کم‌آبیاری و مدیریت آبیاری تکمیلی گندم آبی و دیم در شهرستان سلسله

علیرضا توکلی[۱]*

استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)
art.tavakoli@gmail.com

چکیده

به منظور بهبود شاخص‌بهره‌وری آب آبیاری و تخصیص آب صرفه‌جویی شده به آبیاری محدود اراضی دیم مجاور، روش‌های مختلف کم‌آبیاری در دو سامانه آبیاری سطحی و بارانی برای گندم آبی ارقام شیراز و پیشتاز و در مزارع زارعین شهرستان سلسله در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ مورد بررسی قرار گرفت. در آزمایش مربوط به آبیاری بارانی با قرار دادن تعدادی قوطی در ارتفاع ۹۰ سانتی‌متری و متناسب با ارتفاع گندم، اقدام به اندازه‌گیری آب آبیاری در فواصل مختلف از تک‌آبپاش با چهار نمونه شد و عملکرد نیز در همان نقاط اندازه‌گیری شد. در آزمایش مربوط به آبیاری سطحی نیز تیمارهای قطع آبیاری شامل آبیاری کامل، قطع اوّلین آبیاری بهاره و قطع اوّلین و سوّمین آبیاری بهاره، اعمال و عملکرد گندم در این تیمارها تعیین گردید. با مشخص بودن عملکرد محصول و آب مصرفی کل (بارش و آب آبیاری)، شاخص بهره‌وری کل آب مصرفی تعیین شد. نتایج نشان داد در شرایط آبیاری بارانی و با استفاده از توابع تولید، کاهش ۲۹/۴ درصد آب مصرفی در طول دوره آبیاری بیشینه بهره‌وری کل آب مصرفی را علیرغم اندکی کاهش عملکرد محصول بیشینه بهره وری کل آب مصرفی را به دنبال داشت. در شرایط آبیاری سطحی نیز، قطع اولین آبیاری بهاره (تیمار ۷۸ درصد آبیاری کامل)، سبب افزایش ۳/۳ درصدی عملکرد در مقایسه با شاهد شد که علت آن را می‌توان به عدم ضرورت انجام اولین آبیاری بهاره دانست. در تیمار کم‌آبیاری توسعه عمقی ریشه به میزان ۱۰/۵ درصد بیشتر از شرایط آبیاری کامل مشاهده شد و این منجر به افزایش عمق خاک موثر و اثربخشی آن در تامین نیاز آبی گیاه شد و در نتیجه سبب گردید که کاهش عمق آب آبیاری با کم‌آبیاری، منجر به کاهش قابل ملاحظه عملکرد نشود. با تخصیص آب صرفه‌جویی شده ناشی از انجام کم‌آبیاری، برای انجام تک‌آبیاری زمان کاشت یا تک‌آبیاری بهاره در اراضی گندم دیم مجاور، بهره‌وری کل آب کاربردی به میزان ۹/۳ درصد افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، آبیاری سطحی، تابع تولید، توسعه ریشه، عملکرد

مقدمه

نقصان فزاینده و مستمر کمیت و کیفیت منابع آب ایجاب می‌کند که به اصلاح الگوی مصرف و تخصیص بهینه آب توجه شود. در مناطقی که قیمت آب زیاد است، برنامه‌ریزی برای مصرف بهینه آن غیر قابل اجتناب است. از این رو، تلاش برای بهینه کردن محصول تولیدی در ازای مصرف هر چه کم‌تر آب، منطقی به نظر می‌رسد.

---

[۱] آدرس نویسنده مسئول: مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)

* دریافت:بهمن ۱۳۹۱ و پذیرش: آبان ۱۳۹۲

برای تعیین حد بهینه آب آبیاری، استفاده از مدل‌ها و روابط تجربی- ریاضی و توابع تغییرات مصرف آب- عملکرد محصول امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (قهرمان و سپاس‌خواه، ۱۳۷۵).

استفاده از روش کم‌آبیاری به عنوان یک مدیریت کارآ و آگاهانه، فقط با هدف بهبود راندمان آبیاری صورت نمی‌پذیرد، بلکه به دنبال کاهش مصارف غیرمفید و افزایش سهم مصارف مفید است. تعرق محصول مورد نظر، اصلی‌ترین بخش مصرف مفید و تلفات حاصل از تبخیر و تعرق علف‌های هرز، از جمله منابع مصارف غیرمفید است. اتخاذ تمهیداتی که منجر به توسعه عمقی ریشه گیاه می‌گردد، سبب می‌شود که حجمی از خاک که در تامین آب مورد نیاز محصول نقش دارد، افزایش یابد. لذا آب باران یا آب آبیاری نفوذ کرده و آب حاصل از خیز مویینه‌ای (در مناطقی با سطح ایستابی بالا) می‌تواند مورد استفاده محصول قرار گیرد.

کمبود یا تنش رطوبتی برای گیاه زمانی اتفاق می‌افتد که تبخیر – تعرق واقعی از گنجایش و توانایی ریشه‌ها برای استخراج آب از خاک بیشتر شود. این عامل باعث کاهش رشد اندام‌های هوایی و ریشه گندم و در نهایت افت عملکرد دانه خواهد شد (کافی و همکاران، ۱۳۷۹). لذا افزایش ضخامت لایه موثر در تامین آب از طریق توسعه عمقی ریشه می‌تواند در کنترل افت عملکرد اثربخش باشد.

کم‌آبیاری زمانی برای بهره‌برداران قابل قبول است که ضمن کاربردی بودن، برای آب صرفه‌جویی شده نیز برنامه مصرف داشته باشد و یا اینکه با محدودیتهای قانونی و یا تقبل هزینه بیشتر برای تامین آب مواجه باشند. از آن‌جایی که بازار آب وجود ندارد و خرید و فروش آب رایج نیست، و از سوی دیگر اراضی دیم، عمدتاً در مجاورت اراضی آبی واقع هستند، بایستی امکان تخصیص آب صرفه‌جویی شده به آبیاری محدود زراعت دیم نیز مورد توجه قرار گیرد (رمضانی‌اعتدالی و همکاران، ۱۳۹۱). کم‌آبیاری در سامانه‌های آبیاری تحت فشار با تنظیم مدت آبیاری و کاهش عمق آب در هر نوبت و یا حذف آبیاری‌های کم اثر یا بی‌اثر، قابلیت کاربردی شدن دارد، اما در آبیاری سطحی کاهش مدت و عمق آب آبیاری در هر نوبت نمی‌تواند کاربردی باشد و فقط می‌توان از طریق حذف آبیاری‌های کم اثر یا بی‌اثر اقدام به اصلاح مصرف آب نمود.

