷۲۱ <sup>cd</sup>	۱/۶۹ <sup>b</sup>	۰/۹۳ <sup>c</sup>	۵/۴۳ <sup>b</sup>
T4	۴/۲۸ <sup>c</sup>	۶/۶۵ <sup>c</sup>	۶۱۵۷۳ <sup>c</sup>	۳۶۵۶۶ <sup>d</sup>	۲۵۰۰۷ <sup>d</sup>	۱/۶۷ <sup>b</sup>	۰/۹۴ <sup>c</sup>	۵/۳۰ <sup>b</sup>
T5	۴/۵۴ <sup>bc</sup>	۷/۲۶ <sup>abc</sup>	۶۵۸۲۰ <sup>bc</sup>	۳۵۶۰۲ <sup>f</sup>	۳۰۲۱۷ <sup>bc</sup>	۱/۸۴ <sup>a</sup>	۱/۰۹۷ <sup>ab</sup>	۷/۲۸ <sup>a</sup>
T6	۴/۸۳ <sup>b</sup>	۷/۵۱ <sup>ab</sup>	۶۹۴۹۸ <sup>ab</sup>	۳۵۷۷۵ <sup>e</sup>	۳۳۷۲۳ <sup>ab</sup>	۱/۹۴ <sup>a</sup>	۱/۱۷ <sup>a</sup>	۸/۲۳ <sup>a</sup>

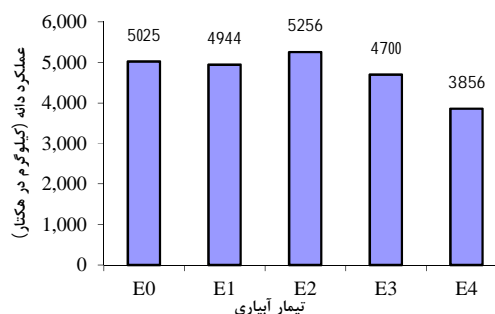
حروف مشترک در یک سطح بوده و اختلافی به لحاظ آماری در سطح ۱٪ ندارد.

(۱۹۸۱) سه مرحله را از رشد گندم براساس کاهش حساسیت به این ترتیب ذکر می‌کند: خوشه رفتن، گلدهی تا تشکیل دانه و مرحله رویشی. دورنبوس و کاسام (۱۹۷۹) تأثیرپذیری عملکرد گندم از کمبود آب را در مراحل مختلف رشد به ترتیب زیر می‌دانند؛ گلدهی << تشکیل دانه >> مرحله رویشی.

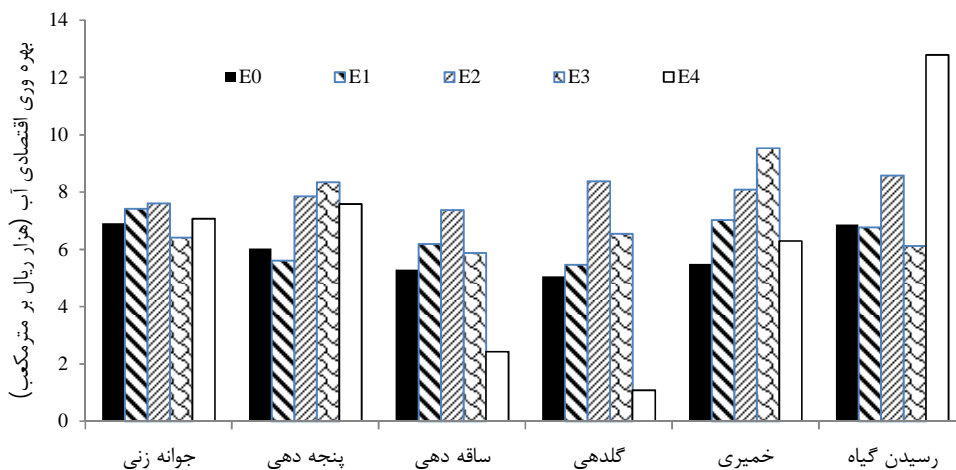


شکل ۲- میانگین عملکرد دانه گندم در مراحل مختلف رشد

اعمال کم آبیاری در دوره رسیدن گیاه با بهره‌وری اقتصادی برابر با ۱/۱۷ توصیه می‌شود. بعد از آن با اختلاف اندکی تیمارهای E3 و E4 با بهره‌وری اقتصادی به ترتیب برابر با ۱/۰۹ و ۱/۰۱ و اعمال کم آبیاری در دوره رشد T2 و T5 (پنجه‌زنی و خمیری) به ترتیب با بهره‌وری ۱/۰۴۹ و ۱/۰۹۲ توصیه می‌شوند. سینگ



شکل ۱- میانگین عملکرد دانه گندم تحت تیمارهای مختلف آبیاری



شکل ۳- بهره‌وری اقتصادی آب در دوره‌های مختلف رشد گندم به ازای اعمال تیمارهای مختلف کم آبیاری

آن با اختلاف اندکی تیمارهای E3 و E4 با بهره‌وری اقتصادی و اعمال کم آبیاری در دوره رشد T2 و T5 (پنجه‌زنی و خمیری) توصیه می‌شوند. در نهایت ذکر این نکته ضروری است که شناخت مراحل حساس گیاه به تنش‌های آبی، آگاهی از رابطه بین مصرف آب و عملکرد محصول در کم آبیاری اهمیت دارد. برای دستیابی به تولید مطلوب در زراعت گندم، استفاده بهینه از منابع محدود آب امری اجتناب‌ناپذیر است.

