

بررسی تأثیر مدیریت‌های زراعی و آبیاری در بهبود کارایی مصرف آب ذرت (مطالعه موردی شبکه آبیاری دز)

منصور معیری*، ابراهیم پذیرا، حمید سیادت، فریبرز عباسی و فریدون کاوه**

* نگارنده مسئول، نشانی: خوزستان- دزفول - کیلومتر ۱۳ جاده صفی آباد - مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد - بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی - صندوق پستی ۳۳۳، تلفن: ۰۶۴۲-۲۴۳۳۰۴۱، پیام نگار: man_moayeri@yahoo.com

** به‌ترتیب: عضو هیئت علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد - دزفول؛ عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران؛ عضو هیات علمی واحد علوم تحقیقات تهران؛ عضو هیات علمی واحد علوم تحقیقات تهران

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۶/۱۹

چکیده

در مناطق خشک و نیمه خشک که محدودیت منابع آبی وجود دارد، کشاورزان باید شیوه‌ای از مدیریت را برگزینند که با آب کمتر محصول بیشتری تولید کنند. هدف از این مطالعه، کاهش تلفات آب آبیاری و افزایش کارایی مصرف آب (WP) سه هیبرید ذرت بود. این آزمایش در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد طی دو سال زراعی ۷-۱۳۸۶ اجرا و در آن تأثیرات متقابل سه رقم تجارتي ذرت شامل هیبریدهای Sc-704، Bc-666 و Osk-602 و سیستم‌های مختلف آبیاری سطحی و قطره‌ای طی آزمایش کرت‌های نواری یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار آزمایش شد. کرت اصلی آزمایش شش تیمار مدیریت زراعی و آبیاری مشتمل بود بر: (۱) کشت روی پشته‌های ۷۵ سانتی‌متری و آبیاری کامل (تیمار شاهد منطقه)، (۲) کشت روی پشته‌های ۷۵ سانتی‌متری و آبیاری یک در میان متغیر، (۳) کشت دو ردیف روی پشته‌های ۷۵ سانتی‌متری و آبیاری کامل، (۴) کشت یک ردیف درون جویچه‌های ۷۵ سانتی‌متری و با تغییر جوی و پشته‌ها در زمان دو تا چهار برگی شدن ذرت، (۵) کشت یک ردیف درون جویچه‌های ۷۵ سانتی‌متری با جوی پشته ثابت تا پایان فصل رشد و (۶) کشت روی پشته‌های ۷۵ سانتی‌متری و آبیاری قطره‌ای کامل. در هر آبیاری حجم آب ورودی و در آبیاری‌های سطحی حجم رواناب خروجی اندازه‌گیری شد. پس از رسیدگی فیزیولوژیکی، با اندازه‌گیری عملکرد اندام‌های هوایی و عملکرد دانه، کارایی مصرف آب گیاه (CWP) و کارایی مصرف آب آبیاری (IWP) هر سه هیبرید ذرت ارزیابی شد. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین عملکرد هیبریدهای مورد آزمایش وجود ندارد. در تیمار شاهد، تلفات آب آبیاری غالباً به صورت رواناب سطحی است. با کاهش ۳۱ درصد از مصرف آب در تیمار ۵ تولید دانه ذرت بالاتر از روش رایج (در سطح ۵ درصد)، امکان پذیر شد. در دو سال اجرای آزمایش، کارایی مصرف آب گیاه (CWP) در تیمارهای شش گانه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و متوسط این شاخص ۱/۴۵ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب مصرفی به دست آمد. نتایج همچنین نشان داد که با اعمال مدیریت کشت کف جوی می‌توان کارایی مصرف آب آبیاری (IWP) را به طور متوسط تا ۴۵ درصد افزایش داد. استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای موجب شد تلفات آب کاهش یابد و در نتیجه کارایی مصرف آب گیاه (CWP) و کارایی مصرف آب آبیاری ذرت (IWP) به یکدیگر نزدیک شوند.

واژه‌های کلیدی

آبیاری جویچه‌ای، آرایش کاشت، ذرت، کارایی مصرف آب، مدیریت آبیاری

مقدمه

فعلی، برای تولید غذای مورد احتیاج ۹/۳ میلیارد نفر جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰، به منابع قابل استحصال آب با حجم ۷۰۰۰ تا ۱۲۵۸۶ کیلومتر مکعب در سال نیاز است. ضمن اینکه با مصارف مختلف موجود، منبع آب جدید با کیفیت مناسب به ندرت پیدا می‌شود (Pimentel *et al.*, 2004; Rijsberman, 2006). چالش تولید محصول

بخش کشاورزی در قرن بیست و یکم با دو چالش عمده مواجه است. یکی اینکه جمعیت رو به رشد جهان افزایش تولیدات غذایی را می‌طلبد و دیگر اینکه افزایش تولیدات غذایی، نیازمند مدیریت بهتر منابع محدود آب است (Falkenmark & Rockström, 2004). با روند

(*al.*, 2003). مدیریت نامناسب آبیاری نه تنها باعث اتلاف منابع آب می‌شود، بلکه کاهش عملکرد را نیز به دنبال دارد (Martin *et al.*, 1976 ; Fapohunda, 1992). مدیریت آبیاری روی هزینه تولید و آبشویی مواد غذایی اثر می‌گذارد (Steele *et al.*, 2000).

ذرت به دلیل ویژگی‌های بسیار زیاد خود، به ویژه به دلیل قدرت سازگاری با شرایط اقلیمی گوناگون، عمدتاً در عرض‌های جغرافیایی بین ۳۰ تا ۵۵ درجه جنوبی و شمالی کشت می‌شود و از نظر سطح زیر کشت مکان سوم را بعد از گندم و برنج دارد. کارایی مصرف آب ذرت در چین و هند ۱/۵ و در ایران (برای ذرت علوفه‌ای) ۵/۵۸ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب گزارش شده است. (Kang *et al.*, 2000, Mishra *et al.*, 2001, Heydari, *et al.*, 2005). مامن‌پوش و همکاران (Mamanpoush, *et al.*, 2001) در مطالعه‌های موردی در حوضه شبکه آبیاری زاینده‌رود کارایی مصرف آب در سطح این حوضه را حدود ۱/۱ و کشاورز و همکاران (Keshavarz, *et al.*, 2005) کارایی مصرف آب گیاهان مختلف در ایران را به طور متوسط برابر با ۰/۸ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب آبیاری گزارش کرده‌اند.

بررسی تکنیک‌های برنامه‌ریزی آبیاری ذرت در ایالت داکوتای شمالی آمریکا با استفاده از لایسیمتر و کرت‌های کوچک نشان داد که با مدیریت آبیاری دقیق می‌توان به طور معنی‌داری در مصرف آب آبیاری صرفه‌جویی کرد (Stegman, 1986; Prunty & Montgomery, 1991). شیب تند تابع عملکرد ذرت با آب مصرفی گیاه بیانگر کاهش شدید عملکرد ناشی از کاهش آب مصرفی گیاه (در مقایسه با نیاز آبی گیاه در شرایط بدون تنش) است (Schneekloth *et al.* 1991; Stone 2003; Payero *et al.* 2006). برای افزایش کارایی مصرف آب گیاه (CWP)، تنش آبی روش مناسبی برای ذرت نیست. بهبود مدیریت آبیاری با حداقل تلفات آب، گام مهم و مؤثر در مصرف بهینه آب و افزایش بازده و کارایی مصرف آب آبیاری و تولید محصول است (Payero *et al.*, 2006).

از عوامل مؤثر در بهبود کارایی مصرف آب، علاوه بر مدیریت آبیاری، استفاده از آرایش کشت متناسب، با هدف بهره‌گیری بهینه از آب، نور، غذا و تولید عملکرد بالاتر

بیشتر با محدودیت‌های فزاینده آب، افزایش تولید محصول را به ازای واحد حجم آب مصرفی می‌طلبد (Kijne *et al.*, 2003). مفهوم کارایی مصرف آب (WP) را مولدن در سال ۱۹۹۷ میلادی با تقسیم محصول تولیدی بر کل حجم آب مصرفی (آبیاری + بارندگی) به کار گرفت. در تحقیقات بعدی، صورت و مخرج این کسر با تعابیر مختلف دیگری به کار گرفته شد (Oweis & Hachum, 2006).

$$WP = Y / I \quad (1)$$

که در آن،

Y = تولید اعم از ماده خشک، دانه، گوشت، شیر، درآمد، مزایای زیست محیطی، مزایای اقتصادی، انرژی، غذا و دیگر تولیدات کشاورزی؛ و I = آب مصرفی اعم از تبخیر، تعرق، تبخیر و تعرق و آب غیر قابل استحصال است.

