نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 6، شماره 4، زمستان 1393، ص. 869-858

Journal of Agroecology
Vol. 6, No. 4, Winter 2015, p. 858-869

اثرات کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای (*Zea mayz* L.) و تعیین بهره‌وری آب در شبکه آبیاری نکوآباد اصفهان

حمیدرضا سالمی[1]، علیرضا توکلی[2*] و نادر حیدری[3]

تاریخ دریافت: 1392/09/14
تاریخ پذیرش: 1393/05/04

چکیده

به منظور مشخص کردن اثر کم‌آبیاری بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای (*Zea mayz* L.) تعیین بهره‌وری آب، تحقیقی به مدت سه سال زراعی با چهار تیمار آبیاری: شاهد، آبیاری کامل، 80 درصد آبیاری کامل و 60 درصد آبیاری کامل و دو رقم ذرت علوفه‌ای، به صورت کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات شهید فزوه در شبکه آبیاری نکوآباد اصفهان اجرا شد. قبل از شروع کاشت، نسبت به نمونه‌گیری آب، خاک و انجام آزمون‌های مورد نیاز اقدام شد. نتایج نشان داد از نظر عملکرد دانه، عمق دانه و تعداد دانه در ستون بین تیمارهای آبیاری، تفاوت معنی‌دار ($p \leq 0/05$) وجود دارد. اما اثر رقم بر عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در هر ستون و عمق دانه معنی‌دار نشد. یافته‌ها نشان داد با در نظر گرفتن بررسی‌های آماری و اهمیت بهنیه‌سازی آب مصرفی با کم‌آبیاری و بر اساس مقادیر بهره‌وری آب، تیمار 60 درصد آبیاری کامل بر سایر تیمارها برتری دارد و در سال‌های با محدودیت جدی دسترسی به آب، به عنوان یک روش مدیریتی کارآمد در آبیاری مزارع ذرت توصیه می‌شود، تحت این تیمار با کاهش 36 درصدی آب کاربردی نسبت به آبیاری کامل، فقط 11/4 درصد عملکرد کاهش یافته است. اما در شرایط معمولی و فقدان محدودیت جدی آب، با توجه به ویژگی‌های کمی محصول ذرت، کسر آبیاری 20٪ (80 درصد از تبخیر و تعرق محصول) مناسب‌ترین گزینه در این مورد است و افت عملکرد نسبت به آبیاری کامل فقط دو درصد است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، تبخیر و تعرق، جویچه‌ای، خشکسالی

مقدمه

افزایش سریع جمعیت کره زمین، کافی نبودن مواد غذایی و محدودیت‌های موجود در توسعه سطح زیرکشت بسیاری از محصولات زراعی، در تعداد زیادی از کشورهای دنیا سبب گردیده تا محققان و دست‌اندرکاران تولید گیاهان زراعی به فکر پیدا کردن راه حل‌های مناسب و جایگزین برای افزایش بهره‌وری آب[4] با توجه به ماده خشک[5] تولید شده به ازای واحد آب مصرفی باشند تا بتوانند به این وسیله کمبودهای غذایی را جبران کنند. تغییر ذائقه مردم از غلات به مواد گوشتی نیز مصرف آب را به چند برابر افزایش می‌دهد. گرچه کمبود آب زمانی یک مسئله محلی یا منطقه‌ای به حساب می‌آمد اما امروزه یک مسئله جهانی است.

ذرت (*Zea mayz* L.) از جمله گیاهانی است که خصوصاً پس از پیدایش ارقام دورگه (هیبرید) با عملکرد بالا و کیفیت مطلوب، مورد توجه قرار گرفت. بسیاری از مؤسسات تحقیقاتی در سراسر دنیا روی این محصول با ارزش سرمایه‌گذاری و فعالیت مؤثری انجام دادند که به موفقیت‌های چمشگیری نیز دست یافته‌اند (Sprague & Duley, 1992). ذرت یکی از محصولات استراتژیک در ایران است و متوسط

1، 2 و 3- به ترتیب استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی و استادیار پژوهش بخش آبیاری و زهکشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج
(*- نویسنده مسئول: Email: art.tavakoli@gmail.com)

4- Water productivity

5- Dry matter

عملکرد آن درکشور 8/57 تن در هکتار است؛ این در حالی است که این عدد حدود 8 تن در هکتار در منطقه مورد مطالعه گزارش شده است. بر اساس آمار سال 1388 از 180 هزار هکتار اراضی زیر کشت این محصول استراتژیک، با عملکرد متوسط 6/2 تن در هکتار، مجموعاً حدود 1/1 میلیون تن ذرت در کشور تولید شده است (Anonymous, 2007). سطح زیرکشت 5800 هکتاری ذرت در اصفهان و کاربرد ذرت دانه‌ای در تولید روغن مایع خوراکی و دان مرغی، اهمیت این تحقیق را معلوم می‌سازد که در در شبکه آبیاری نکوآباد اجرا شد.

علی و تالکدر (Ali & Talukder, 2008) در مقاله خود راه-های مقابله با چالش‌های آینده در خصوص تولید غذا و فیبر بیشتر با آب محدود را بررسی نموده‌اند. آن‌ها معتقدند روش‌های تک منظوره[1] قادر به حل و یا حتی کاهش مشکلات مبتلا به بخش کشاورزی در مناطق خشک با آب محدود نیستند. این مطالعه راه حل ترکیبی شامل اقدامات بیولوژیکی و مهندسی (نوسازی سیستم آبیاری، کم‌آبیاری و یکپارچه سازی اراضی کشاورزی) همراه با عملیات به‌زراعی، خاکورزی و اصلاح ژنتیکی را پیشنهاد می‌دهد. اثر آبیاری، حفظ رطوبت مؤثر خاک و کوددهی تکمیلی بر بازده مصرف آب واریته‌های جدید مقاوم به خشکی بسیار اهمیت پیدا کرده است. پتانسیل قابل توجه‌ای برای بهبود وضعیت بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی وجود دارد و با توجه به مفاهیم کارکردی بهره‌وری اقتصادی منجمله اقتصاد آب، در شرایط امروز جهان، قیود مالی و اقتصادی از عوامل محدودکننده بهره‌وری آب به شمار می‌آیند و نه مسائل تکنولوژیک (Deng et al., 2006).