### نتیجه‌گیری

براساس نتایج به دست آمده از طریق بودجه‌بندی جزئی و تعیین شاخص بهره‌وری آب مصرفی و در وضعیت مختلف قیمت آب و آبیاری، هزینه کمابین برای رسیدن به حداکثر عملکرد و حداکثر بهره‌وری اقتصادی تیمار E2 برابر ۷۰٪ تبخیر- تعرق با بهره‌وری اقتصادی برابر با ۱/۱۳ و اعمال کم آبیاری در دوره رسیدن گیاه با بهره‌وری اقتصادی برابر با ۱/۱۷ توصیه می‌شود. بعد از



## منابع

- In: Singh S. D. 1981. Moisture-sensitive growth stages of dwarf wheat and optimal sequencing of evapotranspiration deficits. *Agronomy Journal*. 73: 387-391.
11. Eck H. V. 1988. Winter wheat response to nitrogen and irrigation. *Agronomy Journal*. 80: 902-908.
  12. Garg N. K. and Dadhich S. M. 2014. Integrated non-linear model for optimal cropping pattern and irrigation scheduling under deficit irrigation. *Agricultural water management*. 140: 1-13.
  13. Gregory S. Wallace W. and Patricia N. S. Bartling. 1994. Irrigation and culm contribution to yield and yield components of winter wheat. *Agronomy Journal*. 86: 1123-1127.
  14. Hernandez B. Avila E. C. Olan J. J. Lopez J. F. and Navarro L. A. 2010. Morphological quality of sweet corn ears as response to soil moisture tension and phosphate fertilization in Campech, Mexico. *Agricultural Water Management*. 97: 1365-1374.
  15. Kuşçu H. Turhan A. and Demir A. O. 2014. The response of processing tomato to deficit irrigation at various phenological stages in a sub-humid environment. *Agricultural Water Management*. 133: 92-103.
  16. Nunez E. R. Laird R. J. Hernandez S. R. and Arvisu R. Z. 1960. Variaciones en la humedad del suelodurante ciclo del trigo en El Bajío Y su influencia en varias caractersticas del cultivo. *Fel. Tec. Agric. Ganad, Mexico*, 38(from *Field Crop Abstr.* 14, No. 9). *Agronomy Journal*. 73: 387-391.
  17. Robins J. S. and Domingo C. E. 1962. Moisture and nitrogen effects on irrigated spring wheat. *Agronomy Journal*. 54: 135-138.
  18. Singh S. D. 1981. Moisture-sensitive growth stages of dwarf wheat and optimal sequencing of evapotranspiration deficits. *Agronomy Journal*. 73: 387-391.
  19. Slatyer R. O. 1958. Availability of water to plants. *Ibid.* 11: 159-164.
  20. Vaux H. J. and Pruitt W. O. 1983. Crop water production functions. *Advanced in irrigation*. 2: 61-97.
  21. Zwart S. J. and Bastiaanssen W. G. M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*. 69(2): 115-133.
۱. ابراهیمی پاک ن. ۱۳۸۱. تأثیر میزان و دور آبیاری بر مقدار روغن کلزا. چکیده مقالات هفتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج. ۲-۴ شهریورماه.
  ۲. اسدی ح. نیشابوری م. و سیادت ح. ۱۳۸۰. اثر تنش آبی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد، اجزاء عملکرد و برخی روابط آبی گندم. مجموعه مقالات هفتمین کنگره علوم خاک ایران، شهرکرد. ۴-۷ شهریورماه.
  ۳. اکبری مقدم ح. ح. رستمی غ. اعتصام ش. کوهکن غ. ع. و کیخا ع. ۱۳۸۳. بررسی اثر تنش شوری بر عملکرد دانه و زیست توده ارقام گندم. هفتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشکده علوم کشاورزی گیلان. ۳-۵ خردادماه.
  ۴. توکلی ع. ر. ۱۳۹۰. ارزیابی شاخص بهره‌وری اقتصادی مدیریت تک‌آبیاری برای دو رقم گندم دیم (مطالعه موردی: مراغه). *مجله مدیریت آب و آبیاری*. ۱(۲): ۱۷-۲۹.
  ۵. حیدری ن. ۱۳۹۰. تعیین و ارزیابی شاخص کارایی مصرف آب محصولات زراعی تحت مدیریت کشاورزان در کشور. *مجله مدیریت آب و آبیاری*. ۲: ۴۳-۵۷.
  ۶. سپهوند م. ۱۳۸۸. مقایسه نیاز آبی، بهره‌وری آب و بهره‌وری اقتصادی آن در گندم و کلزا در غرب کشور در سال‌های پرباران. *مجله پژوهش آب ایران*. ۴: ۶۳-۶۸.
  ۷. فرداد ح. و گلکار ح. ر. ۱۳۸۱. تحلیل اقتصادی کم‌آبیاری گندم در وضعیت کرج. *مجله علوم کشاورزی ایران*. ۳۳(۲): ۳۰۵-۳۱۲.
  8. Cao X. Wang Y. Wu P. and Zhao X. 2015. Water productivity evaluation for grain crops in irrigated regions of China. *Ecological Indicators*. 55: 107-117.
  9. Doorenbos J. and Kassam A. H. 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper No.* 33.
  10. Downiy L. A. 1972. Water-yield relations for non forage crops. *J. Irrigation and Drainage Div., ASAE*, 98(IRI): 107-115.