زوارت و باستیانسن (Zwart & Bastiaansen, 2004) دامنه شاخص کارایی مصرف آب را در گندم، برنج، پنبه (تولید دانه)، پنبه (تولید وش)، و ذرت به ترتیب ۱/۷-۰/۶، ۱/۶-۰/۶، ۰/۹۵-۰/۴۱، ۰/۳۳-۰/۱۴ و ۲/۷-۱/۱، کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب مصرفی گزارش کردند. این محققان تغییرات این شاخص را به طور عمده به عوامل اقلیمی، مدیریت آبیاری، و مدیریت کود نسبت دادند. نتیجه بارز این تحقیق آن بود که شاخص کارایی مصرف آب به مقدار زیادی می‌تواند در صورت کاهش مقدار آب آبیاری و اعمال کم آبیاری، افزایش یابد. آنها نتیجه گرفتند که امکان زیادی برای حفظ یا افزایش کارایی مصرف آب، یعنی تولید بیشتر با مصرف آب کمتر (۲۰-۴۰ درصد کمتر)، وجود دارد. عوامل گوناگونی بر بهینه‌سازی کارایی مصرف آب مؤثر هستند که عبارتند از عوامل محیطی، عوامل گیاهی (Fisher & Tuher, 1978)، و عوامل مدیریتی (Hamblin *et al.*, 1990; Kramer, 1988). مصرف آب آبیاری مستلزم به کارگیری روش‌ها و دانش کاهش تلفات آب و افزایش عملکرد محصول است. تلفات آب را با استفاده از برنامه ریزی و مدیریت آبیاری و استفاده از سامانه‌های با بازده بالاتر، می‌توان کاهش داد (Kijne *et*

و با ۱۶۶۶۲۰۰ هکتار زمین قابل کشت دارای وسیع‌ترین دشت‌های کشور نیز هست در این استان، رودخانه‌هایی از جمله کارون، دز، و کرخه جریان دارند؛ رودخانه دز با حجم آب ورودی به دشت معادل ۷/۹۴ میلیارد مترمکعب در سال از منابع مهم آب سطحی است که مساحت ۱۱۵ هزار هکتار ناخالص و ۹۳۷۵۰ هکتار خالص از زمین‌های شبکه آبیاری دز را سیراب می‌کند. مهم‌ترین زراعت‌ها گندم، ذرت، چغندرقلند، جو، ماش، کنجد، نیشکر، یونجه، صیفی‌جات، و سبزی‌ها و از محصولات باغی مرکبات است. در این منطقه، ذرت به صورت ردیفی و با فواصل ۷۵ سانتی‌متری کشت و به روش جویچه‌ای آبیاری می‌شود. متوسط نیاز آبی این گیاه حدود ۶۵۰-۵۵۰ میلی‌متر در سراسر فصل رشد است که با بازده آبیاری ۲۵/۸ درصد (Moayeri & Kaveh, 2008) مقدار آب مصرفی آن معادل ۲۱-۲۵ هزار مترمکعب در هکتار خواهد رسید. این مقدار آب مصرفی، منطقه را با این چالش مواجه ساخته که یکی از محدودیت‌های فرا روی کشت ذرت، تأمین آب مورد نیاز آن است. متوسط عملکرد ذرت دانه‌ای در شبکه آبیاری دز حدود ۶-۷ تن در هکتار است (Agricultural Statistics, 2004) بنابراین کارایی مصرف آب آبیاری ذرت حدود ۰/۳ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب به دست می‌آید که این مقدار بسیار پایین‌تر از مقادیر گزارش شده است. از این رو، روی آوردن به شیوه‌های مدیریت که افزایش کارایی مصرف آب را به دنبال دارند از اهمیت خاصی برخوردار هستند.

این تحقیق با فرض تأمین آب مورد نیاز ذرت تابستانه و با هدف کاهش تلفات آب آبیاری به صورت رواناب خروجی و نفوذ عمقی و در نتیجه افزایش کارایی مصرف آب آبیاری طراحی شده است که در آن با اندازه‌گیری عملکرد دانه، عملکرد اندام هوایی، آب مصرفی، و شاخص‌های کارایی مصرف آب گیاه و آبیاری سه هیبرید ذرت در دو مدیریت متفاوت آبیاری سطحی، مدیریت آبیاری قطره‌ای، و سه شیوه کشت ارزیابی شدند.

است. کاهش فاصله ردیف کاشت ذرت از ۱۰۰ به ۵۰ سانتی‌متر به صورت خطی عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (Sangoi *et al.*, 2001). کاهش فاصله بین ردیف‌های مجاور در آرایش‌های گیاهی خاص، چندین امتیاز بالقوه دارد. اول رقابت بین گیاهان در جذب نور، آب و مواد غذایی را کاهش می‌دهد (Porter & Hicks, 1997)، سرعت رشد اولیه ذرت را بهبود می‌بخشد (Bullock *et al.*, 1988) و با جذب بهتر نور خورشید، عملکرد دانه بیشتر می‌شود (Westgate *et al.*, 1977). دوم، جذب نور حداکثر باعث توسعه و تکمیل سریع‌تر پوشش تاج گیاه می‌شود و نور انتقال یافته به داخل پوشش گیاهی را کاهش می‌دهد (Mc Lachlan *et al.*, 1993) نفوذ کمتر نور خورشید به سطح زمین، پتانسیل رشد علف هرز به خصوص در گونه‌های غیرمتحمل به سایه را کاهش می‌دهد (Teasdale, 1995). سوم، سایه‌اندازی سریع روی خاک در اوایل فصل باعث کاهش تلفات تبخیر می‌شود. این موضوع به خصوص در شرایط خاک مرطوب سطحی مهم است. بنابراین، سهم آبی که گیاه در مراحل رشد مصرف می‌کند، نسبت به آب تبخیر شده از سطح خاک بیشتر خواهد بود که، به ذرت اجازه می‌دهد بیشترین فتوسنتز را داشته باشد (Lauer., 1994). پس، توسعه سریع‌تر پوشش گیاهی از طریق ردیف‌های باریک، راهی است برای بهبود حفاظت از خاک، کاهش رواناب و فرسایش خاک (Mannring & Johnson, 1969).

در بعضی از مناطق آمریکا به منظور استفاده از رطوبت موجود خاک، در کف جوی‌های کم عمق به کمک ردیف‌کار مجهز به صفحه بذر سورگوم کاشته می‌شود (Martin *et al.*, 1976). معیری (Moayeri, 2008) در بررسی مدیریت‌های آبیاری مؤثر در اراضی کشاورزان اراضی در پایاب سد کرخه گزارش کرد که کشت ذرت در کف جویچه باعث کاهش ۲۰ تا ۳۲ درصد آب مصرفی و افزایش ۵۰ تا ۱۰۰ درصد کارایی مصرف آب آبیاری می‌شود.

استان خوزستان در جنوب غربی ایران واقع شده است

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد، دزفول، طی دو سال زراعی ۷-۱۳۸۶ انجام شده است. این منطقه دارای آب و هوای نیمه خشک گرم با زمستان ملایم و پوشش گیاهی نیمه جنگلی است. متوسط بارندگی سالانه این منطقه ۳۵۰ و متوسط تبخیر سالانه ۲۴۰۰ میلی‌متر است. هفتاد درصد بارندگی‌های سالیانه از آذر تا اواخر بهمن ماه و بقیه آن در اسفند و فروردین می‌بارد. بافت خاک تا عمق یک متری لوم رسی سیلتی با جرم مخصوص ظاهری ۱/۶۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب و سطح آب زیرزمینی پایین‌تر از ۹ متر است. شیب اراضی کمتر از ۱ درصد و متوسط آب در دسترس گیاه که در خاک ذخیره می‌شود ۱/۶ میلی‌متر به ازای هر سانتی‌متر عمق توسعه ریشه است. متوسط رطوبت حجمی در شرایط ظرفیت زراعی ۳۷/۷ و در نقطه پژمردگی ۲۱/۹ درصد است. در این آزمایش تأثیرات متقابل سه رقم تجارتي ذرت شامل هیبریدهای Sc-704، Bc-666 و Osk-602 با مشخصات ارائه شده در جدول ۱، در آرایش

کشت‌های مختلف و سامانه‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای در یک آزمایش کرت‌های نواری یک‌بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار آزمایش شد. کرت اصلی (افقی) آزمایش، شامل شش تیمار مدیریت زراعی و آبیاری طراحی شد:

- T₁- کشت روی پشته‌های ۷۵ سانتی‌متری - آبیاری جویچه‌ای کامل (تیمار شاهد، رایج در منطقه)،
 T₂- کشت روی پشته‌های ۷۵ سانتی‌متری - آبیاری جویچه‌ای یک در میان متغیر،
 T₃- کشت دو ردیف روی پشته‌های ۷۵ سانتی‌متری - آبیاری جویچه‌ای کامل،
 T₄- کشت یک ردیف درون جویچه‌های ۷۵ سانتی‌متری - با تغییر جوی و پشته‌ها در زمان دو تا چهار برگ گیاه - آبیاری جویچه‌ای کامل،
 T₅- کشت یک ردیف درون جویچه‌های ۷۵ سانتی‌متری - جوی پشته ثابت - آبیاری جویچه‌ای کامل،
 T₆- کشت روی پشته‌های ۷۵ سانتی‌متری - آبیاری قطره‌ای کامل.