به کارگیری استراتژی کم‌آبیاری بر حداکثرسازی بهره‌وری رجحان دارد، به عنوان مثال نروود (Norwood, 2000) به کارگیری کم‌آبیاری همراه با مدیریت کوددهی و انتخاب تراکم بوته مناسب در مناطق کم آب ذرت کاری کانزاس را به عنوان یک جایگزین مناسب در شرایط کاهش کمی و کیفی منابع آب‌های زیرزمینی پیشنهاد نمود.

در تحقیقات سه ساله‌ی کاکر (Cakir, 2004) در ترکیه تأثیر تنش آبی (16 تیمار آبیاری) در مراحل چهار گانه رشد روی عملکرد دانه، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، و وزن هزار دانه ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد که تأثیر حذف آبیاری در مراحل کاکل دهی و تشکیل چوب ذرت، روی عملکرد و پارامترهای رویشی معنی‌دار و باعث کاهش ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ می‌شود و کمبود آب در دوره‌های کوتاه مدت در زمان رشد سبزینه‌ای 28 تا 32 درصد وزن مادهٔ خشک را کاهش می‌دهد. بیشترین عملکرد دانه در آبیاری کامل (شاهد) به دست آمد. حتی حذف یک آبیاری در مراحل حساس رشد منجر به 40 درصد کاهش عملکرد شد. اوکتم (Oktem, 2008) نشان داد که روابط بین عملکرد بلال تازه و سطوح آبیاری معنی‌دار بوده و عملکرد با افزایش سطح کم‌آبیاری[2] کاهش می‌یابد. با این حال، این مطالعه نشان داد که عملکرد بلال قابل عرضه در بازار در سطح استرس آبی 10 درصد هنوز هم بالا و قابل قبول برای تولید ذرت شیرین در جنوب شرقی ترکیه است.

چن و همکاران (Chen et al., 2009) نشان دادند که افزایش میزان آبیاری منجر به اخذ محصول بیشتر است، اما مقدار آب مورد نیاز برای به دست آوردن حداکثر بهره‌وری آب[3] بسیار کمتر از میزان آب مورد نیاز برای حصول حداکثر عملکرد دانه می‌باشد. پایرو و همکاران (Payero et al., 2008) گزارش دادند که مقادیر مختلف آب فصلی در تیمارهای عمق آبیاری به میزان قابل توجهی تولید ماده خشک و اجزای عملکرد ذرت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ضمناً آن‌ها دریافتند که بهره‌وری آب حساسیت بالایی به مقدار آب آبیاری داشته و با افزایش حجم آب مصرفی، این مشخصه مهم مدیریتی کاهش می‌یابد.

گرت و راس (Geerts & Raes, 2009) که پژوهش‌های بسیاری در مورد کم‌آبیاری از سراسر جهان را بررسی کردند، تأیید نمودند که نقش مدیریت کم‌آبیاری در افزایش بهره‌وری آب برای محصولات مختلف بدون ایجاد کاهش عملکرد شدید، موفقیت‌آمیز بوده است. آن‌ها پیشنهاد دادند در مناطقی از جهان که آب در دسترس برای تولید محصولات کشاورزی محدود می‌باشد، کشاورزان باید با هدف حداکثر سازی عملکرد محصول، نوع محصول و استراتژی‌های آبیاری را انتخاب کنند.

نتایج آزمایش انجم‌اقبال و همکاران (Anjum Iqbal et al., 2010) نشان داد که در پاکستان عمدتاً در طول فصل رشد خنک‌تر، می‌توان از شیوه‌های صرفه‌جویی آبیاری بدون کاهش عملکرد استفاده کرد. در این زمان گیاه به طور کارآمدی می‌تواند با افزایش بهره‌وری آب قابل وصول جبران جذب پایین آب کل را بنماید. در این تحقیق

1- Single approach

2- Deficit irrigation
3- Water productivity

بهره‌وری آب برای طیف وسیعی از کم‌آبیاری اعمال شده بر روی ذرت تابستانه افزایش یافت، در حالی‌که این مشخصه برای ذرت بهاره، درکلیه تیمارهای کم‌آبیاری کاهش نشان داد. با توجه به بهره‌وری بالاتر در کشت تابستانه ذرت، پتانسیل کاهش آبیاری (129 میلی‌متر) بدون تلفات تولیدی در ذرت تابستانه در مقایسه با ذرت بهاره (57 میلی‌متر) بسیار بالاتر بود.

تأثیر تغییرات آب و هوایی در پاکستان با اعمال سناریوهای مدیریت آبیاری بر روی گیاه ذرت تابستانه و پاییزه و با استفاده از مدل شبیه‌سازی سرز[1] مورد بررسی قرار گرفت (Anjum Iqbal et al., 2011). در این مطالعه سناریوی قطع آبیاری در مراحل ابتدایی رشد و پرشدن دانه به دلیل پایین بودن میزان آب زهکشی و نرخ آبشویی، بالاترین عملکرد دانه را نسبت به سناریوی آبیاری کامل ایجاد کرد. در این سناریو 60 میلی‌متر آب نسبت به آبیاری سنتی ذخیره شد. نتایج شبیه سازی به روشنی روند کاهش عملکرد ذرت پاییزه را به دلیل کوتاه بودن دوره رشد نشان داد. همچنین آن‌ها گزارش کردند در شرایط آب و هوای فعلی و همچنین در سناریوهای آب و هوایی آتی، با بالاترین روند گرم شدن، میزان عملکرد ذرت را می‌توان با بهینه‌سازی مدیریت آبیاری (کاهش عمق آب کاربردی) نسبت به آبیاری مرسوم به علت کاهش نیترات قابل شستشو بهبود بخشید.

حسن‌لی و همکاران (Hassanli et al., 2009) در مرودشت فارس روش‌های آبیاری تحت فشار شامل قطره‌ای سطحی و زیرسطحی را به عنوان استراتژی‌های بهبود مدیریت آب و کم‌آبیاری پیشنهاد کردند. حداکثر صرفه‌جویی در مصرف آب و همچنین بالاترین عملکرد ذرت (12/2 تن در هکتار) در روش قطره‌ای زیر سطحی با 94 درصد صرفه‌جویی آب در مقایسه با روش آبیاری شیاری به دست آمد. در این تحقیق حداکثر کارآیی مصرف آب با 2/12 کیلوگرم بر مترمکعب در روش قطره‌ای زیرسطحی و حداقل آن در روش آبیاری شیاری با 1/43 کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد.