تابع تولید یک مفهوم کلی و کاربردی است که رابطه بین واکنش گیاه به عوامل و نهاده‌های مختلف تولید (آب، کود، خاک، انرژی و سایر شرایط و عوامل زراعی) را بیان می‌کند. در واقع تابع تولید، رابطه‌ای است ریاضی بین میزان آب مصرفی و کل تولید ماده خشک، یا رابطه‌ای است بین محصول قابل فروش در مقابل تبخیر- تعرق یا مقدار آب مصرفی در طی فصل آبیاری (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵). اساس فیزیولوژیک تابع تولید، مبتنی بر یافتن اثرات تنش آبی بر مراحل فیزیولوژیک گیاه مانند رفتار روزنه‌ها (Stomata)، میزان و شدت فتوسنتز، انتقال و جذب آب و عناصر غذایی محلول می‌باشد (انگلیش و همکاران، ۱۹۹۰). اثرات کلی تنش آبی بر عملکرد همواره مورد توجه بوده و در مراحل مختلف رشد روی عملکرد محصول بررسی گردیده است. از روابط مشهور و معروف پیرامون رابطه " آب مصرفی ـ عملکرد"، مدل بهینه‌سازی سود خالص (انگلیش، ۱۹۹۰) و فرمول استوارت و همکاران (استوارت و همکاران، ۱۹۷۷) است.

نتایج تحقیقات مختلف بیانگر افت عملکرد پس از افزایش میزان معینی از آب مصرفی است و چون میزان تبخیر و تعرق در ارتباط مستقیم با مراحل فیزیولوژیک گیاه است، بنابراین شاخص مناسب‌تری برای مصرف آب توسط گیاه به شمار می‌رود. رابطه بین عملکرد محصول و تبخیر – تعرق فصلی تقریباً خطی است (خیرابی و همکاران، ۱۳۷۵). تابع تولید ابتدا یک حالت تقریباً خطی دارد ولی به تدریج از حالت خطی به منحنی (درجه دوم) تبدیل می‌شود (دورنبوس و کاسام، ۱۹۷۹؛ هارگریوز و سامانی، ۱۹۸۴). علت این امر مربوط به تلفات آب به

صورت نفوذ عمقی و رواناب می‌باشد که هر چه عمق آب آبیاری بیشتر شود، بر میزان تلفات نیز اضافه می‌گردد. علت تلفات نفوذ عمقی به خصوصیات خاک و شیوه نادرست برآورد آب قابل دسترس و زیاد در نظر گرفتن عمق توسعه ریشه و روشهای آبیاری بر می‌گردد.

تعیین کارآیی مصرف آب گندم مورد توجه محققین زیادی قرار داشته است. بسیاری از آنها میزان کارآیی مصرف آب را برای گندم بین ۱ تا ۱/۲ کیلوگرم بر متر مکعب آب خالص مصرفی (۱۰ تا ۱۲ کیلوگرم بر میلی‌متر) گزارش نموده‌اند (آگراوال و همکاران، ۱۹۸۶؛ بومان و تونگ، ۲۰۰۱؛ کوپر، ۱۹۸۰؛ لال، ۱۹۸۵؛ شیمشی و کاف‌کاف، ۱۹۷۸؛ سینگ و دستانه، ۱۹۷۱). برخی دیگر نیز مقادیر زیادتری را به دست آورده‌اند که از جمله می‌توان: ۱/۵ تا ۱/۹ (رائو و بحردواج، ۱۹۸۱)، ۱/۴ تا ۱/۵ (اهلیگ و لی‌مرت، ۱۹۷۶) و ۱/۲ تا ۱/۶ (فیشر، ۱۹۷۰) کیلوگرم بر متر مکعب اشاره نمود. نشان داده شده است که در شرایط کاهش۲۷/۳ درصد آب مصرفی همراه با مصرف نیتروژن به مقدار ۹۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، میزان بهره‌وری کل آب مصرفی و بهره‌وری آب آبیاری به ترتیب ۰/۹۵۸ و ۲/۰۵۶ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد (توکلی، ۱۳۸۵). بدیهی است که اختلاف مقادیر کارآیی مصرف آب در نقاط مختلف مربوط به رقم، مدیریت زراعی و شرایط اقلیمی، خاک، آب و روش آبیاری می‌باشد.

در شرایط آبیاری بارانی، کاهش مقدار عمق آب آبیاری به کار رفته در هر نوبت آبیاری از طریق کاهش مدت آبیاری و همچنین قطع کامل یک یا چند دور آبیاری امکان‌پذیر است، اما در شرایط آبیاری سطحی، فقط از طریق حذف یک یا چند آبیاری بهاره می‌توان، اقدام به صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق کم‌آبیاری کرد .

اهمیت اجرای این پژوهش در نحوه کاربردی کردن کم‌آبیاری در زراعت آبی است و امکان استفاده از آب صرفه‌جویی شده در اراضی دیم پیرامون را، بررسی می‌کند. ارزیابی و تعیین بهره‌وری آب تحت شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری گندم در سطح مزارع زارعین و بررسی نقش توسعه ریشه در کاهش اثرات تنش رطوبتی، هدف این تحقیق را تشکیل می‌دهد.

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه مدیریت کم‌آبیاری برای گندم آبی و در مزارع زارعین، در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ دو مزرعه در دو روستای کهریز و دهرحم شهرستان سلسله در استان لرستان، در عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۵۶۷ متر انتخاب شد. داده‌های هواشناسی مورد نیاز از جمله بارش، تبخیر، رطوبت نسبی، کمینه و بیشینه دمای هوا، سرعت باد و ساعات آفتابی از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (ایستگاه الشتر) که با محل اجرای پژوهش پنج الی ۱۰ کیلومتر فاصله داشت، تهیه گردید. این منطقه دارای شرایط آب و هوایی نیمه سرد می‌باشد (توکلی و همکاران، ۲۰۱۰). میانگین ۸ ساله بارش منطقه، مطابق با آمار هواشناسی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهرستان، برابر ۴۹۸ میلی‌متر است. کل بارش سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ برابر ۵۷۳ میلی‌متر بود. متوسط سالانه دمای هوای منطقه ۱۲ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد است.