جدول ۱- درجه روز رشد تا رسیدگی، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، واحد گرمایی تا رسیدگی فیزیولوژیک، و تراکم بوته هیبریدهای دیررس ذرت (Barzegari, 2005)

ارقام	درجه روز رشد تا رسیدگی		واحد گرمایی تا رسیدگی فیزیولوژیک	تراکم بوته		تاریخ کشت
	رسیدگی	تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک		تعداد بوته	تراکم بوته (تعداد بوته در هکتار)	
	GDD ^۱	فیزیولوژیک	فیزیولوژیک	سال اول	سال دوم	سال اول
Osk-602	۱۷۰۰	۱۱۰	۳۷۵۲	۷۵۰۰۰	۷۵۰۰۰	۷ تیر
Bc-666	۱۷۳۰	۱۱۴	۳۷۶۷	۷۵۰۰۰	۷۵۰۰۰	۷ تیر
Sc-704	۱۷۸۶	۱۲۰	۳۷۷۵	۷۵۰۰۰	۷۵۰۰۰	۷ تیر

تکرارهای مختلف، هر رقم در طول ۱۴ متر و با تراکم ۷۵۰۰۰ بوته در هکتار (تمامی تیمارها) کشت شد. مقادیر کود پایه و سرک نیتروژن، فسفات و پتاس طبق آزمون خاک آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد تعیین و داده شد. این مقادیر به طور متوسط شامل اوره ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار (یک سوم پایه، یک سوم سرک اول، و یک سوم سرک دوم)، سوپر فسفات تریپل ۱۲۰ کیلوگرم

پس از اتمام مراحل تهیه زمین شامل آبیاری اولیه در اوایل تیر ماه، عملیات شخم به عمق ۳۰ سانتی‌متر با گاوآهن، دو بار دیسک زدن (عمود بر هم)، کودپاشی، و سرانجام دیسک مجدد، جویچه‌هایی به فواصل ۰/۷۵ متر ایجاد شد. طول خطوط کشت و جویچه‌های آبیاری ۱۲۶ متر شرقی- غربی با شیب طولی ۰/۲ درصد و هر تیمار شامل ۷ جویچه آبیاری و ۶ پشته قابل کشت بود. در

اول و با رویش جوانه‌ها در هر شش تیمار به اجرا در آمد. پس از آبیاری دوم، دفعات آبیاری قطره‌ای حدوداً دو برابر تیمار مشابه سطحی بود (جدول ۲). در هر سال در مراحل ۴-۶ برگ‌گی ذرت کود اوره سرک اول و در زمان گلدهی و تشکیل بلال کود اوره سرک دوم به تیمارها داده شد. جهت جلوگیری از خروج کود با رواناب، قبل از تکمیل مرحله پیشروی آب در جویچه‌ها، آبیاری قطع و در تیمار آبیاری قطره‌ای کود به صورت محلول در آب داده شد. تبخیر و تعرق روزانه گیاه با فرض شرایط بدون محدودیت آب (ET_c) با استفاده از روش تشتت تبخیر (ضریب تشتت ۰/۸) به عنوان روش ساده با حداقل داده‌های روزانه مورد نیاز با نتایجی نزدیک به روش پنمن (K_c) مذکور در جدول پیشنهادی نشریه شماره ۵۶، سازمان خوار و بار کشاورزی (FAO) در مراحل مختلف رشد در محاسبات در نظر گرفته شد (Allen et al., 1998).

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (2)$$

که در آن، ET_0 = تبخیر و تعرق گیاه مرجع (روز/ میلی‌متر) و ET_c = تبخیر و تعرق گیاه (روز/ میلی‌متر) است. داده‌های هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی صفی‌آباد در فاصله ۲۰۰ متری از محل اجرای آزمایش، به دست آمد. در فصل رشد، رطوبت خاک در هر تیمار با استفاده از دستگاه ترایم^۴ اندازه‌گیری و برای این کار دو لوله^{۱/۵} متری به قطر ۵ سانتی‌متر در ۴۰ متری اول و سوم هر تیمار نصب شد. رطوبت خاک نیز در عمق ۲۰ سانتی‌متری مشخص گردید. در طول فصل رشد، طی مراحل قبل از آبیاری اولیه، ۴ الی ۶ برگ‌گی شدن گیاه، و سایر مراحل رشدی رطوبت خاک اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها و یادداشت‌برداری‌های رطوبت خاک در سراسر فصل رشد تیمارهای مختلف سال ۱۳۸۷، تقریباً به طور کامل اجرا شد. در مرحله برداشت از دو ردیف وسط به طول ۴ متر، یک نمونه ۶ مترمربعی کف بر و

در هکتار، سولفات پتاسیم ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و سولفات روی ۵۰ کیلوگرم در هکتار به صورت پایه مصرف شدند.

پس از کاشت، تمام عملیات زراعی شامل کودپاشی، وجین، و سمپاشی تیمارها یکسان و همزمان اعمال شد. منبع تأمین آب، کانال‌های آبیاری شبکه آبیاری و زهکشی دز بود و آبیاری‌های سطحی با استفاده از سیفون انجام شد. برای جلوگیری از نوسانات جریان آب و تثبیت سطح آب در نهر بالادست دو نهر اولیه و ثانویه در نظر گرفته شد. ضمن اینکه در انتهای نهر اولیه از یک سرریز خروجی نیز استفاده شد. برای اندازه‌گیری جریان ورودی به هر یک از تیمارها یک عدد فلوم^۱ WSC در محل اتصال نهر بالادست و پایین دست نصب گردید. طول ۱۲۶ متر تیمارها بصورت پیوسته آبیاری می‌شد. بدین منظور پارامترهای شماره منحنی نفوذ^۲ (IF)، ۸/۸۹ سانتی‌متر در ساعت در روش سازمان حفاظت خاک آمریکا^۳ (SCS) و جهت دستیابی به بالاترین بازده کاربرد آب در مزرعه، مناسب‌ترین دبی ورودی هر جویچه حدود ۰/۵ لیتر در ثانیه تعیین شد. با اندازه‌گیری زمان‌های پیشروی آب در هر آبیاری زمان قطع آبیاری با توجه به عمق آب آبیاری با استفاده از روش توصیه شده سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) تعیین شد (Hart, 1979). محاسبه زمان قطع آبیاری تیمارهای کشت روی پشته پس از تکمیل مرحله پیشروی (تأمین عمق خالص آبیاری در انتهای مزرعه) و در تیمارهای کشت کف جویچه از ورود آب به مزرعه و مشابه آبیاری نواری (تأمین عمق خالص آبیاری در ابتدای مزرعه) در نظر گرفته شد. در هر نوبت آبیاری، میزان آب ورودی به مزرعه و رواناب خروجی اندازه‌گیری شد. اولین آبیاری جهت تأمین رطوبت آماس و جوانه‌زنی بذر در نیمه اول مرداد ماه بود. آبیاری تیمارهای ۱ تا ۵ به صورت همزمان اجرا شد و تفاوت آبیاری‌ها در زمان قطع آبیاری بود که بر اساس روش SCS محاسبه و اعمال شد. آخرین آبیاری قبل از رسیدگی کامل ذرت در اواخر مهر ماه اجرا شد. شروع آبیاری‌های قطره‌ای همزمان با شروع آبیاری سطحی بود. آبیاری دوم، سه روز پس از آبیاری

L = تلفات آب (میلی‌متر): R = بارندگی در طول فصل رشد (میلی‌متر); I = آبیاری کل فصل رشد (میلی‌متر); و ΔS = تفاضل آب قابل دسترس گیاه در مرحله جوانه زنی با مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی (میلی‌متر) است. با محاسبه کارایی مصرف آب گیاه (CWP)^۲ و کارایی مصرف آب آبیاری (IWP)^۳ با استفاده از روابط ۵ و ۶، اثر تیمارهای آبیاری روی این دو شاخص ارزیابی شد:

$$CWP = 100 \times Y_a / ET_a \quad (5)$$

(Zwart & Bastiaanssen, 2004)

$$IWP = 100 \times Y_a / I \quad (6)$$

(Oweis & Hachum, 2006)