زوارت و همکاران (Zwart et al., 2005) تغییرات بهره‌وری آب را به سه عامل نسبت داده اند: آب و هوا، مدیریت آب و آبیاری و مدیریت خاک. آن‌ها کاهش عمق آب آبیاری به منظور ارتقاء بهره‌وری آب را برجسته‌ترین راه چاره برای مرتفع نمودن کمبود آب زراعی در مناطق خشک تشخیص دادند. این محققین بر اساس یک بررسی جامع از 84 تحقیق انجام شده، گزارش دادند بهره‌وری آب محصول ذرت دارای طیف وسیعی است (1/1-2/7 کیلوگرم بر متر مکعب)، لذا به کارگیری شیوه‌های جدید مدیریت آب برای افزایش تولید محصول با استفاده از 20-40٪ منابع آب کمتر را توصیه نموده‌اند. آن‌ها نتیجه گرفتند که به منظور دستیابی به یک بهره‌وری آب بهینه در مناطق خشک، آبیاری محصولات ذرت و گندم با آب کمتر می‌تواند روشی منطقی به حساب آید.

در شرایط کمبود آب دستیابی به حداکثر محصول لزوماً ما را به حداکثر سود خالص نخواهد رساند. استفاده از تکنولوژی کم‌آبیاری و روش‌های اجرایی آن در سیستم‌های آبیاری مرسوم کشور می‌تواند به مدیریت مزرعه در افزایش بهره‌وری آب و تعیین الگوی بهینه کشت در شبکه‌های آبیاری کمک کند. اگرچه کاربرد این فناوری کاری سهل و آسان نیست، اما به عنوان یک راهبرد سودمند اقتصادی در وضعیت بحران آب و یا هدف حداکثر سازی استفاده از واحد آب مصرفی مطرح است.

اگر چه درک صحیحی از بهره‌وری آب برای توسعه استراتژی‌های بهبود مدیریت آب در سطح شبکه‌های آبیاری در منطقه مورد مطالعه وجود دارد، ولی در مورد کاربرد این روش‌ها در سطح مزرعه مطالعات محدودی انجام شده است. آسیب‌پذیری کشاورزان در مناطق پایین دست حوضه آبریز زاینده رود (شبکه آبیاری رودشتین) به رغم در اختیار داشتن مزارع بزرگ‌تر، نشانگر ضرورت بهبود برنامه‌های مدیریت آب در شبکه‌های آبیاری بالا دست (منطقه مورد مطالعه) به منظور ارتقاء سطح عدالت و حفظ حقوق آب‌بران و بهره‌برداران پایین‌دست است. علاوه بر این، با مدیریت مؤثر کم‌آبیاری در منطقه مورد مطالعه، اعتقاد بر این است که می‌توان به بهبود معیشت کشاورزان کمک نمود. مقادیر مختلف آبیاری تأثیرات متفاوتی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت داشته و با توجه به بحران آب درکشور به ویژه در مناطق خشک، کاهش میزان مصرف آب آبیاری در این محصول مهم، ضروری به نظر می‌رسد.

هدف این تحقیق تعیین اثر کمبود آب (به عنوان سطوح مختلف آبیاری) بر عملکرد ذرت و اجزای عملکرد و اتخاذ یک استراتژی مدیریت آب مناسب برای ذرت در سطح شبکه به منظور دستیابی به بهره‌وری آب بیشتر در شرایط محدودیت آب برای مناطق کم باران بوده است.

1 Crop model CERES Maize

مواد و روش‌ها

شبکه آبیاری نکوآباد که شامل دو رشته کانال آبرسان اصلی می‌باشد، منطقه‌ای به وسعت تقریبی 60 هزار هکتار از ارضی دشت مرکزی اصفهان را در بر می‌گیرد. کانال‌های چپ و راست نکوآباد با ظرفیت 50 و 15 متر مکعب بر ثانیه به منظور آبیاری اراضی به وسعت 45 و 15 هزار هکتار در طرفین سد نکوآباد احداث گردیده است. محل اجرای طرح، ایستگاه تحقیقات شهید فزوه قهدریجان واقع در 25 کیلومتری غرب اصفهان با مختصات جغرافیائی ′34 °32 عرض شمالی، و ′28 °51 طول شرقی و ارتفاع 1645 متر از سطح دریا است. این منطقه با متوسط بارش حدود 125 میلی‌متر در سال از جمله مناطق خشک کشور محسوب می‌شود. در این ایستگاه، میزان ظرفیت انباشت رطوبتی خاک (FC-PWP) از 15 تا 18 درصد وزنی در عمق‌های مختلف خاک متغیر است. شوری آب آبیاری 3/4 دسی‌زیمنس بر متر و هدایت هیدرولیکی اشباع 300 میلی‌متر بر روز اندازه‌گیری شده است. نتایج تجزیه خاک مزرعه آزمایشی در جدول 1 آورده شده است.

این تحقیق در چهار قطعه 360 متر مربعی که هر قطعه به چهار قسمت مساوی تقسیم شده بود با استفاده از دو رقم ذرت 647 (متوسطرس) و 704 (دیررس) در ایستگاه تحقیقات شهید فزوه قهدریجان واقع در شبکه آبیاری نکوآباد اجرا شد. شکل 1 عملیات آبیاری مزرعه ذرت را نشان می‌دهد.

آماده‌سازی زمین، مصرف کودهای شیمیایی، مبارزه با علف‌های-هرز و سایر عملیات زراعی لازم از قبیل سمپاشی آفات (تریپس و زنجرک) برای کلیه قطعات طبق توصیه‌های بخش‌های تحقیقات خاک و آب و ترویج به طور یکنواخت انجام گردید، تنها تفاوت اعمال شده در قطعات، میزان آب آبیاری بود که به شرح زیر اعمال گردید:

قطعه اول: گیاه بر طبق عرف آبیاری مزارع محلی آبیاری شد (شاهد).

قطعه دوم: گیاه به صورت کاملاً مطلوب بر اساس تحقیقات قبلی آبیاری شد (آبیاری کامل).

