نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 3، جلد 10، مرداد - شهریور 1395، ص. 326-316

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 10, Jul.-Agu. 2016, p. 316-326

بررسی تأثیر برنامه‌ریزی آبیاری بر کارآیی مصرف آب محصول ذرت با استفاده از مدل شبیه‌سازی فصلی آبیاری جویچه‌ای

محبوبه قبادی[1]، حامد ابراهیمیان[2*] و فریبرز عباسی[3]

تاریخ دریافت: 1395/2/5 تاریخ پذیرش: 1395/5/27

چکیده

کارآیی مصرف آب یا مقدار ماده‌ی خشک تولیدی به ازای واحد آب مصرفی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر در برنامه‌ریزی آبیاری است. تعیین دقیق شاخص کارایی مصرف آب با در نظر گرفتن عوامل مختلف به منظور مدیریت بهتر آبیاری نیازمند استفاده از روش‌های علمی و ابزارهای مناسب مانند مدل‌های شبیه‌سازی آبیاری است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر دور آبیاری، دبی ورودی و کم آبیاری بر کارآیی مصرف آب با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی فصلی آبیاری جویچه‌ای و تعیین بهترین شرایط از نظر حداکثر بودن کارآیی مصرف آب است. به منظور تعیین ترکیب مناسب از پارامترهای طراحی مانند دبی ورودی، زمان قطع جریان و دور آبیاری در طی فصل رشد محصول ذرت، مدل واسنجی شده برای دو مزرعه متفاوت در منطقه کرج برای حالت‌های مختلف اجرا شده و کارآیی مصرف آب برای هر حالت تعیین شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار کارآیی مصرف آب در مزرعه پردیس کشاورزی در دور آبیاری 3 روز و کم آبیاری 50 درصد و در مزرعه موسسه تحقیقات در دور آبیاری 5 روز و کم آبیاری 25 درصد اتفاق افتاد. استفاده از مدل شبیه‌سازی فصلی برای برنامه‌ریزی بهینه آبیاری جویچه‌ای به منظور افزایش کارآیی مصرف آب و کاهش تلفات آب پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تلفات آب، تنش خشکی، دبی ورودی، دور آبیاری، کم آبیاری

مقدمه

در اکثر نقاط دنیا، بخش کشاورزی عمده‌ترین مصرف کننده آب در مقایسه با بخش‌های شرب، بهداشت، محیط زیست و صنعت است. به همین دلیل، تلاش برای ارزیابی مصرف آب در بخش کشاورزی بیش‌تر از بخش های دیگر صورت گرفته است و نگرش‌های متفاوتی نیز برای ارزیابی آن ارائه شده است. اولین نگرشی که برای ارزیابی مصرف آب شکل گرفت، کارایی مصرف آب است. برنامه‌ریزی آبیاری عامل مؤثر در کارایی مصرف آب است و از عوامل تعیین کننده کارآیی مصرف آب، عملکرد اقتصادی (عملکرد دانه)، عملکرد بیولوژیک و میزان آب مصرفی است (Ehdaie and Waines., 1993). در یک بررسی، مقادیر کارایی مصرف آب 10 محصول زراعی انتخابی با استفاده از نتایج 67 طرح تحقیقاتی انجام شده طی سال-های 1993 تا 2006 در ایستگاه‌های تحقیقاتی 13 استان کشور تعیین گردید. براساس نتایج این بررسی، متوسط کارایی مصرف آب گندم، جو، برنج، چغندرقند، ذرت، پنبه (بذر)، یونجه، سیب زمینی، گوجه فرنگی و کنجد به ترتیب 1/62، 2/37، 0/42، 0/53، 1/17، 0/61، 0/89، 2/74، 6/77 و 0/11 کیلوگرم بر متر مکعب بود (Montazar and Kosari., 2007). با توجه به خطر کمبود آب امروزه کارایی مصرف آب اهمیت زیادی پیدا نموده است و بر اساس شرایط مصرف آب در کشاورزی در مناطق خشک و در شرایط محدود بودن آب و اراضی قابل کشت (مانند شرایط کشور)، بالابردن تولید به ازاء هر واحد مصرفی آب و استفاده بهینه از منابع محدود آب ضروری است. یکی از راهکارهای بهبود کارآیی مصرف آب، کم آبیاری است. کم آبیاری می تواند به عنوان یکی از روش‌های کارآمد به منظور افزایش بهره وری آب مطرح باشد (Montazar and Kosari., 2007). کم آبیاری عبارت است از مصرف عامدانه و عالمانه کم‌تر آب به منظور افزایش تولید در مجموعه اراضی تحت پوشش و یا به عبارت ساده‌تر می توان گفت کم آبیاری عبارت است از استفاده بیش-تر و بهتر از واحد حجم آب . کریمی کاخکی و سپهری (1388) به