نتایج و بحث

مقادیر آب آبیاری

مقادیر و دفعات آبیاری تیمارهای مختلف ماه‌های متفاوت در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس رطوبت‌های خاک اندازه‌گیری شده، مشخص شد که دور آبیاری مناسب آبیاری قطره‌ای معادل نصف مورد مشابه در آبیاری سطحی است. عمق ناخالص آبیاری‌ها در تیمارهای اول تا چهارم، ۴۲ تا ۲۳۵ و در تیمار پنجم، ۳۱ تا ۱۵۱ میلی‌متر بود. بنابراین در تیمار ۵، آبیاری‌های با عمق و در نتیجه حجم آبیاری کمتر نسبت به روش رایج (تیمار ۱) امکان پذیر بود. در تیمار ۲، به دلیل ورود آب از جویچه‌تر به جویچه‌خشک، فاز پیشروی کامل نمی‌شد و از این رو آب قابل توجهی در این تیمار به مصرف رسید. مقایسه آبیاری ماه‌های متفاوت فصل رشد نشان دهنده بیشترین تفاوت مقدار آب مصرفی در آبیاری‌های اولیه، به ویژه در تیمار یک نسبت به تیمارهای برتر به خصوص تیمار پنج، بود. در تیمارهای کشت روی پشته، افتادگی برگ‌های پایینی مانع پیشروی آب در جویچه می‌شد؛ در تیمارهای ۴ و ۵، این برگ‌ها روی پشته‌ها قرار می‌گرفتند و ممانعت کمتری در پیشروی آب به وجود می‌آوردند. بازده کاربرد آب روش آبیاری قطره‌ای با اندازه‌گیری رطوبت خاک قبل و بعد از آبیاری برابر ۹۳ درصد محاسبه شد. با مقایسه مقادیر آب

جهت اندازه‌گیری اجزای عملکرد به آزمایشگاه انتقال داده شد. تجزیه و تحلیل آماری واریانس طرح بلوک‌های کامل تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با روش چند دامنه‌ای دانکن برای صفات عملکرد اندام هوایی، دانه، و کارایی مصرف آب با استفاده از نرم افزار MSTATC انجام شد. مقادیر تجمعی تبخیر و تعرق واقعی گیاه در تیمارهای مختلف در طول فصل رشد (ET_a) متناسب با عملکرد از رابطه^۳ محاسبه شد (Allen, 1998):

$$(1 - Y_a / Y_p) = K_y (1 - ET_a / ET_c) \quad (3)$$

که در آن،

ET_c = تبخیر و تعرق ذرت در شرایط بدون تنش (میلی‌متر) است که بر اساس بیلان آب آبیاری، رطوبت خاک، و بارندگی در تیمار ۶ (آبیاری قطره‌ای) محاسبه شده است.

Y_p = پتانسیل عملکرد ذرت (تن در هکتار) است؛ اندازه‌گیری تغییرات رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه گیاه مبین شرایط بدون تنش رطوبتی در تیمار ۶ بود (شکل ۲)، لذا مقادیر عملکرد تیمار ۶ در هر سال به عنوان پتانسیل عملکرد ذرت در نظر گرفته شد.

Y_a = عملکرد واقعی تیمارهای آبیاری (تن در هکتار) و K_y = فاکتور محصول تولیدی است که برای ذرت برابر ۱/۲۵ در نظر گرفته شد (Doorenbos & Kassam, 1979; Allen, 1998; Raes et al., 2006). کپکوری و همکاران (Kipkorir et al., 2002) فاکتور محصول ذرت (K_y) در اقلیم گرم و خشک کشور کنیا را اندازه‌گیری و گزارش کردند که مقادیر اندازه‌گیری شده فقط انحراف ۳ درصدی با مقدار توصیه شده در نشریه فائو ۳۳ داشته‌اند. از این مقادیر در مدل بیلان رطوبتی خاک^۱ نیز استفاده شده است (Raes et al., 2006).

تلفات آب در تیمارهای مختلف با استفاده از رابطه بیلان حجم محاسبه شد (Payero et al., 2006):

$$L = R + I - ET_a - \Delta S \quad (4)$$

که در آن،

1- BUDGET

3- Irrigation water productivity

2- Crop water productivity

مصرفی طی دو سال اجرای آزمایش مشخص شد که تیمار ۵ نسبت به تیمار ۱ (شاهد)، ۳۱ درصد در مقدار آب مصرفی کاهش دارد؛ در آبیاری قطره‌ای این مقدار به ۵۸ درصد رسید. با استفاده از رطوبت‌های اندازه‌گیری شده در ۴۰ متر اول و سوم تیمارها، یکنواختی توزیع آب محاسبه شد. نتایج حاکی از یکنواختی توزیع ۸۴ درصدی تیمار پنجم در برابر ۷۵ درصدی در تیمار شاهد بود.

جدول ۲ - مقدار آبیاری (میلی‌متر) و دفعات آبیاری تیمارهای مختلف در ماه‌های متفاوت دو سال اجرای آزمایش

سال	ماه	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	تعداد آبیاری
اول	مرداد	۷۱۸	۷۰۱	۶۹۵	۲۹۲	۲۰۴	۱۹۱	۸
	شهریور	۳۸۹	۲۴۵	۴۳۹	۵۲۴	۳۸۸	۲۹۸	۱۱
	مهر	۳۴۰	۲۰۸	۳۱۶	۴۰۷	۳۸۰	۲۱۲	۹
مجموع		۱۴۴۶	۱۱۵۴	۱۴۵۰	۱۲۲۳	۹۷۲	۷۰۰	۲۸
دوم	مرداد	۵۷۵	۶۸۹	۵۷۶	۲۴۷	۲۴۶	۱۳۹	۶
	شهریور	۳۹۵	۲۴۹	۳۹۶	۴۲۳	۳۳۲	۱۹۷	۹
	مهر	۶۲۴	۳۲۱	۶۰۳	۵۹۸	۵۳۶	۲۳۰	۶
مجموع		۱۵۹۵	۱۲۵۹	۱۵۷۶	۱۲۶۹	۱۱۱۴	۵۶۷	۲۱
متوسط دوسال		۱۵۲۰	۱۲۰۶	۱۵۱۳	۱۲۴۶	۱۰۴۳	۶۳۴	۲۵
T1 درصد		۱۰۰	۷۹	۹۹	۸۲	۶۹	۴۲	

عملکرد ماده خشک و دانه ذرت

تیمارهای ۶، ۳، ۱، و تحلیل آماری سال دوم آزمایش برتری تیمارهای ۱، ۳، و ۶ را نشان می‌دهد. تجزیه مرکب دوساله آزمایش نیز بیانگر برتری این سه تیمار است. از نظر ماده خشک تولیدی بین ارقام کشت شده تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. اما رقم Osk602، نسبت به دو رقم دیگر، در شرایط مشابه ماده خشک بیشتری تولید کرده است.

نتایج عملکرد ماده خشک ذرت در دو سال اجرای آزمایش در تیمارهای مختلف آبیاری و مقایسه میانگین‌های سالانه و آنالیز مرکب هر دو سال آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سطح ۵ درصد و با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در جدول ۳ ارائه شده است. تحلیل آماری سال اول اجرای آزمایش، برتری

جدول ۳- مقایسه میانگین ماده خشک ذرت تولیدی (تن در هکتار) تیمارهای متفاوت طی دو سال اجرای آزمایش (سطح آماری ۵ درصد)

سال	تیمارهای آبیاری			تیمارهای ارقام		
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
۱۳۸۶	۱۶/۳ abc	۱۳/۲ c	۱۷/۸ ab	۱۴/۹ bc	۱۵/۱ bc	۱۹/۰ a
۱۳۸۷	۲۱/۸ a	۱۶/۲ b	۲۰/۲ a	۱۸/۸ ab	۱۸/۰ ab	۱۸/۲ ab
متوسط	۱۹/۱ a	۱۴/۷ d	۱۹/۰ a	۱۶/۹ bc	۱۶/۵ cd	۱۸/۶ ab

سال اول اجرای آزمایش، افزایش ناگهانی دمای اواسط شهریور ماه و کاهش رطوبت نسبی حداکثر و حداقل (جدول ۵) باعث ایجاد تنش‌های محیطی (افزایش تقاضای آب در گیاه) شد. بر اساس اطلاعات ارائه شده در انتخاب تیمارها، احتمالاً در تیمارهای آبیاری سطحی که خط

نتایج عملکرد دانه ذرت دو سال اجرای آزمایش در تیمارهای متفاوت آبیاری و مقایسه میانگین‌های سالانه و آنالیز مرکب هر دو سال آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سطح ۵ درصد و با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در جدول ۴ ارائه شده است. در

کشت به جویچه آبیاری نزدیک بوده یا در تیمارهای با رطوبت مناسب تر خاک، تنش کمتری به گیاه وارد شده باشد. این تیمارها به ترتیب عبارتند از: T_6 ، T_3 و T_5 . اما در سال دوم اجرای آزمایش، بدون بروز نوسانات دمایی، تمامی تیمارها به جز تیمار ۲ در یک سطح عملکردی قرار داشتند. نتایج عملکرد ارقام مختلف نشان دهنده ناپایداری نسبی رقم ذرت رایج منطقه (Sc704) در برابر تنش‌های محیطی است.