شرایط منطقه طوری است که بخشی از اراضی دیم در مجاورت اراضی آبی واقع است و امکان پمپاژ آب و یک یا دو نوبت آبیاری برای آنها مهیا می‌باشد (توکلی و همکاران، ۱۳۸۹). از آنجایی که امکان خرید و فروش آب مرسوم نیست، تنها راه توجیه‌کننده برای اعمال کم‌آبیاری، امکان استفاده از آب صرفه‌جویی شده برای آبیاری محدود در زراعت دیم است که گزینه‌های مختلفی می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.

اطلاعات مزرعه‌ای جمع‌آوری شده شامل تهیه زمین، ماشین کاشت، زمان کاشت، روش آبیاری، زمان برداشت، رقم و میزان بذر مصرفی و روش کم‌آبیاری و ... در مزارع انتخابی است (جدول ۱).

در مزارع منتخب با وسعت یک الی شش هکتار، مساحتی برابر با ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر مربع برای اعمال

تیمارهای کم‌آبیاری منظور گردید. عملیات تهیه زمین شامل شخم و دیسک و کشت در کهریز با ردیف‌کار انجام شد، بر اساس نتایج آزمون خاک و نظریه کارشناس تغذیه خاک، فرمول کودی $N_{90}P_{45}K_{15}$+1-2%ZN استفاده شد.

نتیجه تجزیه فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک برای عمق ۱۰۰-۰ سانتی‌متر تعیین و در جدول ۲ نشان داده شده است. مطابق با نمونه خاک برداشت شده، رطوبت گنجایش مزرعه‌ای (پتانسیل ماتریک ۳۳- کیلو پاسکال)، رطوبت نقطه پژمردگی دائم (۱۵۰۰- کیلو پاسکال) و چگالی ظاهری خاک به ترتیب ۳۰/۱ – ۲۹ درصد رطوبت حجمی، ۱۳/۴ – ۱۲/۵ درصد رطوبت حجمی و ۱/۳۸ – ۱/۳۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب بوده و متوسط آب قابل استفاده در یک متر عمق خاک برابر ۱۷۰ میلی‌متر به دست آمد. مقادیر شن، رس و سیلت در نمونه خاک مزرعه مربوط به آزمایش آبیاری بارانی ۲۴/۴-۲۳/۴-۵۲/۲ درصد (بافت SCL) و در نمونه خاک مزرعه مربوط به آزمایش آبیاری سطحی ۴ ۲۳/۱-۳۲-۴۴/۹ درصد (بافت SCL) اندازه‌گیری شد.

در مزرعه گندمی که از سامانه آبیاری سطحی (نواری) استفاده می‌شد، اقدام به اعمال تیمارهای آبیاری شامل: ۱- آبیاری کامل (Full irrigation = FI) ۲- قطع اوّلین آبیاری بهاره (Cut of first irrigation = 78% FI) ۳- قطع اوّلین و سوّمین آبیاری بهاره (Cut of first & third irrigation = 56% FI) در نوارها و در سه تکرار شد. در انتهای فصل محصول گندم از مرکز نوار در ابعاد یک متر مربع برداشت و عملکرد محصول در هر یک از تیمارها تعیین شد.

در مزرعه‌ای که به سیستم آبیاری بارانی مجهز بود با قرار دادن یکسری قوطی در ارتفاع ۹۰ سانتی‌متری و به فواصل ۲ متری، در جهات مختلف تک‌آبپاش (Single source) اقدام به اندازه‌گیری عمق آب آبیاری شد. آرایش قوطی‌ها در اطراف تک‌آبپاش در چهار جهت و به فواصل دو متر از هم منظور گردید با توجه به این‌که هر چه فاصله از آبپاش بیشتر می‌شد، عمق آب در قوطی‌ها کاهش می‌یافت (شکل ۱). تعداد نقاط (قوطی) از هر جهت ۷ نقطه بوده و میانگین آنها مبنای محاسبات قرار گرفت. پس از پایان هر نوبت آبیاری، کل حجم آب جمع شده در قوطی‌ها در ظروف مدرج ریخته شده و عمق آب رسیده به هر نقطه اندازه‌گیری و ثبت گردید. در پایان فصل نیز، محصول گندم از نقطه کناری قوطی‌ها در ابعاد یک متر مربع برداشت و عملکرد محصول تعیین شد. با توجه به یکنواختی پخش آب در چهار جهت، میانگین‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

برای تعیین شاخص بهره‌وری آب یعنی نسبت عملکرد محصول به آب از روابط زیر استفاده شد:

$$TWP = \frac{Yield}{TWU} \qquad (۱)$$

$$IWP = \frac{Yield}{IWU} \qquad (۲)$$

که در آن TWP: بهره‌وری کل آب کاربردی شامل آب آبیاری و بارش موثر (کیلوگرم بر متر مکعب)، IWP: بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر متر مکعب)، Yield: عملکرد محصول دانه گندم (کیلوگرم بر هکتار)، TWU: کل آب کاربردی شامل بارش و آب آبیاری (متر مکعب بر هکتار) و IWU: آب آبیاری (متر مکعب بر هکتار) است.

با توجه به داده‌های حاصل از روابط آب کاربردی – عملکرد و برازش آنها، تابع تولید حاصل از آن‌ها شامل روابط بهره‌وری – آب کاربردی، عملکرد – کل آب کاربردی، عملکرد – آب آبیاری در نرم‌افزار Excle و Curve تعیین گردید و از ضریب R^2 و خطای استاندارد (Standard error = SE) برای اعتبارسنجی روابط استفاده شد. با مشتق‌گیری از تابع بهره‌وری کل آب مصرفی به آب مصرفی (آب آبیاری) و مساوی صفر قرار دادن آن، میزان آب مصرفی که به ازای آن حداکثر بهره‌وری قابل انتظار است، به دست آمد.

توسعه ریشه در ارتباط مستقیم با میزان آب قابل دسترس و موثر بر میزان عملکرد محصول است. برای مطالعه عمق توسعه ریشه، در محل قرارگیری قوطی‌ها که ارتفاع آب معلوم است، پس از برداشت محصول اقدام به

حفاری و تعیین بیشینه عمق نفوذ عمقی ریشه گردید. با مشخص شدن ارتفاع آب – عملکرد محصول – عمق توسعه ریشه در محل هر یک از قوطی‌ها، رابطه بین عمق توسعه ریشه با آب آبیاری به دست آمد.