1 - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی ، دانشگاه تهران
2- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
3 - عضو هیات علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (کرج)
(* - نویسنده مسئول: (Email: ebrahimian@ut.ac.ir

منظور بررسی اثر کم آبیاری در مرحله‌ی زایشی بر کارآیی مصرف آب و تحمل خشکی ارقام آفتابگردان، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه بوعلی سینای همدان در سال 1386 انجام دادند و نشان دادند که در مجموع، کم آبیاری در مرحله دانه بندی کم‌ترین اثر منفی را بر عملکرد و شاخص برداشت داشته و از نظر کارآیی مصرف آب نیز مناسب است. یازار و همکاران به بررسی تأثیر راهکارهای خشکی منطقه ریشه (PRD) و کم آبیاری (DI) بر عملکرد و کارآیی مصرف آب محصول ذرت در شرایط آب و هوای مدیترانه‌ای جنوب ترکیه پرداختند و چهار سناریوی کم‌آبیاری (PRD-100، PRD-75، PRD-50 و DI-50) و یک حالت آبیاری کامل (FI) را مورد مطالعه قرار دادند،که بیش‌ترین مقدار کارآیی مصرف آب (WUE) در PRD-100 برابر 1/77 کیلوگرم بر مترمکعب و کم‌ترین آن برابر 1/54 کیلوگرم بر مترمکعب در شرایط آبیاری کامل به دست آمده است (Yazar et al, 2009) . اکبری نودهی (1393) به منظور بررسی تأثیر روش‌های آبیاری جویچه‌ای و کم‌آبیاری بر عملکرد و کارآیی مصرف آب ذرت، طرحی در قالب طرح کرت‌های خرد شده با سه تکرار به مدت دو سال در مرکز تحقیقات کشاورزی مازندران انجام داد. تیمارها شامل سه سطح آبیاری 100، 80 و 60 درصد نیاز آبی به عنوان تیمارهای اصلی و سه تیمار آبیاری یک در میان ثابت، یک در میان متناوب و آبیاری کامل جویچه‌ها به عنوان تیمارهای فرعی بود. بیشترین کارآیی مصرف آب در تیمار 60 درصد نیاز آبی با آبیاری یک در میان ثابت جویچه‌ها و کم‌ترین مقدار کارآیی مصرف آب مربوط به تیمار 100 درصد نیاز آبی با آبیاری کامل جویچه‌ها بود.

تعیین دقیق شاخص کارایی مصرف آب با در نظر گرفتن شرایط مختلف و به منظور مدیریت بهتر آبیاری، نیازمند استفاده از روش‌های علمی و ابزارهای مناسب مانند مدل‌های شبیه‌سازی آبیاری است. یزدی و همکاران (1387) مدلی کامپیوتری برای ارزیابی، طراحی، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد آبیاری جویچه‌ای ارائه کردند که در این مدل بر اساس متغیرهای تصمیم‌گیری متفاوت، طراحی بهینه پارامترهای طراحی در شرایط و محدودیت‌های واقعی طرح ارائه شده است. جورج و همکاران، یک مدل برنامه‌ریزی آبیاری ارائه و ارزیابی کردند که بر پایه یک روش بیلان آب روزانه و داده‌های اقلیمی محصول و خاک است و یک مدل انعطاف‌پذیر و ابزار برنامه‌ریزی آبیاری کاربر پسندی است که برای استفاده مؤثر از آب می‌تواند استفاده شود (Georg et al., 2000). با وجود تحقیقات گسترده در این زمینه، مطالعات محدودی از مدل‌سازی شبیه‌سازی فصلی برای ارزیابی کارآیی مصرف آب آبیاری در شرایط مختلف مدیریت آب در مزرعه استفاده شده است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر دور آبیاری، دبی ورودی و کم آبیاری بر کارآیی مصرف آب با استفاده از یک مدل شبیه سازی فصلی آبیاری جویچه‌ای و تعیین بهترین شرایط از نظر حداکثر بودن کارآیی مصرف آب در دو مزرعه متفاوت واقع در کرج بود.