جدول 1- نتایج تجزیه خاک

Table 1- Results of soil analysis

عمق خاک (سانتی‌متر) Soil depth (cm)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	رطوبت ظرفیت زراعی (درصد) Field capacity (%)	رطوبت نقطه پژمردگی (درصد) Wilting point (%)	رطوبت اشباع (درصد) Saturation (%)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density ($gr.cm^{-3}$)	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	بافت خاک Soil texture
0-20	6.2	37	19	47	1.43	49	29	22	ClL رس سیلتی
20-60	4.2	35	18	48	1.43	50	28	22	ClL رس سیلتی
40-60	4.2	33	18	47	1.46	53	26	21	ClL رس سیلتی

شکل 1- عملیات آبیاری ذرت دانه‌ای در مزرعه تحقیقاتی

Fig. 1- Irrigation activity at maize research field

قطعه سوم :20% از آبیاری کامل گیاه کسر گردید.

قطعه چهارم :40% از آبیاری کامل گیاه کسر گردید.

در کلیه تیمارها آب مصرفی به وسیله WSC فلوم اندازه‌گیری می‌شد. بهترین نوع آرایش زمین برای کاشت ذرت، روش جویچه‌ای (فاروئی) است. در این روش، بازده مصرف انواع کودهای شیمیایی که قبل از کاشت مصرف می‌شوند اعم از کودهای ازته، فسفره و پتاسه افزایش می‌یابد و عناصر غذایی، بهتر در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. همچنین عمل آبیاری و سبز شدن بذر به دلیل زهکش سریع خاک و گرم شدن بستر بذر بهتر انجام می‌شود. در این روش آب اضافی زمین زودتر از اطراف بذر خارج شده و از سرد شدن خاک جلوگیری می‌شود، در نتیجه به خوبی شروع به جوانه‌زنی می‌نماید. این مسئله درخاک‌های سنگین و نیمه‌سنگین، مهم‌تر از سایر خاک‌ها است. از این رو در این طرح، ذرت به روش فاروئی کشت گردیده است. روش کشت همان روش معمول کشت و کار ذرت در منطقه می‌باشد و تاریخ کشت معمول منطقه نیز رعایت شده است. در طول دوره رشد و نمو (از زمان کاشت تا برداشت) یادداشت برداری‌های لازم از قبیل تاریخ سبز شدن، ظهور گل تاجی (گل نر) و کاکل (گل ماده)، زمان اتمام دانه گرده و ارتفاع بوته انجام شد. بعد از برداشت محصول، تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف دانه هر رقم و همچنین وزن هزاردانه، عمق دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد تا تأثیر مقادیر کم‌آبیاری‌های به کار رفته بر شاخص‌های فوق معلوم گردد. برنامه‌ریزی صحیح کم‌آبیاری با تغییر در مدیریت کشت‌های متداول از قبیل پرهیز از به کارگیری تراکم زیاد بوته، مصرف زیاد بذر در مزرعه و استفاده کمتر از کودهای شیمیایی و سموم همراه است. میزان کود مصرفی طبق نتایج آزمون خاک و دستورالعمل مؤسسه تحقیقات خاک و آب تعیین گردید. تراکم بوته در این طرح 70-65 هزار بوته در هکتار بوده است. مبارزه با علف‌های‌هرز به طریق شیمیایی انجام شده که با استفاده از سموم آترازین[1] (1/2 کیلوگرم ماده تجارتی در هکتار) و لاسو[2] (پنج لیتر در هکتار) صورت گرفت. به منظور مقابله با آبدوزدک از طعمه مسموم سبوس گندم با سم سوین[3] استفاده شد.

تعیین فواصل آبیاری‌ها یکی از مشخصه‌های مهم در آبیاری گیاه ذرت است. آبیاری‌ها با توجه به شدت تبخیر و تعرق انجام می‌شود. از آنجا که نرم‌افزار CROPWAT ابزار مناسبی برای برنامه‌ریزی کشت ذرت می‌باشد، این مدل به عنوان یک ابزار کاربردی به منظور محاسبات استاندارد برای تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع، نیاز آبی گیاه و مدیریت برنامه آبیاری استفاده گردید. مدل CROPWAT که توسط بخش توسعه آب و خاک FAO نوشته شده است، یک مدل ساده بیلان آب است که امکان شبیه سازی تنش رطوبتی روی گیاه و محاسبه میزان کاهش محصول را بر پایه روش‌های مدون برآورد تبخیر و تعرق و عکس‌العمل گیاه به تنش آبی میسر می‌سازد (Smith & Kivumbi, 2004).

در محاسبه و تأمین مقدار آب آبیاری مراحل زیر دنبال شده است:

محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (ETo) با روش بلینی کریدل

محاسبه ضرایب گیاهی (Kc) گیاه ذرت در مراحل مختلف رشد

محاسبه تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ETc = Kc. ETo)

محاسبه بارش مؤثر (Pe) به روش SCS

محاسبه نیاز آبیاری (In = ETc-Pe)

تأمین آب آبیاری کرت‌های آزمایشی به وسیله انهار خاکی با پوشش پلاستیکی و سیفون

اولین آبیاری در تاریخ 30-25 اردیبهشت صورت گرفت. کلیه تیمارها و تکرارها به طور کامل و به میزان آب مورد نیاز برای رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی آبیاری شد. پس از آبیاری اول، با توجه به نتایج تحقیق قبلی که دور آبیاری در اوایل دوره‌ی رشد را 12-10 روز و در زمان گرده افشانی و تلقیح دانه 7-6 روز توصیه کرده است و با توجه به نیاز آبی گیاه در فاصله دو آبیاری، آبیاری‌های بعدی صورت گرفت. تعداد نوبت آبیاری و طول فصل رشد ذرت در جدول 2 و همچنین تبخیر و تعرق محصول و مقدار خالص آب آبیاری برای دهه‌های مختلف در طول فصل رشد در جدول 3 ارائه شده است.

برای محاسبه بهره‌وری آب عملکرد در واحد سطح بر مجموع آب آبیاری (راندمان آبیاری 80 درصد) در واحد سطح تقسیم شد. این شاخص می‌تواند برای تعیین بهترین تیمار کم‌آبیاری معیار مناسبی باشد. به علت آن که میزان بارندگی در طول دوره رشد بسیار ناچیز بوده، میزان آن در محاسبه بهره‌وری آب وارد نشد. مقادیر بهره‌وری آب برای تیمارهای چهارگانه در جدول 4 ارائه شده است.