اعمال کم‌آبیاری صرف‌نظر از روش آبیاری (بارانی یا سطحی)، سبب مقداری صرفه‌جویی در میزان مصرف آب می‌شود. از آنجایی که پیامد مستقیم اعمال کم‌آبیاری، اندکی افت عملکرد است، برای بهره‌بردار باید توجیه قابل قبولی داشته باشد تا افت عملکرد را بپذیرد. یکی از گزینه‌های مناسب در اینگونه مناطق، تخصیص آب صرفه‌جویی شده به آبیاری محدود اراضی دیم مجاور است که گزاره‌های مختلف تخصیص (آبیاری محدود پاییزه یا آبیاری محدود بهاره) مورد بررسی و بهترین حالت انتخاب شد. برای این کار، پس از تعیین حد مطلوب کم‌آبیاری، میزان عمق آب قابل صرفه‌جویی، تعیین شد و بسته به اینکه آب صرفه‌جویی شده به کدام گزاره (تک‌آبیاری پاییزه، تک‌آبیاری بهاره، ۵۰ درصد تک‌آبیاری پاییزه و ۵۰ درصد تک‌آبیاری بهاره، دو نوبت آبیاری) تخصیص یابد، میزان کل تولید و بهره‌وری آب در هر یک از گزاره‌ها تعیین و با شرایط آبیاری کامل مقایسه گردید.

نتایج و بحث

آنچه که در این پژوهش مدنظر قرار گرفته، نحوه کاربردی کردن مدیریت کم‌آبیاری و صرفه‌جویی در مصرف آب در زراعت گندم آبی ارقام پیشتاز و شیراز تحت شرایط سامانه آبیاری بارانی و سطحی و بررسی امکان تخصیص آب صرفه‌جویی شده به آبیاری تکمیلی محدود گندم دیم است. در واقع پیوند و توازنی بین کم‌آبیاری زراعت آبی با آبیاری محدود اراضی دیم حاشیه اراضی آبی برقرار شد.

شرایط آبیاری سطحی

نتایج حاصل از سه تیمار مورد مطالعه در آبیاری سطحی نشان داد که قطع اولین آبیاری بهاره (تیمار ۷۸ درصد آبیاری کامل) با ۲۲ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب، ضمن اینکه منجر به هیچ‌گونه کاهش عملکردی نمی‌شود، بلکه سبب افزایش ۳/۳ درصدی عملکرد نیز می‌شود (شکل ۲). علت این مسئله را بایستی در عدم ضرورت انجام آبیاری، ایجاد مشکل در تهویه خاک و به تبع آن ایجاد نقصان در فرآیند فتوسنتزی و رشد گیاه، مرتبط دانست. اما تیمار قطع دو نوبت آبیاری (تیمار ۵۶ درصد آبیاری کامل) سبب ۲۴/۶ درصد افت عملکرد گردید (شکل ۲) که اگر بخواهد در شرایط مدیریتی زارع و توسط آنها اجرا گردد با کاهش عملکرد بیشتر از این نیز مواجه خواهد شد، لذا قطع دو نوبت آب آبیاری بهاره توصیه نمی‌شود.

از نظر شاخص بهره‌وری کل آب مصرفی نیز، تیمار ۵۶ درصد آبیاری کامل با ۰/۶۶ کیلوگرم بر متر مکعب نشان دهنده کاهش ۲۸ درصدی این شاخص است در حالی که در تیمار قطع یک نوبت آبیاری، بهره‌وری کل آب مصرفی از ۰/۷۶ کیلوگرم بر متر مکعب (آبیاری کامل) به ۰/۸۴ کیلوگرم بر متر مکعب می‌رسد که حدود ۱۰/۵ درصد افزایش را نشان می‌دهد. البته قطع دو نوبت آبیاری سبب کاهش ۱۳/۲ درصدی شاخص بهره‌وری کل آب کاربردی نیز می‌شود. در حوزه‌ی آسیای غربی و آفریقای شمالی، متوسط کارایی مصرف آب ناشی از بارش (بهره‌وری بارش) در تولید گندم دیم در حدود ۰/۳۴ کیلوگرم بر متر مکعب (۳/۴ کیلوگرم بر میلی‌متر) است و بهره‌وری کل آب کاربردی (مجموع بارش و آبیاری) برای آبیاری‌کامل گندم ۰/۷۵کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد، با کاربرد کم‌آبیاری، متوسط بهره‌وری آب آبیاری به حدود ۲/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب (۲۲/۱ کیلوگرم بر میلی‌متر) افزایش یافت (اویس، ۱۹۹۷؛ اویس و همکاران، ۱۹۹۹).

کل آب مصرفی تیمار آبیاری کامل مشتمل بر آب آبیاری و کل بارش سال زراعی، برابر ۷۹۸۰ متر مکعب بود که در تیمارهای ۷۸ درصد و ۵۶ درصد آبیاری کامل، به ترتیب ۶/۳ و ۱۲/۵ درصد از آب آبیاری کاهش می‌یابد.

شرایط آبیاری بارانی

در شرایط آبیاری بارانی روند تغییرات شاخص بهره‌وری کل - آب کاربردی، عملکرد – کل آب کاربردی، عملکرد – آب آبیاری و آب آبیاری – عمق توسعه ریشه در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

روابط بهره‌وری و عملکرد با آب کاربردی نشان می‌دهد که پس از یک روند افزایشی و رسیدن به یک حداکثر، با افزایش کاربرد آب هر دو دچار نزول شده و افت می‌کنند. نکته مهمی که در این دو شکل پیداست، این است که نقطه اوج این دو منحنی در یک عمق آب مصرفی اتفاق نمی‌افتد، بدین معنی که حداکثر بهره‌وری کل آب مصرفی در شرایط آبیاری کامل در حداکثر عملکرد اتفاق نمی‌افتد. در شرایط محدودیت دسترسی به آب، شاخص بهره‌وری آب بر شاخص عملکرد در واحد سطح ارجحیت داشته و مبنای انتخاب تیمار برتر محسوب می‌شود. کم‌آبیاری در واقع حد مطلوب و بهینه‌ای از کاهش آب آبیاری، افت عملکرد و عکس‌العمل گیاه محسوب می‌شود و بر اساس توابع و روابط حاکم، می‌توان روند تغییرات و حد بهینه را تعیین کرد.

توابع و روابط حاکم بر شکل‌های ۳ و ۴ به صورت زیر است:

$$TWP = -3.1382\times10^{-5} WU^2 + 0.045735\, WU - 15.503 \qquad R^2 = 0.85 \qquad SE = 0.053 \qquad (۳)$$

$$Yield = -0.000204\, WU^2 + 0.3076\, WU - 107.506 \qquad R^2 = 0.98 \qquad SE = 0.32 \qquad (۴)$$

$$Yield = -0.0002\, IWU^2 + 0.0683\, IWU + 0.21335 \qquad R^2 = 0.97 \qquad SE = 0.36 \qquad (۵)$$

$$RD = -31.552 IWU^2 - 0.97495 IWU + 0.003251 \qquad R^2 = 0.096 \qquad SE = 3.47 \qquad (۶)$$

که در آن Yield: عملکرد محصول گندم (تن در هکتار)، RD: عمق توسعه ریشه (سانتی‌متر)، WU: کل آب مصرفی شامل مجموع آب آبیاری و باران (میلی‌متر)، IWU: آب آبیاری (میلی‌متر) است.