مواد و روش‌ها

توسعه و واسنجی مدل

در این تحقیق از یک مدل شبیه‌سازی فصلی آبیاری جویچه‌ای ارائه شده توسط قبادی (1394) استفاده شد. این مدل کل فصل آبیاری (تمام واقعه‌های آبیاری) را شبیه‌سازی می‌کند، تغییرات رطوبت در کل فصل و تأثیر آبیاری‌ها بر همدیگر را در نظر می‌گیرد و در نهایت عملکرد محصول و کارآیی مصرف آب را شبیه‌سازی می‌کند. مدل شبیه‌سازی فصلی توسعه داده شده شامل چهار زیربرنامه، برآورد زمان قطع آبیاری (بر اساس معادلات ارائه شده در مدل SIRMOD)، شبیه‌سازی جریان سطحی برای تخمین تلفات رواناب (مدل اینرسی صفر، Abbasi et al., 2003)، شبیه‌سازی جریان زیر سطحی به منظور تخمین تلفات نفوذ عمقی (مدل بیلان آب) است. این مدل هم‌چنین شامل زیر برنامه‌هایی برای اصلاح ضرایب نفوذ با توجه به تغییر دبی (محیط خیس شده جویچه) است که به این منظور، از معادله 1 (National Engineering Handbook., 1983) برای تعیین ضریب اصلاحی استفاده شد.

$$P_f = 0.265\left(\frac{Qn}{\sqrt{S_0}}\right)^{0.4247} + 0.227 \qquad (1)$$

P_f محیط خیس شده اصلاح شده (متر) Q دبی ورودی جویچه (لیتر بر ثانیه)، n ضریب زبری مانینگ برای جویچه و S_0 شیب جویچه یا گرادیان هیدرولیکی (متر بر متر) است. هم‌چنین برای تعیین ضریب تنش کم آبی از رابطه 2 استفاده شد:

$$k_s = \frac{\theta_1 - \theta_{pwp}}{\theta_c - \theta_{pwp}} \qquad (2)$$

θ_c رطوبت بحرانی (درصد حجمی)، θ_{PWP} رطوبت در حالت نقطه پژمردگی و θ_1 رطوبت آبیاری جدید (حجمی) است. سپس با استفاده از رابطه 3 مقدار تبخیر-تعرق واقعی (ET_C) محاسبه شد.

$$ET_c = k_s\, k_c\, ET_0 \qquad (3)$$

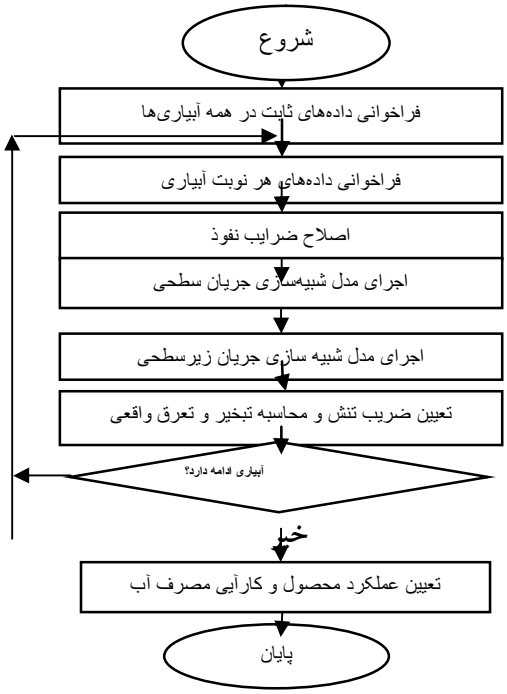
k_c ضریب گیاهی و k_s ضریب تنش خشکی است.

در این مدل، محاسبه زمان قطع جریان با توجه به عمق آب آبیاری مورد نیاز براساس معادلات مدل SIRMOD انجام شده، و برای محاسبه عملکرد محصول از معادله دورنبوس و کاسام (Doorenbs and Kassam., 1979) (رابطه 4) استفاده شده است.

$$1 - (Y_a/Y_m) = K_y(1 - ET_a/ET_c) \qquad (4)$$

K_y فاکتور تناسب بین افت عملکرد نسبی و کاهش نسبی در میزان تبخیر و تعرق، Y_a میزان تولید واقعی (تن بر هکتار)، Y_m میزان تولید حداکثر(تن بر هکتار)، ET_a تبخی- تعرق واقعی و ET_c تبخیر-تعرق پتانسیل (میلی‌متر بر روز) است.

این مدل شامل زیربرنامه‌هایی برای تعیین عمق ریشه در طول فصل (بر اساس روابط ارائه شده در FAO56) و تعیین شاخص‌های ارزیابی (مانند راندمان کاربرد، ضریب یکنواختی کریستیانسن و تلفات نفوذ عمقی و رواناب) است. جزئیات بیش‌تر مدل توسعه داده شده توسط قبادی (1394) ارائه شده است. فلوچارت نحوه اجرای مدل در شکل 1 آورده شده است.