1- Atrazine
2- Lasoo (Alacolore)
3- Sevin (Carbaryl)

جدول 2- تعداد آبیاری، تاریخ کاشت و برداشت و طول فصل رشد گیاه ذرت

Table 2- Number of irrigation, planting and harvest date and during the maize growing season*

سال سوم Third year	سال دوم Second year	سال اول First year	مشخصه Characteristic
15 May	20 May	18 May	تاریخ کاشت Date of planting
22 October	29 October	25 October	تاریخ برداشت Date of harvest
11	11	11	تعداد آبیاری Number of irrigation
135	133	134	طول فصل رشد (704) During the growing season (704)
129	128	128	طول فصل رشد (647) During the growing season (647)

* طول فصل رشد از زمان سبز کردن گیاه تا رسیدن ظاهری (فیزیولوژیکی) محاسبه شده است.

* During of growing season is from emergence time until Physiological maturity.

جدول 3- میزان نیاز خالص آب آبیاری طی فصل رشد مستخرج از مدل CROPWAT

Table 3- Net irrigation requirement during crop growing season by CROPWAT model

تبخیر و تعرق گیاه (میلی‌متر در دهه) ET_c ($mm.decade^{-1}$)	تبخیر و تعرق گیاه (میلی‌متر در روز) ET_c ($mm.day^{-1}$)	دهه Decade[1]	ماه Month
21.6	2.16	3rd	May **خرداد**
24.9	2.49	1st	June **خرداد**
28.1	2.81	2nd	June **تیر**
35.5	3.55	3rd	June **تیر**
49.1	4.91	1st	July **تیر**
61.6	6.16	2nd	July مرداد
69.0	6.90	3rd	July مرداد
77.1	7.71	1st	August مرداد
74.5	7.45	2nd	August شهریور
71.4	7.14	3rd	August شهریور
68.0	6.80	1st	September شهریور
61.1	6.11	2nd	September مهر
49.6	4.96	3rd	September مهر
35.2	3.52	1st	October مهر
21.4	2.14	2nd	October آبان
747.6	74.76	کل Total	

جدول 4- مقادیر بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف آبیاری

[1] Ten days

Table 4- Amounts of water productivity at different deficit irrigation treatments

بهره‌وری آب (کیلوگرم بر متر مکعب) Water productivity ($kg.m^{-3}$)	حجم آب کاربردی (متر مکعب در هکتار) Water use ($m^3.ha^{-1}$)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	قطعه Part
0.85	10836	9271	قطعه 1 Part 1
1.02	9280	9450	قطعه 2 Part 2
1.25	7420	9250	قطعه 3 Part 3
1.41	5940	8377	قطعه 4 Part 4

جدول 5- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات و عملکرد ذرت تحت شرایط کم‌آبیاری

Table 5- Analysis variances (means of squares) of some traits and yield of maize under deficit irrigation conditions

عمق دانه depth of kernels	تعداد دانه در هر ستون Number of kernel per column	تعداد دانه در هر ردیف Number of kernel per ear row	وزن هزار دانه 1000- kernel weight	عملکرد Grain yield	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
31.8 **	1287.3 **	15.7 **	14131.9 **	54.6 **	2	سال Year
0.4	22.4	5.1	462.2	0.9	6	خطا Error
5 **	24.1 *	5.3 ns	298.3 ns	0.9 **	3	کم‌آبیاری Deficit Irrigation
2.5 **	16.1 ns	9.3 ns	244 ns	0.4 ns	6	کم‌آبیاری × سال Year × Deficit Irrigation
1.4	18.1	6.1	547.8	0.48	18	خطا Error
22.7 ns	71.7 ns	256.7 ns	33230 ns	0.3 ns	1	رقم Variety
0.5 ns	2.3 ns	8.8 ns	496 ns	0.2 ns	3	کم‌آبیاری × رقم Deficit Irrigation × Variety
0.7 ns	5.1 ns	0.5 ns	146 ns	0.5 ns	2	رقم × سال Year × Variety
0.6 ns	6 ns	7.1 ns	214.7 ns	0.2 ns	6	کم‌آبیاری× رقم × سال Year × Deficit Irrigation × Variety
0.5	6.7	5.4	248.3	0.36	24	خطا Error
5.9	6.3	13.5	5.2	9.8		ضریب تغییرات (%) CV (%)

ns، * و **: به ترتیب نمایانگر غیرمعنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

ns, * and **: are non-significant and significant difference at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول 6- اثر کم‌آبیاری بر عملکرد و برخی صفات ذرت

Table 6- Effect of deficit irrigation on yield and some traits of maize

تیمار Treatment / صفات Trait	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Grain Yield ($kg.ha^{-1}$)	وزن هزار دانه (گرم) 1000- kernel weight (g)	تعداد دانه در هر ردیف Number of kernel per ear row	تعداد دانه در هر ستون Number of kernel per column	عمق دانه (میلی‌متر) depth of kernels (mm)
آبیاری شاهد Check	9271 a*	301.3 a	16.7 a	42.8 a	12.4 a
100 درصد آبیاری کامل 100% Full Irrigation	9450 a	308.8 a	17.1 a	43.1 a	12.2 a
80 درصد آبیاری کامل 80% Full Irrigation	9250 a	301.4 a	18 a	41.6 a	12.6 a
60 درصد آبیاری کامل 60% Full Irrigation	8377 b	299.8 a	17.2 a	40.6 b	11.4 b

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

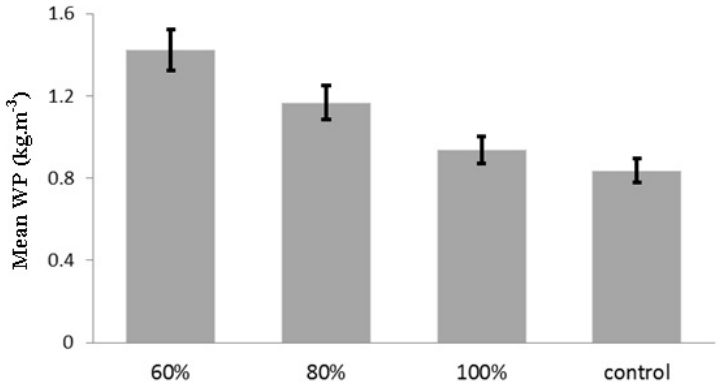
* Columns with the same letter(s) are not significant – different at $p \leq 0.05$ probability level.