بررسی تغییرات توسعه ریشه – آب کاربردی نشان می‌دهد که در شرایط آبیاری کامل، هنگامی که آب به میزان کافی در دسترس باشد، گیاه تمایلی به توسعه ریشه نشان نمی‌دهد و حداکثر عمق توسعه ریشه که مشاهده گردید، ۹۰ سانتی‌متر بوده است. با کاهش عمق آب کاربردی و افزایش شدت تنش رطوبتی به محصول، ملاحظه شد که ریشه‌های اصلی محصول برای دسترسی و جذب آب، به سمت اعماق توسعه پیدا کرده و تا ۱۰۵ سانتی‌متر مشاهده شد. افزایش ۱۰/۵ درصدی توسعه ریشه، عامل بسیار مهمی در تامین بخشی از کاهش آب کاربردی محسوب می‌شود. با استمرار کاهش آب کاربردی و شدت گرفتن تنش رطوبتی، محصول قادر به توسعه ریشه نبوده و در تنش‌های شدید، حداکثر توسعه ریشه به کم‌تر از ۷۵ سانتی‌متر می‌رسد و همین عامل سبب بروز افت قابل ملاحظه عملکرد دانه گندم می‌شود.

ریشه‌های گیاه برای تامین آب مورد نیاز برای استمرار رشد و در شرایطی که شرایط خاک امکان توسعه عمقی را بدهد و گیاه با محدودیت دسترسی به آب در لایه‌های سطحی مواجه شود، به طور ذاتی به سمت منبع رطوبتی حرکت می‌کند. هرچند که توسعه عمقی ریشه سوای توسعه حجمی ریشه می‌باشد اما ممکن است توسعه حجمی تحت تاثیر توسعه عمقی قرار بگیرد. افزایش عمقی ریشه سبب افزایش عمق مخزن تامین کننده رطوبت مورد نیاز گیاه یا در واقع سبب افزایش ضخامت لایه خاک تامین‌کننده رطوبت مورد نیاز گیاه می‌شود. لذا از آن جایی که گیاه و تعرق آن، فرایندهایی دینامیک و پویا هستند، نیاز به بررسی در طول زمان دارد. بنابراین مقدار آب قابل دسترس برای مصارف تعرق، فقط بر اساس بیلان روزانه مقادیر جریان‌های ورودی و خروجی تعیین نمی‌شود، بلکه اندازه حجم و گنجایش مخزن آب نیز بایستی مدنظر قرار گیرد (بومان، ۲۰۰۷). در این خصوص انتخاب و گزینش واریته‌هایی با ریشه‌های طویل (در مقابل محصولاتی با قابلیت توسعه سطحی و افشان ریشه) و یا برنامه‌ریزی برای افزایش طول ریشه‌های گیاه

(که یک روش اصلاح‌نژادی است) به منظور بهبود کارایی تعرق گیاه، می‌تواند مورد توجه باشد تا به گیاه اجازه دهد آب ذخیره شده در لایه‌های پایین‌تر (به ویژه بارش‌های زمستانه) را جذب کند (بلوم، ۱۹۹۸). این موضوع برای شرایط کم‌آبیاری و کاهش ریسک‌های مترتّب بر آن از جمله تقلیل اثر کم‌آبیاری بر نقصان عملکرد محصول بسیار اهمیت دارد.

حداکثر بهره‌وری آب و میزان آب مصرفی متناسب با آن، که با مشتق‌گیری از تابع بهره‌وری کل– آب مصرفی و مساوی صفر قرار دادن آن، به دست آمد، نشان داد که کل عمق آب کاربردی در شرایط بهینه برابر ۷۲۹ میلی‌متر است. پس از کسر سهم بارش (۵۷۳ میلی‌متر) نیاز آب آبیاری برابر با ۱۵۶ میلی‌متر یا ۱۵۶۰ متر مکعب در هکتار خواهد بود که میزان صرفه‌جویی آب آبیاری نسبت به آبیاری کامل برابر ۲۹/۴ درصد (حدود ۶۵ میلی‌متر) است. در این حالت با در دسترس بودن آبی معادل شرایط آبیاری کامل (۲۲۰/۵ میلی‌متر) می‌توان به جای آبیاری یک هکتار با آبیاری کامل، ۱/۴۲ هکتار زمین گندم را با مدیریت کم‌آبیاری آبیاری کرد. بدیهی است هر چند که کاهش عملکردی به میزان حدود ۵ درصد قابل انتظار است اما در مجموع، تولید بیشتری از آب قابل دسترس صورت می‌گیرد.

نتایج به دست آمده توسط محققین دیگر نیز مورد تایید قرار می‌گیرد. در تحقیقی چهار ساله در سوریه نشان داده شد که تیمار ۶۶ درصد آبیاری کامل بهترین وضعیت تولید را از نظر کارایی مصرف آب، ایجاد می‌کند (اویس و همکاران، ۱۹۹۸). هم‌چنین گزارش گردید که آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاهش عملکردی برابر ۲۰– ۱۰ درصد نسبت به آبیاری کامل داشت و آبیاری به میزان ۶۶ درصد آبیاری تکمیلی کامل از نظر تولید دانه و ماده خشک دارای بهره‌وری آب بیشتری نسبت به آبیاری کامل بوده است (اویس، ۱۹۹۷؛ اویس و همکاران، ۱۹۹۹).

گزاره آبیاری محدود در اراضی دیم مجاور با آب صرفه‌جویی شده

اعمال برنامه کم‌آبیاری مستمر و تنظیم شده (کاهش آب کاربردی از ابتدا تا انتهای فصل)، ضمن ایجاد سازگاری و تطابق محصول از طریق توسعه ریشه و افزایش حجم مخزن رطوبتی، امکان برنامه‌ریزی برای آب صرفه‌جویی شده را نیز فراهم می‌کند. میزان آب صرفه‌جویی شده در این تحقیق برابر ۲۹/۴ درصد آبیاری کامل (۲۲۰/۵ میلی‌متر) است که معادل تقریباً ۶۵ میلی‌متر است.