شکل1- فلوچارت نحوه اجرای مدل

واسنجی و ارزیابی مدل شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های ابراهیمیان (1390) و علیزاده (1388) (دو سری داده آبیاری برای فصل رشد گیاه ذرت) انجام شد. داده‌های تحقیق ابراهیمیان (1390) در مزرعه آموزشی و پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج اندازه‌گیری شده بود. بافت خاک تا عمق 20 سانتی لوم رسی از 20 تا 40 سانتی‌متر لوم و تا عمق 60 سانتی-متر لوم شنی بود و در زیر عمق 60 سانتی‌متری خاک یک لایه سنگریزه وجود داشت. طول و فاصله جویچه‌ها به ترتیب 86 و 0/75 متر و شیب طولی و عرضی جویچه به ترتیب 0/0093 و 0/0019 بود. سری دوم داده‌های مورد استفاده، داده‌های تحقیق علیزاده (1388) است. این تحقیق در سال زراعی 1387 در مزرعه 400 هکتاری موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با بافت خاک لومی و عمق 80 سانتی‌متر انجام شده بود. شیب عمومی مزرعه 0/006 متر بر متر، فاصله جویچه‌ها از هم 0/75 متر و طول جویچه‌ها برابر طول قطعه زراعی (165 متر) در نظر گرفته شده بود. واسنجی مدل برای این دو مزرعه با تغییر ضرایب نفوذ به منظور کاهش خطای تخمین حجم آب نفوذ یافته انجام شد. جدول 1 ضرایب نفوذ واسنجی شده و جدول 2 مقادیر خطای نسبی تعیین عملکرد محصول، کارآیی مصرف آب و متوسط حجم آب نفوذ کرده برای دو مزرعه را نشان می‌دهد.

جدول 1- ضرایب نفوذ واسنجی شده در دو مزرعه آزمایشی

مزرعه	شماره آبیاری	a(-)	k (متر مکعب بر متر بر دقیقه به توان a)	f_o (متر مکعب بر متر بر دقیقه)
پردیس	1-6	0/304	0/00178	0/000083
	7-9	0/304	0/00178	0/000113
	10-16	0/294	0/00178	0/000071
موسسه تحقیقات	1-6	0/166	0/000570	0/000071
	7-13	0/274	0/000530	0/000062
	14-15	0/349	0/000390	0/000090

جدول 2- مقادیر خطای نسبی تعیین عملکرد محصول، کارآیی مصرف آب و متوسط خطای برآورد حجم آب نفوذ یافته برای مزارع پردیس و موسسه تحقیقات

مزرعه	عملکرد محصول (درصد)	کارآیی مصرف آب (درصد)	حجم آب نفوذ کرده (درصد)
مزرعه پردیس	5/59	6/70	4/98
مزرعه موسسه تحقیقات	3/00	1/52	10/29

اجرای مدل در حالت‌های مختلف

به منظور تعیین ترکیب مناسب از پارامترهای طراحی مانند دبی ورودی، زمان قطع جریان و دور آبیاری در طی فصل آبیاری، مدل واسنجی شده را برای حالت‌های مختلف اجرا کرده و کارآیی مصرف آب در هر حالت تعیین شد. کارایی مصرف آب (رابطه 5) به معنای مقدار ماده تولید شده به ازای حجم آب مصرفی است.

$$WUE = \frac{Y}{V_w} \quad (5)$$

که در آن WUE کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)، Y مقدار ماده خشک تولید شده (کیلوگرم) و V_w کل حجم آب آبیاری (متر مکعب) است.

برای داده‌های ابراهیمیان (1390)، برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از چهار دبی 0/22، 0/32، 0/48 و 0/64 لیتر بر ثانیه (نسبتی از مقدار حداکثر دبی بدست آمده از رابطه 6)، چهار دور آبیاری 3، 5، 7 و 10 روز و نهایتاً اعمال کم آبیاری صفر، 10، 25 و 50 درصد در انتهای جویچه انجام شد. در مجموع 64 حالت مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین این حالت‌ها برای دو طول 86 و 150 متر نیز به صورت جداگانه، به منظور بررسی تأثیر طول بر کارآیی مصرف آب اجرا شد. برای داده‌های علیزاده (1388)، 64 حالت با استفاده از چهار دبی 0/3، 0/4، 0/5 و 0/6 لیتر بر ثانیه، چهار دور 3، 5، 7 و 10 روز و کم آبیاری 0، 10 ، 25 و 50 درصد در انتها مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. برای انتخاب دبی مقداری از محدوده بین حداقل و حداکثر دبی استفاده شد که حداکثر دبی از رابطه 6 تعیین شد (Booher., 1976).

$$Q_{max} = {}^{0.6}/_{S} \quad (6)$$

که در آن S شیب جویچه بر حسب درصد و دبی بر حسب لیتر بر ثانیه است. حداقل دبی برای هر مزرعه با توجه به امکان پیشروی آب در طول جویچه و امکان اجرای مدل توسط این دبی انتخاب شد.