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه ذرت (تن در هکتار) تیمارهای متفاوت طی دو سال اجرای آزمایش (سطح آماری ۵ درصد)

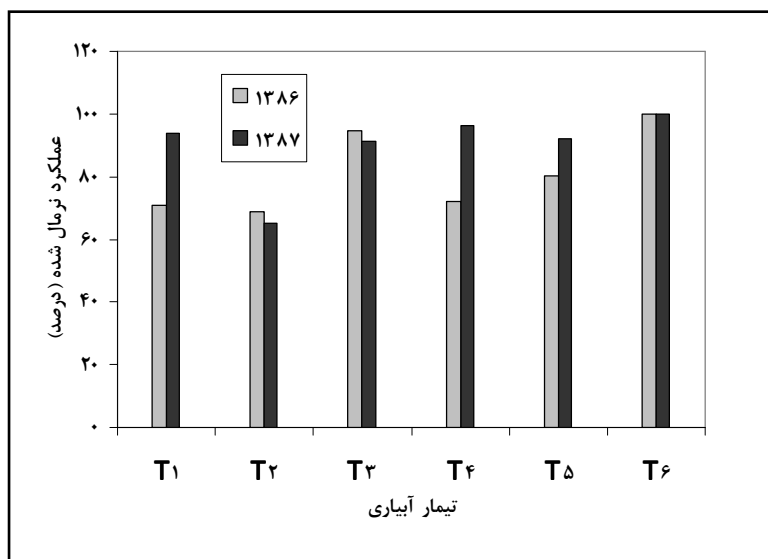
سال	تیمارهای آبیاری								
	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	Ossk602	Bs666	Sc704
۱۳۸۶	۶/۸ c	۶/۶ c	۹/۰ ab	۶/۹ c	۷/۷ bc	۹/۵ a	۸/۲ a	۷/۹ a	۷/۱ b
۱۳۸۷	۸/۱ a	۵/۶ b	۷/۹ a	۸/۳ a	۷/۹ a	۸/۶ a	۷/۸ a	۷/۷ a	۷/۸ a
متوسط	۷/۴ c	۶/۱ d	۸/۴ ab	۷/۶ bc	۷/۸ bc	۹/۱ a	۸/۰ a	۷/۸ a	۷/۴ a

رفتار عملکرد نسبی دو تیمار ۱ و ۴ مشابه همدیگر است. این موضوع می‌تواند ناشی از تشابه مدیریت آبیاری هر دو روش پس از ۴ تا ۶ برگگی شدن ذرت باشد. برتری عملکرد دانه تولیدی در تیمارهای ۶، ۳، و ۵ نسبت به تیمار شاهد منطقه با توجه به نزدیک بودن خطوط کشت با جویچه آبیاری و یکنواختی توزیع آب ۸۵، ۸۶ و ۸۴ درصدی اندازه‌گیری شده، احتمالاً حاکی از استفاده مناسب‌تر گیاه از رطوبت خاک و در نتیجه مواد غذایی خاک است (Lauer, 1994).

متوسط عملکرد دانه طی دو سال اجرای آزمایش، بیانگر برتری تیمارهای ۶، ۳، ۵ و ۴ است. عملکرد نرمال شده تیمارهای مختلف (عملکرد هر تیمار نسبت به عملکرد تیمار ۶) (Y_a/Y_p) در شکل ۱ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که تیمارهای ۲ و ۳ در هر دو سال، پایداری نسبی در عملکرد دانه ذرت تولیدی داشته‌اند با این تفاوت که تیمار ۳ بیشترین و تیمار ۲ کمترین عملکرد نسبی را دارا بودند. در دیگر تیمارها، به رغم تفاوت در عملکرد نسبی موجود، تیمار ۵ کمترین تفاوت را داشت.

جدول ۵- افزایش دما و سرعت باد و کاهش رطوبت حداکثر و حداقل دهه اول و متوسط ماهیانه شهریور ماه دو سال اجرای آزمایش

سال	روز	دما		حداکثر باد		رطوبت (درصد)		میزان تبخیر (میلی‌متر)	
		حداکثر (درجه)	حداقل (درجه)	جهت (درجه)	سرعت (متر/ثانیه)	حداکثر مطلق	حداقل مطلق		
۱۳۸۶	۶	۴۶/۶	۲۶/۶	۰/۰	۲۶۰/۰	۷/۰	۶۳/۰	۱۴/۰	۱۱/۰
	۷	۴۶/۰	۳۱/۲	۰/۰	۳۲۰/۰	۱۵/۰	۳۱/۰	۸/۰	۱۱/۵
	۸	۴۷/۴	۲۹/۴	۰/۰	۳۱۰/۰	۷/۰	۳۳/۰	۱۰/۰	۱۱/۵
	۹	۴۴/۸	۲۱/۵	۰/۰	۲۵۰/۰	۵/۰	۵۴/۰	۱۴/۰	۱۱/۵
	۱۰	۴۶/۰	۲۱/۸	۰/۰	۲۰۰/۰	۶/۰	۶۲/۰	۱۱/۰	۱۱/۳
متوسط ماهیانه		۴۳/۷	۲۳/۸	۰/۰	۲۰۵/۰	۵/۰	۶۴/۲	۱۸/۱	۱۰/۶
۱۳۸۷	متوسط ماهیانه	۴۴/۰	۲۶/۷	۴/۵	۲۴۰/۰	۶/۰	۷۲/۸	۲۸/۵	۸/۴

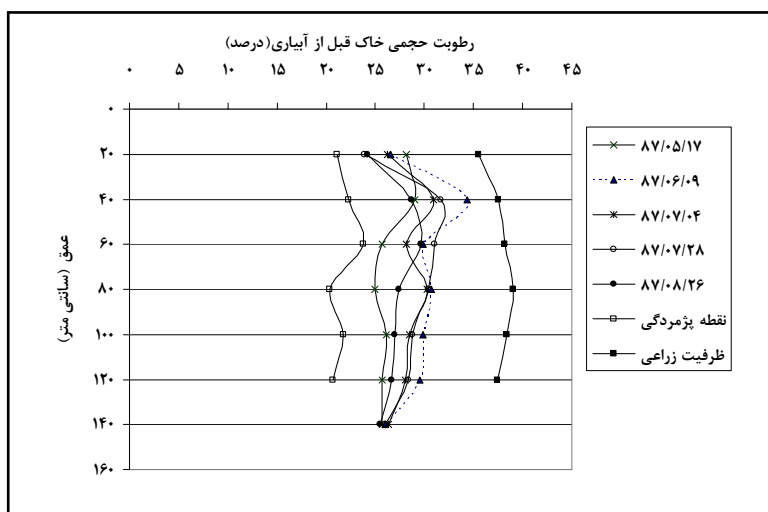


شکل ۱- عملکرد نرمال شده (Y_a/Y_p) تیمارهای متفاوت در دو سال اجرای آزمایش

نتایج ارائه شده در جدول ۶ نشان دهنده تفاوت در میزان تلفات آب تیمارهای مختلف در فصل رشد گیاه است. منفی بودن تلفات آب در تیمار ۶، ناشی از فرضیات محاسباتی است و مفهوم فیزیکی ندارد. به طور متوسط تلفات آب تیمار ۵ معادل ۵۰ درصد تلفات آبیاری تیمارهای ۱ و ۳ بود. در طول فصل رشد، کمترین متوسط آب ذخیره شده دو سال اجرای آزمایش در نیمرخ خاک (ΔS)، در تیمار ۵ نسبت به سایر تیمارها، کمترین بود. تقسیم مقادیر عددی تلفات آب (L) بر تبخیر و تعرق گیاه (ET_c) مبین تأثیر تیمارهای مدیریت زراعی و آبیاری در کاهش مقدار تلفات آب است. در مدیریت آبیاری جویچه‌ای و کشت روی پشته (به ویژه تیمار شاهد)، تلفات آب زیاد بود که این تلفات با افزایش دفعات آبیاری افزایش می‌یابد. تقسیم رواناب خروجی اندازه‌گیری شده بر تلفات آبیاری (dro/L) نشان دهنده جزء تلفات بصورت رواناب است. متوسط مقادیر به دست آمده بیانگر این است که بخش عمده تلفات آبیاری سطحی، به صورت رواناب خروجی از مزرعه و مدیریت آبیاری تیمار ۵ باعث کاهش قابل توجهی در تلفات آبیاری شده است (جدول ۶).