در شهرستان سلسله عملکرد گندم دیم در تیمارهای دیم، تک‌آبیاری پاییزه، تک‌آبیاری بهاره و دو آبیاری (پاییزه + بهاره) و تحت شرایط مدیریت برتر زراعی به ترتیب ۲۲۸۹، ۳۴۳۹، ۳۴۱۳ و ۴۲۰۳ کیلوگرم در هکتار گزارش گردیده است (توکلی و همکاران، ۱۳۸۹؛ توکلی و همکاران، ۲۰۱۰) و عملکرد گندم دیم تحت شرایط مدیریت سنتی نیز برابر ۱۷۲۶ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. با توجه به مقدار بارش سال زراعی (۵۷۳ میلی‌متر) و کل آب قابل دسترس آبیاری کامل (۲۲۰/۵ میلی‌متر) در سطح قابل مقایسه (جمعاً ۲/۳ هکتار)، میزان تولید و بهره‌وری کل آب مصرفی برای گزاره‌های مختلف به دست می‌آید که در جدول ۳ خلاصه شده است. از آنجایی که عمق آب آبیاری کامل برابر ۲۲۰/۵ میلی‌متر و عمق آب کاربردی در شرایط کم‌آبیاری ۱۵۶ میلی‌متر است میزان آب صرفه‌جویی شده برابر ۶۵ میلی‌متر خواهد بود که با تک‌آبیاری پاییزه (به میزان ۷۵ میلی‌متر) امکان آبیاری ۰/۸۷ هکتار و با تک‌آبیاری بهاره (به میزان ۵۰ میلی‌متر) امکان آبیاری ۱/۳ هکتار وجود دارد. لذا حداکثر سطح مقایسه (۲/۳ هکتار) از مجموع سطح ممکن برای تک‌آبیاری بهاره (۱/۳ هکتار) و سطح تحت شرایط کم‌آبیاری (۱ هکتار) حاصل می‌شود و بقیه گزاره‌ها با همین سطح مورد ارزیابی قرار می‌گیرند تا مقایسه‌ها در سطح یکسان صورت گرفته باشد.

از جدول ۳ چنین استنباط می‌شود که تمام گزاره‌ها نسبت به شرایط موجود یعنی "آبیاری کامل گندم آبی و وجود اراضی دیم در مجاورت آن"، برتری دارند و لذا

ضرورت دارد موضوع صرفه‌جویی آب با کم‌آبیاری و تخصیص آن به آبیاری محدود در زراعت دیم مورد توجه قرار گیرد. با توجه به اینکه عمق آب مورد نیاز برای تک‌آبیاری بهاره، کم‌تر است لذا سطح بیشتری را می‌تواند تحت آبیاری قرار دهد. این سطح برابر ۱/۳ هکتار است که با یک هکتار تحت شرایط کم‌آبیاری، در مجموع ۲/۳ هکتار مبنای مقایسه قرار می‌گیرد. تامین آب برای آبیاری محدود در زراعت دیم، مهم‌ترین محدودیت در این بخش است که یکی از راهکارها برای این موضوع، صرفه‌جویی آب در زراعت آبی با کم‌آبیاری و تخصیص آن به زراعت دیم است (رمضانی‌اعتدالی و همکاران، ۱۳۹۱) که این موضوع در شرایط استفاده از چاه به عنوان منبع آب، کارآمدتر است. از آنجایی که بهره‌وری بارش در شرایط دیم و تحت مدیریت سنتی ۰/۴۳ – ۰/۱۷ کیلوگرم بر متر مکعب است که بسته به شرایط مزرعه‌ای و مدیریت زارع تغییر می‌کند. در شرایطی که امکان انجام آبیاری محدود وجود ندارد، اصلاح مدیریت زراعی، خود منجر به بهبود شاخص بهره‌وری بارش می‌گردد.

گزاره‌های ۳ و ۴ نسبت به دیگر گزاره‌ها برتری دارند (جدول ۳)، اما از آنجایی که دوره زمانی انجام تک‌آبیاری در زمان کاشت و بهار، محدود است، به نظر می‌رسد که گزاره ۴ هر چند که اندکی اثربخشی‌اش نسبت به گزاره ۳ کم‌تر است، مطلوب‌تر باشد چرا که فرصت انجام آبیاری در پاییز و بهار تقسیم می‌شود. ضمن اینکه در مناطق سرد و نیمه سرد، آبیاری پاییزه، با جلو انداختن دوره رشد محصول و استقرار گیاه، از صدمات احتمالی سرما نیز جلوگیری می‌کند. دو نوبت آبیاری در مقایسه با یک نوبت آبیاری بدلیل کاهش کارآئی آب کاربردی، قابل پذیرش نیست (توکلی و همکاران، ۲۰۱۰) و این حاکی از کفایت یک نوبت آبیاری محدود در زراعت دیم است.

نتیجه‌گیری

در شرایط آبیاری سطحی نیز قطع اولین آبیاری بهاره (تیمار ۷۸ درصد آبیاری کامل) با ۲۲ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری، ضمن اینکه افت عملکردی ندارد بلکه سبب افزایش ۳/۳ درصدی عملکرد نیز می‌شود. اما در شرایط آبیاری بارانی، کاهش مستمر ۲۹/۴ درصد آب مصرفی در طول دوره آبیاری و از طریق کاهش عمق آب آبیاری در هر نوبت، حداکثر بهره‌وری کل آب مصرفی را بدنبال دارد. توسعه عمقی ریشه در تیمار کم‌آبیاری، از طریق افزایش ضخامت لایه خاک تامین‌کننده رطوبت مورد نیاز، سبب می‌شود که افت عملکرد در مقایسه با آبیاری کامل جبران شود. آب صرفه‌جویی شده با کم‌آبیاری، می‌تواند برای تک‌آبیاری زمان کاشت یا تک‌آبیاری بهاره گندم دیم اختصاص یابد تا بهره‌وری کل آب کاربردی افزایش یابد.

سپاس‌گزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی شماره ۸۶۰۰۱-۰۰۰۰-۰۰-۳۰۵۳۰۰-۱۰۰-۴ است که در قالب پروژه بین‌المللی "Improving On-farm Agricultural Water Productivity in the Karkheh River Basin" با شماره CPWF-No8 به عنوان بخشی از برنامه آب و غذا (CPWF) با مشارکت سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، گروه مشورتی در تحقیقات بین‌المللی کشاورزی (CGIAR)، مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ICARDA)، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (DARI) و موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (AERI) به اجرا درآمده که بدین وسیله از حمایت‌های به عمل آمده تقدیر و سپاسگزاری می‌شود.