نتایج و بحث

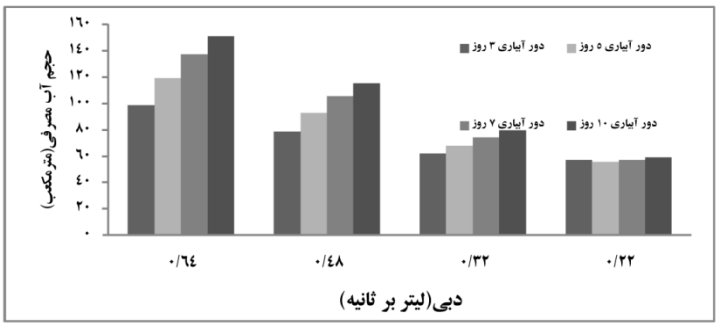
کارآیی مصرف آب در مزرعه پردیس

جدول 3 مقادیر کارآیی مصرف آب را به ازای حالت‌های مختلف در مزرعه پردیس نشان می‌دهد. در یک دور آبیاری ثابت و شرایط کم آبیاری یکسان، با کاهش دبی ورودی، کارآیی مصرف آب افزایش داشت. زیرا با کاهش دبی میزان تلفات رواناب کم شده در نتیجه حجم آب به کار رفته در آبیاری کم‌تر شده و با بزرگ‌تر شدن مخرج رابطه کارآیی مصرف آب، مقدار آن کم‌تر شد. هم‌چنین در یک دبی و دور آبیاری مشخص، با اعمال درصد بیش‌تر کم‌آبیاری، مقدار کارآیی مصرف آب افزایش داشت، چون میزان تلفات نفوذ عمقی کم‌تر شده و نیاز به حجم آب کم‌تری داشت. در یک دبی ثابت و شرایط یکسان از نظر کم آبیاری، کارآیی مصرف آب با کاهش دور آبیاری، افزایش داشت زیرا با توجه به بافت خاک که نسبتاً سنگین بود، عمده تلفات، رواناب بوده و در دورهای آبیاری زیاد که حجم آب زیادتری در هر آبیاری باید به کار برده شود مسلماً مقدار تلفات رواناب خیلی بیش‌تر است و نیاز به حجم آب آبیاری بیش‌تری است در نتیجه در دورهای آبیاری زیاد مقدار کارآیی مصرف آب کم‌تر بود. همان‌گونه که وظیفه-دوست و همکاران (1387) در تحقیق خود نشان دادند که کاهش دور آبیاری و کم‌آبیاری به میزان چشمگیری کارآیی مصرف آب را افزایش می‌دهد. محدوده تغییرات WUE در اینجا برای شرایط آبیاری کامل بین 0/64 تا 1/89 کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد و (بیش‌ترین مقدار کارآیی مصرف آب در دبی 0/22 لیتر بر ثانیه، کم آبیاری 50 درصد و دور آبیاری 3 روز اتفاق افتاد که در این حالت بیش‌ترین راندمان آبیاری وجود داشت) و مجموع تلفات رواناب و نفوذ عمقی آن حداقل بود. به علت کم‌تر بودن تلفات، حجم آب مصرفی حداقل بود در حالی که عملکرد کاهش چندانی نداشت. باسینگر و هلمن مطرح کردند که کم‌آبیاری تنظیم شده کارآیی مصرف آب را تا 72% افزایش می‌دهد ولی در کاهش مقدار محصول تأثیر کمی داشت (Basinger and Hellman., 2006). مجیدیان و همکاران (1387) بیش‌ترین کارآیی مصرف آب ذرت را در تیمار تنش رطوبتی شدید (آبیاری با 50 درصد نیاز آبی گیاه)، به مقدار 1/176 کیلوگرم دانه به ازای هر مترمکعب آب به دست آوردند. مقادیر WUE برای ذرت علوفه‌ای در منطقه برخوار برای دو مزرعه متفاوت، 1/39 و 2/12 کیلوگرم بر مترمکعب (وظیفه دوست وهمکاران، 1387)، در تحقیق ابراهیمیان و همکاران (1390)، 1/614 کیلوگرم بر مترمکعب در منطقه کرج و در تحقیق نجیب نیا و همکاران (1393) برای محصول ذرت و در حالت تک کشتی 1/5 کیلوگرم بر مترمکعب در منطقه مشهد به دست آمده بود.