به منظور بررسی اثر مقادیر مختلف کم‌آبیاری بر صفات عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت دانه‌ای این تحقیق به صورت کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. میزان آب آبیاری به عنوان کرت اصلی در چهار سطح و دو رقم ذرت دانه‌ای (647 و704) به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند. سطوح مختلف آبیاری در چهار سطح شامل شاهد (مرسوم)، 100%، 80% و 60% تبخیر و تعرق محصول در نظر گرفته شد و مقادیر بهره‌وری آب (نسبت عملکرد دانه به حجم آب مصرفی) در تیمارهای مختلف برای ارقام مورد مطالعه به دست آمد. تیمارها بر اساس عملکرد دانه (GY) و اجزای عملکرد شامل وزن هزار دانه (1000 KW)، عمق دانه (KD)، تعداد دانه در ردیف (KNER) و تعداد دانه در هر ستون (KNC) مورد مقایسه قرار گرفتند. در پایان، نتایج سالانه آزمایش به صورت جداگانه مورد تجزیه واریانس ساده قرار گرفت و سپس نتایج سه ساله، تجزیه واریانس مرکب گردید.

نتایج و بحث

برای تعیین اثر سال، داده‌ها و اطلاعات مربوط به خصوصیات مختلف در طول مدت اجرای طرح، تجزیه‌ی واریانس مرکب گردید و میانگین تیمارهای مختلف آبیاری در شاخص‌های فوق به روش دانکن در سطح پنج درصد مقایسه شدند. تجزیه واریانس مرکب سه ساله داده‌ها در جدول 5 ارائه شده است. همچنین جدول 6 مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در میزان‌های مختلف آبیاری مورد آزمایش را نشان می‌دهد.

با توجه به اهمیت بررسی توأمان عملکرد محصول و حجم آب مصرفی، مقادیر بهره‌وری آب برای تیمارهای مختلف آبیاری محاسبه و در شکل 2 ارائه گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که اثر تیمارهای آبیاری براساس عرف محل (شاهد)، آبیاری کامل، 80 درصد آبیاری کامل، و 60 درصد آبیاری کامل بر عملکرد دانه، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است، ولی این اثر روی شاخص‌های وزن هزاردانه و تعداد دانه در ردیف معنی‌دار نیست. نتیجهٔ بررسی اثر رقم بر شاخص‌های مختلف این است که این اثر بر هیچ یک از صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار نیست. در تیمار سطح آبیاری 60% پایین‌ترین میزان عملکرد دانه (8377 کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که علی‌رغم کاهش 36 درصدی آب کاربردی (جدول 4) نسبت به تیمار آبیاری کامل فقط 11/4 درصد عملکرد کاهش یافت (جدول 6). صفات عمق دانه و تعداد دانه در هر ستون در تیمار سطح آبیاری 60٪ به ترتیب 8 و 5/1 درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافته است. در این آزمایش اثر متقابل بین آبیاری و سال، آبیاری x رقم، رقم x سال و آبیاری x رقم x سال در مورد هیچ یک از صفات اندازه‌گیری شده، معنی‌دار نگردید.



شکل2- بهره‌وری آب برای تیمارهای مختلف آبیاری در محصول ذرت

Fig. 2- Water productivity of maize under different deficit irrigation treatments

میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Bars represented standard error.

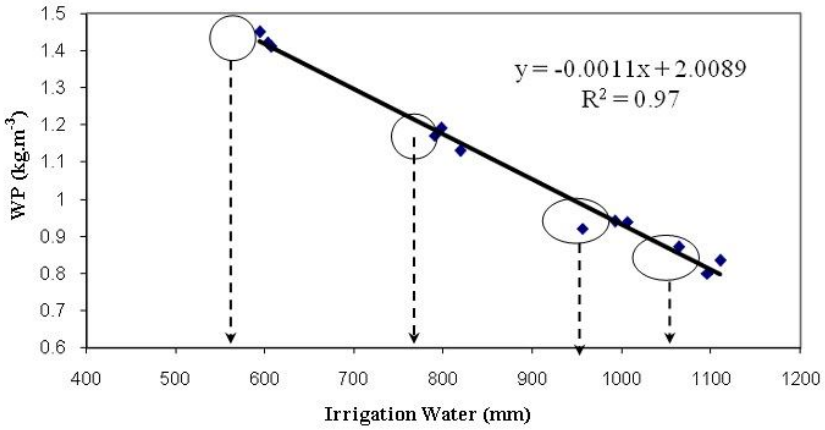
بررسی صفات کمی، تجزیه‌ی واریانس، مقایسه‌ی میانگین تیمارهای آبیاری، و مقادیر بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف نشان داد که تفاوت مقادیر عملکرد دانه، عمق دانه و تعداد دانه در هر ستون در مقادیر مختلف آبیاری تا سطح 60 درصد معنی‌دار نیست، بنابراین، تیمار 80٪ می‌تواند بدون هیچ گونه کاهش عملکردی در سال‌های نرمال مورد استفاده قرار گیرد، در حالی‌که تیمار 60 درصد آبیاری کامل با 36 درصد صرفه جویی آب در مناطق بحران زده مرکزی ایران در سال‌های خشک بر سایر تیمارها برتری دارد.

کاهش تعداد دانه در هر ستون و عمق دانه از عوامل اصلی کاهش عملکرد دانه در اثر کم‌آبیاری هستند، اثر عامل آبیاری بر این دو صفت معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که کاهش20 و 36 درصد آب مصرفی باعث کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه نگردید، ولی با 36 درصد کاهش آب، صفات عملکرد دانه، دانه در هر ستون و عمق دانه به طور معنی‌دار کاهش یافت.

همان طور که نتایج نشان می‌دهد مقادیر بهره‌وری آب به طور متوسط (میانگین سه ساله) بین 0/85 و1/41 کیلوگرم بر مترمکعب نوسان دارد. این مشخصه برای تیمارهای کنترل، 100، 80 و 60 درصد آب مصرفی به ترتیب 0/85، 1/018، 1/25 و 1/41 به دست آمد (جدول 6). شکل 2 نشانگر این واقعیت می‌باشد که قطعه 4 دارای بیشترین بهره‌وری می‌باشد، یعنی با صرفه جویی 3940 متر مکعب آب فقط 1073 کیلوگرم در هکتار کاهش عملکرد ایجاد شده و با مصرف 5940 متر مکعب آب، عملکرد 8377 کیلوگرم در هکتار حاصل شده که کارایی 1/41 کیلوگرم بر متر مکعب حاصل می‌گردد. بالاترین بهره‌وری آب به میزان 1/41 کیلوگرم بر متر مکعب، برای تیمار 60 درصد محاسبه شده است. اثرات تیمارهای شاهد و آبیاری کامل بر روی بهره‌وری آب به مراتب بالاتر از تأثیر سطوح کم‌آبیاری شدید همچون تیمار 60٪ بود. به طور متوسط، افزایش بهره‌وری آب در تیمار 60 درصد نسبت به تیمار شاهد 66٪، در تیمار 80٪، 37/2٪ و برای تیمار آبیاری کامل 12/8٪ بود.