جدول ۱- اطلاعات مزرعه‌ای، مدیریت کشت در مزارع منتخب شهرستان سلسله، ۸۶-۱۳۸۵

نام زارع	نام روستا	روش آبیاری	واریته گندم	میزان بذر (کیلوگرم در هکتار)	زمان کاشت	علف‌کش	تناوب
کولیوند	کهریز	بارانی	پیشتاز	۲۰۰	اواخر مهر	کاربوکسین تیرام	لوبیا
یوسفوند	دهرحم	سطحی	شیراز	۲۲۰			

ادامه جدول ۱

تهیه زمین	ماشین کاشت	تاریخ برداشت	کنترل علف هرز	مدیریت کم‌آبیاری	منبع آب
شخم - دیسک	ردیف‌کار دست‌پاشی، دیسک	اوایل مرداد	توفوردی	کاهش عمق آب مصرفی قطع یک یا دو آب آبیاری بهاره	آب زیرزمینی (چاه) نهر سنتی

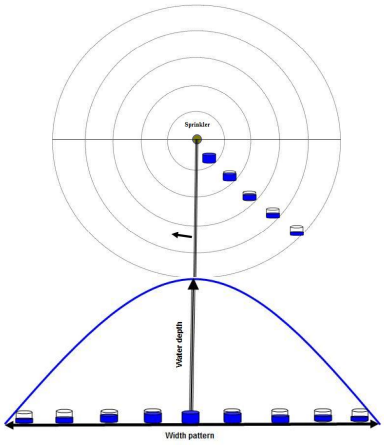
جدول ۲- خلاصه برخی ویژگی‌های نمونه‌های خاک در آزمایش‌های مزرعه‌ای

نام مکان	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	مواد آلی (درصد)	آنیون‌ها (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)				کاتیون‌ها (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)		
				HCO_3^-	CL^-	SO_4^{-2}	مجموع	$Ca^{+2}+Mg^{+2}$	Na^+	مجموع
-	-	-	-							
کهریز	۸	۰/۳	۰/۵	۲/۴	۲	۱/۷	۶/۱	۳/۶	۳	۶/۶
دهرحم	۷/۸	۰/۷	۰/۹	۳/۸	۳/۶	۲/۱	۹/۶	۵/۲	۴/۴	۹/۶

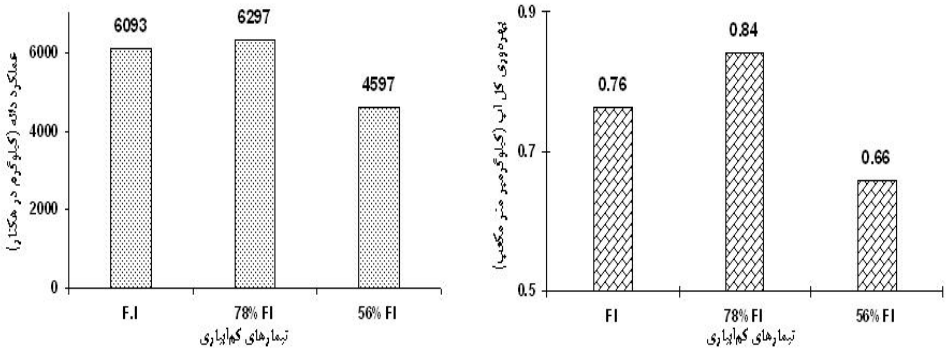
جدول ۳- گزاره‌های مختلف صرفه‌جویی آب با کم‌آبیاری و تخصیص به آبیاری محدود

شماره گزاره	انجام کم‌آبیاری و تخصیص آب صرفه‌جویی شده به آبیاری محدود اراضی دیم مجاور	کل تولید (کیلوگرم)	بهره‌وری کل (کیلوگرم بر میلی‌متر)
۱	۱ هکتار آبیاری کامل + ۱/۳ هکتار دیم (شرایط موجود)	۱۱۳۹۶	۷/۴۱
۲	۱ هکتار کم‌آبیاری + ۰/۸۷ هکتار تک‌آبیاری پاییزه + ۰/۴۳ دیم	۱۲۰۰۶	۷/۸۰
۳	۱ هکتار کم‌آبیاری + ۱/۳ هکتار تک‌آبیاری بهاره	۱۲۴۶۷	۸/۱۰
۴	۱ هکتار کم‌آبیاری + ۰/۴۳ هکتار تک‌آبیاری پاییزه + ۰/۶۵ هکتار آبیاری بهاره + ۰/۲۲ هکتار دیم*	۱۲۲۳۱	۷/۹۵
۵	۱ هکتار کم‌آبیاری + ۰/۵۲ هکتار دو آبیاری پاییزه و بهاره+ ۰/۷۸ هکتار دیم	۱۲۰۰۱	۷/۸۰

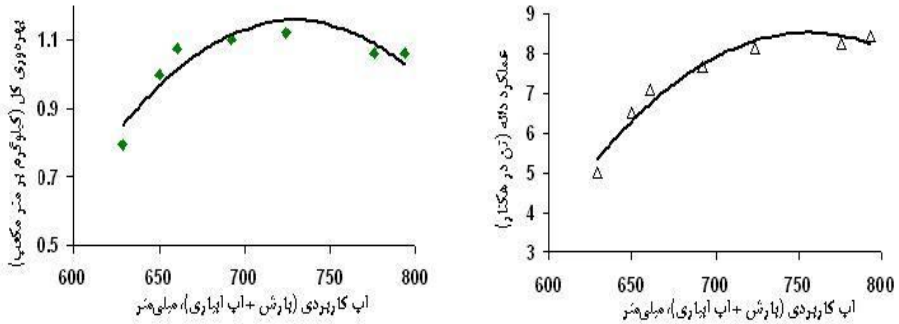
* ۵۰ درصد آب صرفه‌جویی شده صرف تک‌آبیاری پاییزه و ۵۰ درصد صرف تک‌آبیاری بهاره