جدول 3- تأثیر دور آبیاری، دبی و درصد کم‌آبیاری بر کارآیی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) در مزرعه پردیس

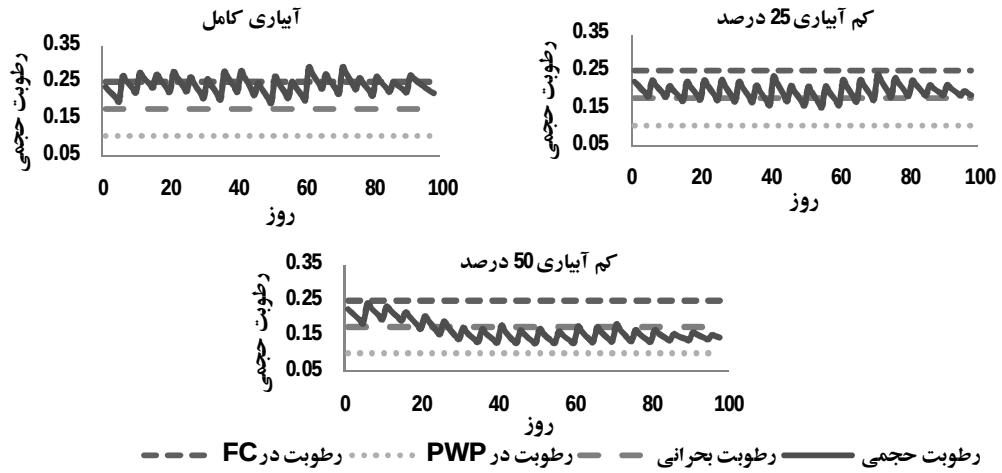
دور آبیاری(روز)	دبی(لیتر بر ثانیه)	درصد کم‌آبیاری			
		0	10	25	50
3	0/64	0/95	1/09	1/37	1/68
	0/48	1/22	1/39	1/79	2/13
	0/32	1/63	1/82	2/29	2/73
	0/22	1/89	2/08	2/47	3/18
5	0/64	0/81	0/92	1/05	1/15
	0/48	1/04	1/19	1/48	1/55
	0/32	1/47	1/67	2/09	2/28
	0/22	1/88	2/10	2/54	3/03
7	0/64	0/71	0/81	0/96	0/99
	0/48	0/93	1/05	1/30	1/40
	0/32	1/35	1/53	1/88	1/99
	0/22	1/81	2/03	2/45	2/77
10	0/64	0/64	0/70	0/82	0/79
	0/48	0/85	0/94	1/09	1/17
	0/32	1/26	1/39	1/61	1/82
	0/22	1/73	1/89	2/17	2/52

شکل 2 حجم آب مصرفی در دبی‌های مختلف و دورهای آبیاری متفاوت برای هر جویچه را نشان می‌دهد که در دبی 0/64 لیتر بر ثانیه بین حجم آب مصرفی دورهای آبیاری تفاوت زیادی وجود داشت. بیش‌ترین مقدار حجم آب مربوط به دور آبیاری 10 روز بود که درصد تلفات رواناب بالایی داشت و با کاهش دبی به علت کاهش مقدار تلفات، حجم آب مصرفی کم شد. نتایج نشان داد که هر چه دبی ورودی، بیش‌تر باشد باید دور آبیاری را کاهش داد. در دبی 0/22 لیتر بر ثانیه که پتانسیل تلفات رواناب آن کم‌تر است در دورهای آبیاری مختلف حجم آب مصرفی تقریباً نزدیک به هم بود و از آنجایی که کم‌ترین حجم آب مصرفی با وجود عدم کاهش چشمگیر عملکرد محصول مربوط به دبی 0/22 لیتر بر ثانیه و دور آبیاری 3 روز بود، بیش‌ترین مقدار کارآیی مصرف آب نیز در این حالت بدست آمد. در دبی‌های کم، حجم آب مصرفی در تمام دورهای آبیاری نزدیک به هم بود زیرا تلفات رواناب در دبی‌های کم به مراتب کم‌تر از دبی‌های زیاد بود. به دلیل شیب زیاد مزرعه، سنگین بودن بافت خاک و طول نسبتاً کوتاه جویچه، پتانسیل مزرعه برای تلفات رواناب خیلی بالا بود.