در شکل 3، تغییرات بهره‌وری آب در برابر مقدار آب آبیاری رسم شده است. این شکل نشان می‌دهد که بهره‌وری آب چگونه می‌تواند ارتقاء یابد در حالی‌که به طور همزمان برای صرفه جویی در آب مصرفی، آب آبیاری کاهش یابد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد بهره‌وری آب به شدت تحت تأثیر کمبود آب قرار دارد. ضریب تبیین در معادله رگرسیون (R^2) 97/. به دست آمد، که همبستگی بالای بین این دو پارامتر برای سه سال آزمایش را نشان می‌دهد.

در این راستا لی و همکاران (Li et al., 2005) نشان دادند که بهره‌وری آب دارای همبستگی منفی با حجم آب آبیاری می‌باشد. در همین حال، تجزیه و تحلیل معادله رگرسیون نشان می‌دهد که رابطه بین حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب می‌تواند توسط توابع خطی تشریح گردد.



شکل 3- رابطه آب آبیاری و بهره‌وری آب در محصول ذرت

Fig. 3- Relationships between irrigation water and water productivity of maize

ساکر (Cakir, 2004)، چن و همکاران (Chen et al., 2009) و پایرو و همکاران (Payero et al., 2008) نشان دادند که عملکرد محصول ذرت با کاهش مقدار آب آبیاری کاهش می‌یابد، به طوری‌که مقادیر حداکثر عملکرد گیاه در تیمار آبیاری کامل به دست می‌آید. در آب و هوای گرم و خشک محل مورد مطالعه، کمبود آب تأثیر به سزایی در کاهش کاکل دهی و به تبع آن کاهش عملکرد ذرت داشت. غالب مطالعات نشان داده‌اند که عملکرد ذرت عمدتاً تحت تأثیر تنش آب قرار می‌گیرد با این‌حال، پایرو و همکاران (Payero et al., 2008) معتقدند که کاهش عملکرد محصول ذرت بسته به الگوی درجه حرارت و بارندگی هر منطقه، ویژگی‌های خاک و گیاه، شیوه‌های مدیریت مزرعه، و همچنین شرایط آب و هوایی متفاوت است. با این‌حال، کیجنه و همکاران (Kijne et al., 2003) بر این باورند که در تکنیک کم‌آبیاری ذرت، افت عملکرد محصول بسیار کمتر از میزان آب صرفه‌جویی شده است و نتایج این تحقیق نیز مؤید این موضوع است. لذا اعمال تیمارهای کم‌آبیاری، بیشتر با هدف رسیدن به تولید و عملکرد محصول بیشتر به ازای هر واحد آب است.

استون (Stone, 2001) نشان داد که کارآیی مصرف آب در ذرت با کاهش مصرف آب، افزایش می‌یابد. زوارت و همکاران (Zwart et al., 2005) براین باورند که استراتژی کم‌آبیاری تنها در شرایطی موجب افزایش بهره‌وری آب محصولات زراعی می‌شود که مزارع مورد نظر با بیش‌آبیاری[1] رو به رو باشند. نتایج نشان داد در مورد محصولاتی که در حال حاضر با کم‌آبیاری مدیریت می‌شوند کاهش آب آبیاری تنها به کاهش بیشتر عملکرد و حصول بهره‌وری آب کمتر می‌انجامد. تحقیقات انجام شده در مناطق ذرت خیز جهان نشان داد مزارعی که بعد از آبیاری اول در شرایط کم آبی قرار داشته‌اند از افزایش محصولی حدود 1250 کیلوگرم در هکتار نسبت به مزارع محلی با آبیاری معمولی برخوردار بوده‌اند (Sprague & Duley, 1992). اویس و همکاران (Oweis et al., 2004) با نگاهی عمیق‌تر به این موضوع بر این باورند که امروزه نیاز به یک ترکیب بهینه از تولید در واحد هکتار و تولید به ازای حجم آب مصرفی برای حصول "غذای بیشتر با آب کمتر" احساس می‌شود. به عبارت دیگر، کم‌آبیاری به اخذ عملکردی با ثبات و نه عملکرد حداکثر بلکه بهره‌وری آب حداکثر کمک می‌نماید (Zhang et al., 2005). نواحی مرکزی کشور و به ویژه استان اصفهان با بارش سالیانه 150-110 میلی‌متر و آب مصرفی 500-1400 میلی‌متر، در سال‌های اخیر با خشکی‌های شدید مواجه شده، به طوری‌که افت سطح ایستابی در سمت راست شبکه آبیاری نکوآباد تنها در شش ماه سال 87-1386 به 10 متر رسید (Miranzadeh & Mamanpoush, 2008) .

اکبری و همکاران (Akbari et al., 2007) درارزیابی سیستم‌های سمت راست و سمت چپ شبکه آبیاری نکوآباد، بهره‌وری آب مربوط به این شبکه را بالا و حدود 0/72 برآورد کردند. مقایسه این عدد با دامنه تغییرات بهره‌وری آب مندرج در جدول 4 (1/25-1/41) نشانگر این واقعیت تلخ است که این قطب کشاورزی استان از

1- Over irrigation

ضعف برنامه‌ریزی و روش‌های غیر کارآمد آبیاری که منجر به کاهش بهره‌وری آب می‌شود، به شدت آسیب‌پذیر گشته است. در تحقیق حاضر صرفه جویی حدود 4000 مترمکعب آب آبیاری فقط با افت عملکرد کمتر از یک تن در هکتار به دست آمده است.

نتایج حاصله نشان می‌دهد که در صورت اعمال کم آبیاری بر محصولات زراعی بهره‌وری آب به شدت افزایش می‌یابد. یافته‌های مطالعه حاضر با نتایج تحقیقات قبلی تأیید می‌گردد. از این رو کمبود آبیاری در سطح 36-20 درصد می‌تواند برای گیاه ذرت (رقم 704 و 647) در منطقه مرکزی ایران و دیگر مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان با مشابهت‌های اکولوژیکی قابل قبول باشد.