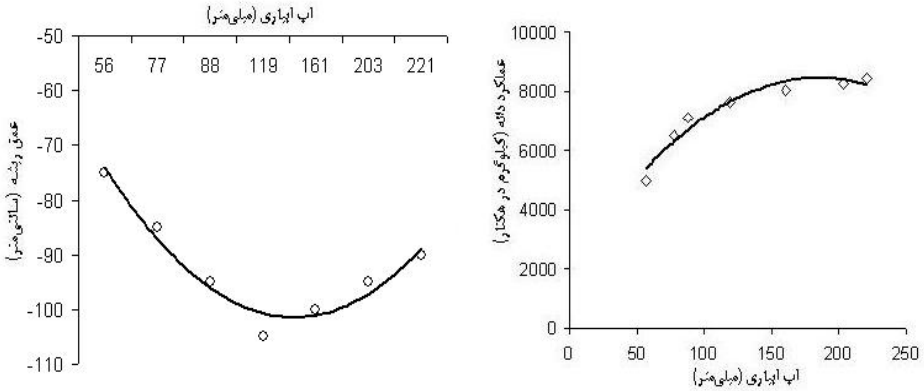
شکل ۱- آرایش قوطی‌ها اطراف تک آبپاش



شکل ۲- رابطه بین اندازه‌های کم‌آبیاری با عملکرد دانه گندم (رقم شیراز) و بهره‌وری آب



شکل ۳- رابطه بین کل آب کاربردی با عملکرد دانه گندم (رقم پیشتاز) و بهره‌وری کل آب کاربردی



شکل ۴- رابطه بین آب آبیاری با عملکرد دانه گندم (رقم پیشتاز) و عمق توسعه ریشه

فهرست منابع

۱. توکلی ع.ر. ۱۳۸۵. مدیریت کم‌آبیاری و بهینه‌سازی مصرف نیتروژن در تولید گندم الموت. دانش کشاورزی ۲(۶۲): ۱۲۸-۱۱۵.

۲. توکلی ع.ر. لیاقت ع. علیزاده ا. اشرفی ش. عویس ذ. و پارسی‌نژاد م. ۱۳۸۹. بهبود بهره‌وری بارش در تولید گندم دیم با اعمال گزاره‌های بهبود در سطح مزارع زارعین در منطقه سردسیر بالادست حوضه کرخه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۲(۴): ۳۰۷-۲۹۷.

۳. خیرابی ج. توکلی ع.ر. انتصاری م.ر. و سلامت ع.ر. ۱۳۷۵. دستورالعمل‌های کم‌آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۱۸ص.

۴. رمضانی‌اعتدالی ه. لیاقت ع. پارسی‌نژاد م. توکلی ع.ر.، و بزرگ‌حداد ا. ۱۳۹۱. توسعه مدل تخصیص بهینه آب در اراضی آبی و دیم جهت افزایش بهره‌وری اقتصادی. رساله دکتری رشته مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، ۱۷۵صفحه.

۵. سپاسخواه ع.ر. توکلی ع.ر. و موسوی ف. ۱۳۸۵. اصول و مبانی کم‌آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۸۸ص.

۶. قهرمان ب. و سپاسخواه ع.ر. ۱۳۷۵. حداکثر عملکرد نسبی محصولات زراعی: چشم‌اندازی جدید در کم‌آبیاری. آب و توسعه ۱۴: ۲۵-۳۳.

۷. کافی م. گنجعلی ع. نظامی ا. و شریعتمداری ف. ۱۳۷۹. آب و هوا و عملکرد گیاهان زراعی. جهاد دانشگاهی مشهد. ۳۱ ص.

8.Aggrawal P.K. Singh A.K. Chaurvedi G.S. and Sinha S.K. 1986. Performance of wheat and critical cultivars in a variable soil – water environment. *Field Crops Research*, 13: 301-315.

9. Blum A. 1988. Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 233 pp.

10. Bouman B.A.M. 2007. A conceptual framework for the improvement of crop water productivity at different spatial scales. *Agricultural Systems*, 93: 43–60

11. Bouman B.A.M. and Tuong T.P. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agricultural Water Management*, 49(1): 11-30.

12. Cooper J.L. 1980. The effects of nitrogen fertilizer and irrigation frequency on semi-dwarf wheat in southeast Australia. 1. Growth and yield. Australian *Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 20(104): 359-369.

13. Doorenbos J. and Kassam A.H. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper No.33, FAO, Rome, Italy.

14. Ehlig C.F. and LeMert R.D. 1976. Water use and productivity of wheat under five irrigation treatments and canopy temperature of wheat as affected by drought. *Agronomy Journal*, 70: 999-1004.

15. English M.J. 1990. Deficit irrigation: Analytic framework. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE 116(3): 399-412.

16. English M.J. Musick J.T. and Murty V.N. 1990. Deficit irrigation. PP. 631-663. In: Hoffman G.J. Howell T.A. and Solomon K.H. (Eds.), Management of Farm Irrigation Systems, ASAE, St. Joseph, Michigan.

17. Fischer R.A. 1970. The effects of water stress at various stages of development on yield processes in wheat. Proc. Symp. Plant Response to Climatic Factors, Uppsala, Sweden, 15-20 Sept.

18. Hargreaves G.H. and Samani Z.A. 1984. Economic consideration of deficit irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, ASCE 110(4): 343-358.

19. Lal R.B. 1985. Irrigation requirement of dwarf durum and aestivum wheat varieties. *Indian Journal of Agronomy,* 30: 207-213.
20. Oweis T. 1997. Supplemental irrigation: a highly efficient water use practice. ICARDA, Aleppo, Syria, 16pp.
21. Oweis T. Hachum A. and Kijne J. 1999. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water use efficiency in dry areas. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, SWIM paper 7. 38pp.
22. Oweis T. Pala M. and Ryan J. 1998. Stabilizing rain-fed wheat yields with supplemental irrigation and nitrogen in a Mediterranean-type climate. *Agronomy Journal*, 90:672-681.
23. Rao Y.G. and Bhardwaj R.B.L. 1981. Consumptive use of water, growth and yield of aestivum and durum wheat varieties at varying levels of nitrogen under limited and adequate irrigation situations. *Indian Journal of Agronomy* 26: 243-250.
24. Shimshi D. and Kafkafi U. 1978. The effects of supplemental irrigation and nitrogen fertilization on wheat (*Triticum aestivum L.*). *Irrigation Science*, 1: 27-38.
25. Singh N.P. and Dastane N.G. 1971. Effects of moisture regimes and nitrogen levels on growth and yield of dwarf wheat varieties. *Indian Journal of Agricultural Science*, 41: 952-958.
26. Stewart G.I. Cuenca R.H. Pruitt W.O. Hagan R.M. and Tosso J. 1977. Determination and utilization of water production functions for principal California crops. W-67 Calif. Contrib. Proj. Rep., Univ. of California, Davis.
27. Tavakoli, A.R., Oweis, T., Ashrafi, Sh., Asadi, H., Siadat, H., and Liaghat, A.2010.Improving rainwater productivity with supplemental irrigation in upper Karkheh river basin of Iran. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria, 123pp.