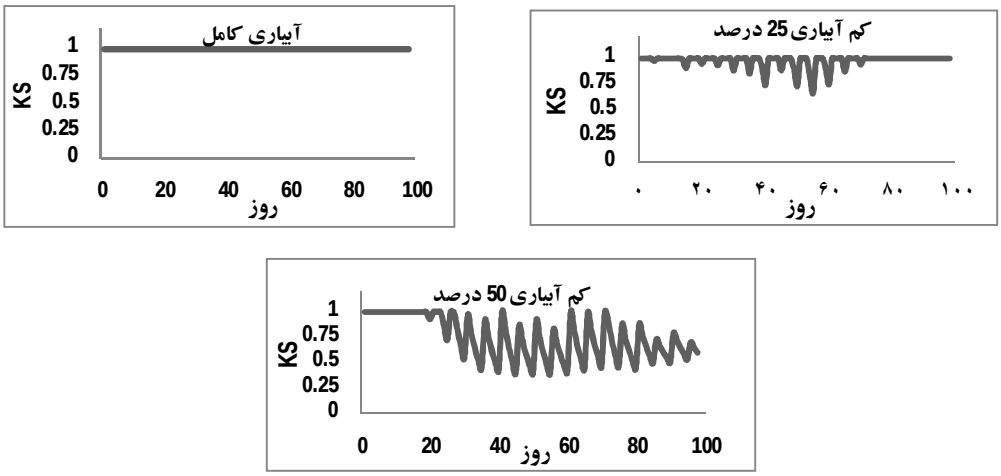


شکل2- تأثیر دبی و دور آبیاری بر مقدار حجم آب مصرفی (مزرعه پردیس)

شکل‌های 3 و 4 تغییرات مقدارهای شبیه‌سازی شده رطوبت خاک منطقه ریشه (به عمق 60 سانتی‌متر در زیر گیاه) و ضریب تنش خشکی در طی فصل را نشان می‌دهد. به عنوان نمونه برای حالت دبی 0/64 لیتر بر ثانیه و دور آبیاری 5 روز و کم آبیاری‌های مختلف آورده شده است که تغییرات رطوبت در طول فصل نشان می‌دهد که در آبیاری کامل مقدار رطوبت بیش‌تر از حد بحرانی بوده اما با اعمال کم آبیاری در بعضی از روزها مقدار رطوبت از حد بحرانی پایین‌تر آمده و تنش وارد شده است. از آنجایی که در کم آبیاری 25 درصد، مقدار کمی تنش وارد شده است عملکرد کاهش چندانی نداشت.



شکل3- تغییرات رطوبت خاک در طول فصل برای دبی 0/64 لیتر بر ثانیه، دور آبیاری5 روز و کم آبیاری‌های متفاوت در مزرعه پردیس



شکل 4- تغییرات متوسط ضریب تنش خشکی در طول فصل برای دبی 0/64 لیتر بر ثانیه و دور آبیاری 5 روز و کم آبیاری‌های متفاوت در مزرعه پردیس

کارآیی مصرف آب برای مزرعه پردیس با طول 150 متر

جدول 4 کارآیی مصرف آب برای طول 150 متر را نشان می‌دهد که مقدار این شاخص در تمامی 64 حالت نسبت به طول 86 متر افزایش داشت. اما برای دبی‌های بیش‌تر مانند دبی 0/64 لیتر بر ثانیه و دورهای بیش‌تر مانند دور آبیاری 10 روز مقدار افزایش کارآیی مصرف آب بیش‌تر از حالت‌های دیگر بود که این امر به این دلیل بود که با افزایش طول، تلفات رواناب کاهش داشت. در حالت‌هایی مانند دبی‌های زیاد و دورهای آبیاری زیاد، که عمده تلفات آن به صورت رواناب است میزان تلفات کاهش زیادی داشت و حجم آب مورد نیاز کاهش پیدا کرد و کارآیی به مقدار بیش‌تری نسبت به حالاتی که تلفات رواناب کم‌تر بود افزایش داشت. این شرایط هم‌چنین در رابطه با راندمان آبیاری نیز صدق می‌کند. در جویچه با طول 150 متر و از بین 48 حالت تعیین شده، بیش‌ترین میزان کارآیی مصرف آب در دور آبیاری 7 روز، دبی 0/32 لیتر بر ثانیه و کم آبیاری 50 درصد بود، در دبی 0/64 و 0/48 لیتر بر ثانیه، در شرایط آبیاری کامل، کم آبیاری 10 و 25 درصد بیش‌ترین میزان کارآیی مصرف آب در دور آبیاری 3 روز بود زیرا تلفات رواناب و نفوذ عمقی در این حالت‌ها کم‌ترین بود. اما در دبی 0/32 لیتر بر ثانیه که تلفات نفوذ عمقی زیاد بود بهترین حالت کارآیی مصرف آب در دور آبیاری 7 روز و کم آبیاری 50 درصد اتفاق افتاد که تلفات نفوذ عمقی کم‌تری داشت.