رطوبت خاک و تلفات آبیاری

شکل ۲، تغییرات رطوبت خاک تا عمق ۱/۴ متری تیمار ۶ را در مراحل جوانه زنی، شروع و پایان مرحله میانی، و رسیدگی کامل بلال (برداشت) نشان می‌دهد. در جدول ۶، بیلان آب تیمارهای مختلف دو سال اجرای آزمایش ارائه شده است. کل آب مصرفی (TW) عبارت است از مجموع آب آبیاری، بارندگی و تغییرات رطوبت خاک در ابتدا و انتهای فصل رشد، تبخیر و تعرق گیاه در شرایط بدون تنش (ET_c) براساس بیلان آب آبیاری، رطوبت خاک و بارندگی تیمار ۶ (آبیاری قطره‌ای) و تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ET_a) تیمارهای مختلف با اندازه‌گیری عملکرد دانه و با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شدند. تفاوت ET_a با TW ، ناشی از تلفات آبی است که به صورت رواناب، نفوذ عمقی و دیگر تلفات آبیاری و بارندگی ایجاد شده است. به دلیل نداشتن اطلاعات کامل رطوبت خاک در سال ۱۳۸۶، بیلان رطوبت خاک با در نظر گرفتن اندازه‌گیری‌های رطوبت خاک و تغییرات رطوبت خاک بر اساس اندازه‌گیری‌های سال ۱۳۸۷ به ویژه رطوبت ابتدا و انتهای فصل رشد، تکمیل شد.



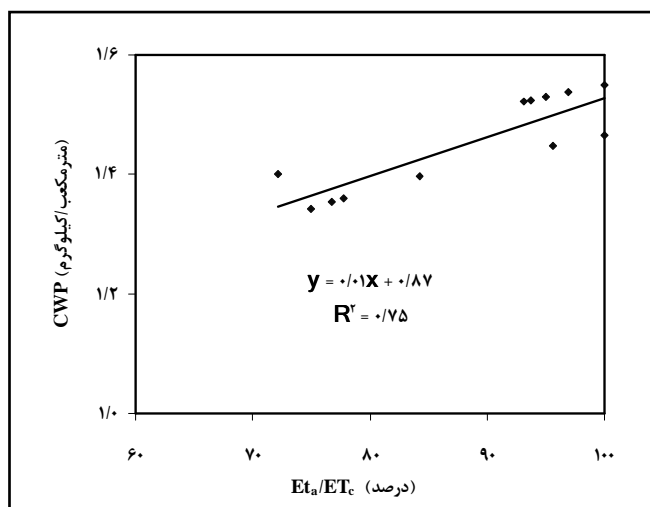
شکل ۲- تغییرات رطوبت خاک قبل از آبیاری در عمق توسعه ریشه گیاه تیمار ۶، طی سال ۱۳۸۷

کارایی مصرف آب گیاه (CWP)

۳ مشاهده می‌شود که کارایی مصرف آب گیاه با نسبت تأمین نیاز آبی آن ET_a/ET_c ، افزایش می‌یابد و در محدوده تنش‌های آبی این آزمایش، شیب خط تابع کارایی مصرف آب گیاه ملایم است و با قبول کاهش حدود ۱۰ درصد کارایی مصرف آب گیاه می‌توان تنش کم‌آبی تا ۲۸ درصد $(ET_a/ET_c, ۷۲ - ۱۰۰)$ را اعمال کرد.

برای افزایش CWP می‌توان از روش‌های پیشرفته کاهش تنش‌های رطوبتی و همچنین افزایش عملکرد (تولید ارقام با توان عملکرد بالاتر) استفاده کرد.

نتایج محاسبات این شاخص در جدول ۶ ارائه شده است. با استفاده از رابطه ۵، متوسط کارایی مصرف آب ذرت دو سال اجرای آزمایش برابر $۱/۴۵$ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب آب مصرفی گیاه به دست آمد که در محدوده مقادیر گزارش شده محققان دیگر است (Kang *et al.*, 2000; Mishra *et al.*, 2001; Zwart & Bastiaansen, 2004). آنالیز واریانس مرکب دو سال آزمایش نشان می‌دهد که بین روش‌های آبیاری و هیبریدهای ذرت، اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. در شکل



شکل ۳- تغییرات ET_a/ET_c و کارایی مصرف آب گیاه ذرت (حداکثر ET_a/ET_c یک است)

کارایی مصرف آب آبیاری (IWP)

نتایج محاسبه کارایی مصرف آب آبیاری تیمارها در جدول ۶ ارائه شده است. کارایی مصرف آب آبیاری با تلفات آب رابطه عکس دارد (شکل ۴). کارایی مصرف آب آبیاری قطره‌ای، به عنوان سامانه آبیاری با بازده بالا، افزایش معنی‌داری (حدود سه برابر) نسبت به روش‌های آبیاری سطحی نشان می‌دهد. آنالیز واریانس مرکب دوسال آزمایش نشان می‌دهد که بین روش‌های آبیاری سطحی در سطح یک درصد، اختلاف معنی‌دار وجود دارد و تیمار کشت کف جوچه (T_5)، نسبت به سایر تیمارها، بالاترین کارایی مصرف آب آبیاری را دارد. اما بین هیبریدهای ذرت اختلاف معنی‌دار دیده نمی‌شود. با این روش کارایی مصرف آب آبیاری نسبت به روش رایج منطقه، ۴۰ تا ۵۱ درصد افزایش می‌یابد.

شکل ۴ تغییرات دو پارامتر کارایی مصرف آب آبیاری و تلفات آبیاری را نسبت به کل عمق آب آبیاری مصرفی نمایش می‌دهد. مشاهده می‌شود که با افزایش کل آب آبیاری، تلفات آب افزایش و کارایی مصرف آب آبیاری کاهش می‌یابد. در شکل ۴ نقاط با بالاترین کارایی مصرف آب آبیاری مربوط به آبیاری قطره‌ای است که کمترین تلفات را دارد به همین دلیل کارایی مصرف آب آبیاری و کارایی مصرف آب گیاه به هم نزدیک شده است. محل برخورد این دو منحنی مشخصات مدیریت آبیاری سطحی را نشان می‌دهد که در آن با در نظر گرفتن متوسط دوسال نیاز آبی معادل ۶۰۳ میلی‌متر، جهت حصول کارایی مصرف آب آبیاری ۰/۶۵ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب آب مصرفی باید متوسط کل بازده آبیاری حدود ۵۲ درصد اعمال کرد تا کل آب مصرفی به ۱۱۵۰۰ متر مکعب در هکتار برسد.

جدول ۶- بیان آب خاک محاسبه شده (میلی‌متر) در تیمارهای آزمایشی طی سال‌های ۷-۱۳۸۶

تیمار	سال	ورودی ^۱	رواناب ^۱	بارندگی ^۱	Δs	TW	ET_c	E_t	L	L/ET_c	dro/L	TW/ ET_c	CWP	IWP
T ₁	۱۳۸۶	۱۴۴۶	۶۹۷	۰	۵۴	۱۴۴۶	۶۵۱	۵۰۰	۸۹۳	۱/۳۷	۰/۷۸	۲/۲۲	۱/۳۵	۰/۴۸
T ₂	۱۳۸۶	۱۱۵۴	۴۸۵	۰	۷۶	۱۱۵۴	۶۵۱	۴۸۸	۵۹۰	۰/۹۱	۰/۸۲	۱/۷۷	۱/۳۴	۰/۵۷
T ₃	۱۳۸۶	۱۴۵۰	۶۰۶	۰	۲۱	۱۴۵۰	۶۵۱	۶۲۲	۸۰۷	۱/۲۴	۰/۷۵	۲/۲۳	۱/۴۵	۰/۶۱
T ₄	۱۳۸۶	۱۲۲۳	۶۸۳	۰	۳۴	۱۲۲۳	۶۵۱	۵۰۶	۶۸۳	۱/۰۵	۱/۰۰	۱/۸۸	۱/۳۶	۰/۵۶
T ₅	۱۳۸۶	۹۷۲	۴۲۷	۰	۰	۹۷۲	۶۵۱	۵۴۸	۴۲۴	۰/۶۵	۱/۰۱	۱/۴۹	۱/۴۰	۰/۷۶
T ₆	۱۳۸۶	۷۰۰	۰	۰	۴۷	۷۰۰	۶۵۱	۶۵۱	۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۸	۱/۴۶	۱/۳۷
T ₁	۱۳۸۷	۱۵۹۵	۶۶۴	۲۹	۸۲	۱۶۲۳	۵۵۶	۵۲۸	۱۰۱۳	۱/۸۲	۰/۶۶	۲/۹۲	۱/۵۳	۰/۵۱
T ₂	۱۳۸۷	۱۲۵۹	۴۷۱	۲۹	۶۱	۱۲۸۷	۵۵۶	۴۰۱	۸۲۶	۱/۴۹	۰/۵۷	۲/۳۲	۱/۴۰	۰/۴۵
T ₃	۱۳۸۷	۱۵۷۶	۸۰۳	۲۹	۷۸	۱۶۰۴	۵۵۶	۵۱۸	۱۰۰۹	۱/۸۱	۰/۸۰	۲/۸۹	۱/۵۲	۰/۵۰
T ₄	۱۳۸۷	۱۲۶۹	۶۰۳	۲۹	۵۱	۱۲۹۸	۵۵۶	۵۳۹	۷۰۸	۱/۲۷	۰/۸۵	۲/۳۳	۱/۵۴	۰/۶۵
T ₅	۱۳۸۷	۱۱۱۴	۵۳۸	۲۹	۱۳	۱۱۴۲	۵۵۶	۵۲۱	۶۰۹	۱/۱۰	۰/۸۸	۲/۰۶	۱/۵۲	۰/۷۱
T ₆	۱۳۷۸	۵۶۷	۰	۲۹	۴۲	۵۹۶	۵۵۶	۵۵۶	-۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۷	۱/۵۵	۱/۵۲