نتیجه‌گیری

کم‌آبیاری در شبکه آبیاری نکوآباد واقع در بالا دست حوضه آبریز زاینده رود یک روش مؤثر برای کاهش اثرات خشکسالی بر عملکرد غلات است. با کاربرد این روش به ازای مقدار قابل توجه آب صرفه جویی شده، افت اندک عملکرد محصول اتفاق می‌افتد. اعمال چهار تیمار آبیاری بر روی محصول ذرت در طول سه سال آزمایش نشان داد عملکرد دانه و اجزای آن عمدتاً تحت تأثیر میزان آب آبیاری به - کار رفته، قرار دارد. هر چند کم آبی بعد از جوانه زدن، میزان کلروفیل و نشاسته را در گیاهچه کاهش می‌دهد اما نفوذ بیشتر ریشه‌ها در شرایط آب و هوایی خشک به اعماق خاک باعث می‌گردد گیاه بهتر بتواند شرایط تنش رطوبتی را تحمل کند. به استناد این پژوهش از نظر صفت عملکرد دانه بین میزان‌های آبیاری مرسوم محلی (شاهد)، آبیاری کامل و 80 درصد آبیاری کامل، تفاوت چشمگیری دیده نمی‌شود، ولی کاهش 36 درصدی آب کاربردی نسبت به آبیاری کامل موجب افت 11/4 درصد عملکرد محصول می‌گردد. اما در شرایط معمولی و فقدان محدودیت جدی آب، با توجه به ویژگی‌های کمی محصول ذرت، کسر آبیاری 20٪ (80 درصد از تبخیر و تعرق محصول) مناسبترین گزینه آبیاری است و افت عملکرد نسبت به آبیاری کامل فقط 2 درصد است. روش آبیاری مرسوم با داشتن عملکرد کمتر و مصرف آب بیشتر، دارای 17 درصد بهره‌وری آب کمتر نیز می‌باشد و ضرورت دارد شیوه سنتی آبیاری اصلاح شود. ضمناً توجه به مراحل حساس رشد نیز اهمیت دارد به طوری که دوره 20 روزه گلدهی یک مرحله حساس به کم آبی در گیاه ذرت به شمار می‌آید.

منابع

Akbari, M., Toomanian, N., Droogers, P., Bastiaanssen, W., and Gieske, A. 2007. Monitoring irrigation performance in Esfahan, Iran, using NOAA satellite imagery. Agricultural Water Management 88: 99-109.

Ali, M.H., and Talukder, M.S.U. 2008. Increasing water productivity in crop production-A synthesis. Agricultural water management 95: 1201-1213.

Anonymous. 2007. Corn, wheat and soybean projections. Retrieved from http://www.nue.okstate.edu/Crop_Information/World_Wheat_Production.htm.

Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stage on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research 89(1): 1-16.

Chen, C., Wang, E., and Yu, Q. 2009. Modeling the effects of climate variability and water management on crop water productivity and water balance in the North China Plain. Agricultural Water Management 97(8): 1175-1184.

Deng, X.P., Shan, L., Zhang, S.Q., and Kang, S.Z. 2006. Improving agricultural water use efficiency in arid and semiarid areas of China. Agricultural Water Management 80: 23-40.

Geerts, S., and Raes, D. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management 96: 1275-1284.

Hassanli, A.M., Ebrahimizadeh, M.A., and Beecham, S. 2009. The effects of irrigation methods with effluent and irrigation scheduling on water use efficiency and corn yields in an arid region. Agricultural water management 96: 93-9.

Iqbal, M.A., Bodner, G.L., Heng, K., Eitzinger, J., and Hassan, A. 2010. Assessing yield optimization and water reduction potential for summer-sown and spring-sown maize in Pakistan. Agricultural Water Management 97: 731-737.

Iqbal, M., Eitzinger, J., Formayer, H., Hassan, A., and Heng, L.K. 2011. Assimilation study for assessing yield optimization and potential for water reduction for summer-sown maize under different climate change scenarios. Journal of Agricultural Science 149: 129-143.

Kijne, J.W., Tuong, T.P., Bennett, J., Bouman, B., and Oweis, T. 2003. Ensuring food security via improvement in crop water productivity. In Challenge Program on Water and Food: Background Papers to the full proposal. The Challenge Program on Water and Food Consortium, Sri Lanka.

Li, J., Inanaga, S., Li, Z., and Eneji, A.E. 2005. Optimizing irrigation scheduling for winter wheat in the North China Plain. Agricultural Water Management 76: 8-23.

Miranzadeh, M., and Mamanpoush, A.R. 2008. Estimation of monthly abstracted ground water rate in Zayandehrud irrigation main network. Iranian Water Research Journal 2(2): 19-26. (In Persian with English Summary)

Norwood, C.A. 2000. Water use and yield of limited-irrigated and dryland corn. Soil Science Society American Journal 64: 365–370.

Oktem, A. 2008. Effect of water shortage on yield, and protein and mineral compositions of drip-irrigated sweet corn in sustainable agricultural systems. Agricultural Water Management 95(9): 1003-1010.

Oweis, T., Hachum, A., and Pala, M. 2004. Lentil production under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management 68: 251-265.

Payero, O., Melvin, R., Irmak, S., and Tarkalson, D. 2006. Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate. Agricultural Water Management 84: 101-112.

Payero, O., Tarkalson, D., Irmak, S., Davison, D., and Petersen, L. 2008. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate. Agricultural Water Management 95: 895-908.

Smith, M., and Kivumbi. D. 2004. Use of the FAO CROPWAT Model in Deficit Irrigation Studies. Joint FAO/IAEA Division. FAO Deficit Irrigation Practices. Water Reports 22: 17-27.

Sprague, G.F., and Duley, J.W. 1992. Corn and corn Improvement. American Society Agronomy, USA.

Stone, P.J., Wilson, D.R., Reid, J.B., and Gillespie, R.N. 2001. Water deficit effects on sweet corn. I. Water use, radiation use efficiency, growth, and yield. Australian Journal of Agricultural Research 52(1): 103-113.

Zhang, X.Y., Chen, S.Y., Liu, M.Y., Pei, D., and Sun, H.Y. 2005. Improved water use efficiency associated with cultivars and agronomic management in the North China Plain. Agronomy Journal 783-790.

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: 115-133.