^۱ بر حسب میلی‌متر،

^۲ تفاضل آب قابل دسترس گیاه در مرحله جوانه زنی با مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی (میلی‌متر)،

^۳ کل آب مصرفی (میلی‌متر)،

^۴ تبخیر و تعرق ذرت در شرایط بدون تنش (میلی‌متر)،

^۵ تبخیر و تعرق واقعی ذرت متناسب با عملکرد (میلی‌متر)،

^۶ تلفات آب (میلی‌متر)،

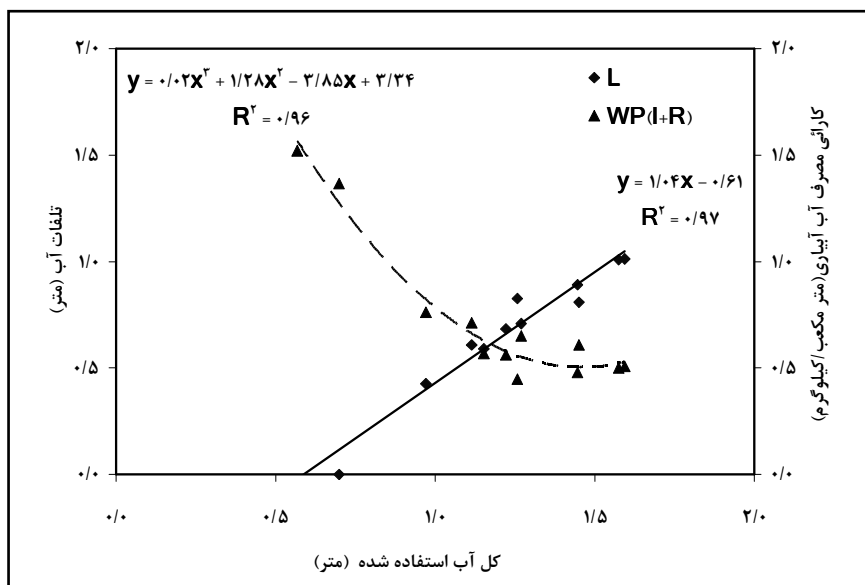
^۷ نسبت تلفات آب به تبخیر و تعرق ذرت در شرایط بدون تنش،

^۸ نسبت رواناب به کل تلفات آب،

^۹ نسبت کل آب مصرفی به تبخیر و تعرق ذرت در شرایط بدون تنش،

^{۱۰} کارایی مصرف آب آبیاری (مترمکعب/کیلوگرم)،

^{۱۱} کارایی مصرف آب گیاه (مترمکعب/کیلوگرم).



شکل ۴- تغییرات تلفات آب آبیاری و کارایی مصرف آب نسبت به کل عمق آب آبیاری تیمارهای متفاوت در دو سال اجرای آزمایش

نتیجه گیری

مورد آزمایش وجود ندارد. اما می توان با اعمال روش مدیریت کشت و آبیاری مطابق تیمار ۵ (T₅)، تا ۳۰ درصد در مصرف آب را کاهش داد می شود. این روش باعث افزایش معنی داری در کارایی مصرف آب آبیاری و کارایی مصرف آب گیاه نسبت به روش رایج (T₁) شد. طبق نتایج به دست آمده، می توان با روش کشت کف جویچه آبیاری با فواصل ۷۵ سانتی متر (با یکنواختی توزیع آب آبیاری ۸۵ درصد)، سطح زیر کشت ذرت دانه ای تابستانه را تا ۳۰ درصد افزایش داد. روش پیشنهادی برای تولید ذرت علوفه ای قابل توصیه نیست زیرا امکان برداشت علوفه کامل ذرت در این روش کاشت مقدور نیست. در محدوده تنش های رطوبتی (ET_a/ET_c) این مطالعه با شرایط محدودیت آب در دسترس و تأمین ۷۵ درصدی آب مورد نیاز گیاه، کارایی مصرف آب گیاه (IWP) حدود ۱/۳ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب آب مصرفی گیاه قابل پیش بینی است.

روش آبیاری جویچه ای یک در میان متغیر قابل توصیه نیست زیرا مصرف آب آبیاری ناشی از ورود آب از جویچه تر به جویچه خشک بالاست. اما استفاده از پشته های عریض (حذف یک جویچه در زمان کشت) قابل بررسی است.

در این مطالعه اثر مدیریت های زراعی و آبیاری بر کاهش تلفات آب آبیاری (رواناب خروجی و نفوذ عمقی) و افزایش کارایی مصرف آب آبیاری سه هیبرید ذرت تابستانه طی دو سال ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ در جنوب غرب ایران (منطقه خشک و نیمه خشک) بررسی شد. در هر دو سال آزمایش، عمق آبیاری تیمار آبیاری قطره ای متناسب با نیاز آبی گیاه اجرا شد و محاسبه موازنه رطوبت خاک این تیمار، به عنوان تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ET_c) منظور شد. این مقدار در دو سال اجرای آزمایش به ترتیب ۶۵۱ و ۵۵۶ میلی متر اندازه گیری و محاسبه شد. روش کاشت و مدیریت آبیاری رایج (T₁) نسبت به سایر تیمارها نیاز به تأمین آب بیشتری دارد تا نیاز آبی گیاه در فصل رشد جبران شود و این موضوع تلفات آب زیادی را نیز به دنبال دارد.

نتایج این تحقیق نشان می دهد که عوامل مدیریتی بر بهینه سازی کارایی مصرف آب مؤثر هستند. بهبود مدیریت آبیاری با حداقل تلفات آب، گام مهم و مؤثر در مصرف بهینه آب، افزایش بازده و کارایی مصرف آب آبیاری، و تولید محصول است. نتایج همچنین مشخص می کند که تفاوت معنی داری بین عملکرد هیبریدهای

عملکرد ماده خشک در روش کشت دو خط در طرفین پشته‌های با فواصل ۷۵ سانتی‌متری (T_3) با عملکرد تیمار شاهد برابر است؛ در این روش عملکرد دانه و کارایی مصرف آب آبیاری بالاتر است. در مقایسه با تیمار ۵، کارایی مصرف آب آبیاری تیمار ۳ کمتر است. استفاده از تراکم‌های کشت بالاتر در این شیوه کشت (T_3) با هدف استفاده از ظرفیت‌های تابش خورشیدی، کاهش پتانسیل علف‌های هرز، و افزایش عملکرد قابل بررسی است. استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای، کاهش تلفات آب و افزایش حدود سه برابر را در کارایی مصرف آب آبیاری (IWP)، در مقایسه با روش آبیاری سطحی، به دنبال دارد.

مراجع

- Agricultural Statistics. 2004. Vol. 1. Agricultural crops, Deputy of Administered and Economic Affairs. Ministry of Jihad e Agriculture. (in Farsi)
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome. Italy.
- Barzegari, M. 2005. Comparison of new Hybrids of maize in on-farm condition. Safiabad Agric. Research Center. Final Research Report. Dezful. Iran (in Farsi)
- Bullock, D.G., Nielsen, R.L., Nyquist, W.E. 1988. A growth analysis comparison of corn growth in conventional and equidistant plant spacing. Crop Sci. 28, 254-258.
- Doorenbos, J. and Kassam, A.H. 1979. Yield Response to Water. Irrigation and Drainage. Paper 33. FAO. Rome. Italy.
- Falkenmark, M. and Rockström, J. 2004. Balancing water for humans and nature: The New Approach in Ecohydrology. Earthscan. London. UK.
- Fapohunda, H.O. 1992. Irrigation frequency and amount for okra and tomato using point source sprinkler system. Sci. Hortic. 49, 25-31.
- Fisher, T.A. and Turner, N.C. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. Plant Physiol. J. 297-317.
- Hamblin, A., Tennant, D. and Perry, M.W. 1990. The cost of stress: dry matter partitioning changes with seasonal supply of water and nitrogen to dry land wheat. Plant and Soil. J. 122, 47-58.
- Hart, W.E. 1979. Design and operation of gravity or surface system. SCS. chapter 13.
- Heydari, N., Eslami, A., Ghadami Firoozabadi, A., Kanooni, A., Esmailasadi, M. and Khajehabdollahi, H. 2005. Determination and evaluation of agricultural water productivity of some major crops in different regions of Iran. AERI Technical Report. Iran. Karaj. (in Farsi)
- Kang, S.Z., Shi, P., Pan, Y.H., Liang, Z.S., Hu, X.T. and Zhang., J. 2000. Soil water distribution, uniformity and water use efficiency under alternate furrow irrigation in arid areas. Irrig. Sci. 19(4): 181-190.
- Keshavarz, A., Ashrafi, M., Heydari, N., Pouran, M. and Farzaneh, E. 2005 Water allocation and pricing in agriculture of Iran. Proceedings of an Iranian-American workshop on Water Conservation, Reuse and Recycling, U.S. National Research Council of the National Academies, The National Academies Press, Washington. D.C.
- Kijne, J.W., Tuong, T.P., Bennett, J., Bouman, B.A.M. and Oweis, T. 2003. Ensuring food security via crop water productivity improvement. In: Background Papers—Challenge Program for Food and Water. CGIAR-IWMI, Colombo, Sri Lanka. 1-42.

- Kipkorir, E.C., Raes, D. and Massawe, B. 2002. Seasonal water production functions and yield response factors for maize and onion in Perkerra, Kenya. *Agric. Water Manage.* 56, 229-240.
- Kramer, P.J. 1988. Measurements of plant water status: historical perspectives and current concerns. *Irrig. Sci.* 9, 275-287.
- Lauer, J. 1994. Should I be planting corn at a 30 inch row spacing? *Wisconsin Crop Manager*, Madison. 1(6): 6-8.
- Mannering, J.V. and Johnson, C.B. 1969. Effect of crop row spacing on erosion and infiltration. *Agron. J. Madison.* 61(6): 902-905.
- Mamanpoush, A., Abbasi, F. and Mousavi, S.F. 2001. Evaluation of water-application efficiency of surface irrigation methods in some farms of Isfahan province. *Agric. Tech. Eng. Res. Mag.* 2(9): 43-58 (in Farsi)
- Martin, J.H., Leonard, W.H. and Stamp, D.L. 1976. Principles of field crop production. Macmillan pub. Inc. New York. U. S. A.
- Mc Lachlan, S.M., Tollenaar, M., Swanton, C.J. and Weise, S.F. 1993. Effect of corn induced shading on dry matter accumulation, distribution and architecture of redroot pigweed. *Weed Science*, Champaign. 41(3):569-573.
- Mishra H.S. Rathore T.R. and Savita, U.S. 2001 Water use efficiency of irrigated winter maize under cool weather conditions of India. *Irrig. Sci.* 21, 27-33.
- Moayeri M. and Kaveh F. 2008. Surface irrigation efficiency in non-consolidation fields of Dez irrigation network. *J. Agric. Eng. Res.* 9(3): 135-152. (in Farsi)
- Moayeri, M. 2008. Management of surface irrigation in maize, effective strategy for increasing area the under cultivation (Case Study in lower land of Karkheh Dam). Proceeding of the 2nd Seminar on Strategies for Improving Surface Irrigation Systems. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. May.22. Karaj. (in Farsi)
- Oweis, T. and Hachum. A.Y. 2006. From water use efficiency to water productivity: Issues of Research and Development. Proceeding of the Expert Consultation Meeting of the water use Efficiency Network. Nov.25-27. ICARDA. Aleppo. Syria.
- Payero J.O., Klocke N.L., Schneekloth J.P. and Davison D.R. 2006. Comparison of irrigation strategies for surface-irrigated corn in West Central Nebraska. *Irrig. Sci.* 24, 257-265.
- Pimentel, D., Berger, B., Filiberto, D., Newton, M., Wolfe, B., Karabinakis, E., Clark, S., Poon, E., Abbett, E. and Nandagopal, S. 2004. Water resources: agricultural and environmental issues. *Bioscience* 54(10): 909-918.
- Porter, P.M. and Hicks, D.R. 1997. Corn response to row width and plant population in the northern corn belt. *J. Prod. Agric.* 10, 239-244.
- Prunty, L. and Montgomery, B.R. 1991. Lysimeter study of nitrogen fertilizer and irrigation rates on quality of recharge water and corn yield. *J. Environ. Qual.* 20, 373-380.
- Raes, D., Geerts, S., Kipkorir, E., Wellens, J. and Sahli, A. 2006. Simulation of yield decline as a result of water stress with robust soil water balance model. *Agric. Water Manag.* 81, 335-357.
- Rijsberman, F.R. 2006. Water scarcity: fact or fiction? *Agric. Water Manag.* 80,5-22.
- Sangoi, L., Ender, M., Guidolin, A.F., Almeida, K.L. and Herberle, P.C. 2001. Influence of row spacing reduction on maize grain yield in regions with a short summer. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasilia.63(6): 861-869.

- Schneekloth, J.P., Klocke, N.L., Hergert, G.W., Martin, D.L. and Clark, R.T. 1991. Crop rotations with full and limited irrigation and dry land management. *Trans ASAE*. 34, 2372-2380.
- Shaheen-zadeh, S., Papan, P. and Radmanesh, F. 2008. Comparison of methods to approach potential evapotranspiration: Penman, Torrence White, Blaney Criddle and Evaporation Pan in the Hoofle area at Southern Khuzestan. 2nd National Conference on Irrigation and Drainage Network Management. Jan. 21. Ahwaz. (in Farsi)
- Steele, D.D., Stegman, E.C. and Knighton, R.E. 2000. Irrigation management for corn in the northern Great plains. *U. S. A. Irrig. Sci.* 19,107-114.
- Stegman, E.C. 1986. Efficient irrigation timing methods for corn production. *Trans. ASAE*. 29,203-210.
- Stone, L.R. 2003. Crop water use requirements and water use efficiencies. In: *Proceedings of the 15th annual central Plains irrigation conference and exposition*. February 4-5, Colby, Kansas, pp. 127-133
- Teasdale, J.R. 1995. Influence of narrow row / high population corn weed control and light transmittance. *Weed Technol. Lawrence*. 9(1): 113-118.
- Westgate, M.E., Forcella, F., Reicosky, D.D. and somsen, J. 1997. Rapid canopy closure for maize production in the northern Uscorn belt: radiation-use efficiency and grain yield. *Field Crops Research*. Amsterdam. 49(2): 249-258.
- Zwart, S.J. and Bastiaansen, W.G.M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton, and maize. *Agric. Water Manag.* 69, 115-133.

Influence of Planting and Irrigation Management Methods on Maize Water Productivity in a Semiarid Region

M. Moayeri^{*}, E. Pazira, H. Siadat, F. Abbasi and F. Kaveh

* Corresponding Author: Academic Member, Agricultural Engineering Research Department, Safiabad Agricultural Research Center, Dezful, Iran. P.O. Box: 333. E-Mail: man_moayeri@yahoo.com

Received: 22 January 2010, Accepted: 10 September 2011

In arid, semiarid, and Mediterranean climates, particularly in West Asia and North Africa, farmers face limited water resources and must develop irrigation management methods to increase crop production while reducing water use. This study examined methods to reduce irrigation water loss and increase maize water productivity at Safiabad Agricultural Research Center in Dezful, Iran in 2007 and 2008. The experiment was a randomized complete block design with a strip-split plot arrangement of treatments in three replications. Planting and irrigation management methods used were: (T₁) planting on 75 cm wide ridges and full irrigation (current method and the control treatment); (T₂) planting on 75 cm wide ridges and variable alternate furrow irrigation; (T₃) double row planting on 75 cm wide ridges and full irrigation; (T₄) single row planting in 75 cm apart furrows and converting furrows to ridges at the 2-4 leaf stage; (T₅) single row planting in 75 cm apart furrows keeping fixed furrows and ridges until the end of the growing period and; (T₆) planting on 75 cm wide ridges using full drip irrigation. The three maize hybrids studied were Osk-602, Bc-666 and Sc-704. Grain yield, biomass, irrigation water consumption, crop water productivity, and irrigation water productivity were recorded for evaluation of the planting and irrigation management methods. The results indicated that there were no significant differences in yield among the maize hybrids. In the control treatment, water loss occurred mainly as runoff. Treatment T₅ resulted in a 31% decrease in irrigation water and higher grain yield over the control treatment. Mean crop water productivity was 1.45 kg/m³. This study showed that effective surface irrigation management methods and furrow planting increases irrigation water productivity (IWP) 45% over the control treatment. In addition, drip irrigation increased IWP three fold, approaching CWP for all the studied maize hybrids.

Keywords: Furrow irrigation, Irrigation management, Maize, Planting pattern, Water productivity