جدول 4- تأثیر دور آبیاری، دبی و درصد کم‌آبیاری بر کارآیی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) در طول جویچه 150 متر

دور آبیاری (روز)	دبی(لیتر بر ثانیه)	درصد کم‌آبیاری			
		0	10	25	50
3	0/64	1/50	1/73	2/21	2/58
	0/48	1/78	2/01	2/45	2/89
	0/32	1/81	1/94	2/17	-*
5	0/64	1/35	1/55	1/91	2/02
	0/48	1/68	1/90	2/32	2/69
	0/32	1/99	2/18	2/53	3/07
7	0/64	1/27	1/39	1/71	1/82
	0/48	1/56	1/77	2/15	2/42
	0/32	2/02	2/24	2/64	3/16
10	0/64	1/13	1/24	1/45	1/61
	0/48	1/45	1/61	1/85	2/07
	0/32	1/97	2/15	2/42	2/85

*اجرا نشدن مدل به دلیل عمق آب کم (در دبی و دور آبیاری کم)

کارآیی مصرف آب در مزرعه موسسه تحقیقات

جدول 5 کارآیی مصرف آب را برای همه حالت‌ها در مزرعه موسسه تحقیقات نشان می‌دهد که محدوده آن از 0/75 تا 2/06 کیلوگرم بر متر مکعب است. در یک دور آبیاری ثابت و شرایط کم آبیاری یکسان، با کاهش دبی مقدار کارآیی مصرف آب به علت کاهش تلفات رواناب بیش‌تر شد. بیش‌ترین مقدار کارآیی مصرف آب در دبی 0/3 لیتر بر ثانیه، دور آبیاری 5 روز و کم آبیاری 25 درصد در انتها اتفاق افتاد. با توجه به بافت خاک، در این حالت مجموع تلفات نفوذ عمقی و رواناب حداقل بود و حجم آب مصرفی مورد نیاز کم بود در حالی که عملکرد به علت یکنواختی توزیع بهتر کاهش چندانی نداشت. در دور آبیاری 10 و 7 روز مقدار تلفات رواناب و در دور آبیاری 3 روز مقدار تلفات نفوذ عمقی زیاد بود ولی در دور آبیاری 5 روز مجموع این دو تلفات کم‌ترین شد در نتیجه حجم آب کم‌تری نیاز داشت. در کم آبیاری 25 درصد، تنش کمی به گیاه وارد شد و عملکرد آن کاهش چندانی نداشت و کارآیی مصرف آب به حداکثر مقدار رسید. کاهش کارآیی مصرف آب در کم آبیاری 50 درصد، به خاطر کاهش زیاد محصول به دلیل تنش بالای وارد شده بود. محدوده کارآیی مصرف آب در آبیاری کامل در این مزرعه بین 0/75 تا 1/58 کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد که متوسط کارآیی مصرف آب در شرایط آبیاری کامل برای ذرت علوفه‌ای و در منطقه کرج در تحقیق علیزاده و همکاران (1388)، 1/32 کیلوگرم بر متر مکعب، در تحقیق رفیعی و شاکرمی (Rafiee and Shakarami., 2010)، در منطقه خرم آباد 1/91 کیلوگرم دانه به ازای هر متر مکعب آب مصرفی و در تحقیق معیری و همکاران (Moayeri et al., 2011)، در منطقه دزفول، به طور متوسط 1/45 کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب مصرفی به دست آمده بود.

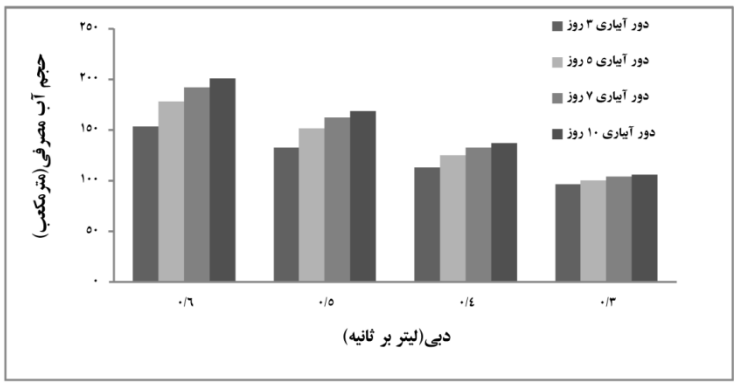
شکل 5 حجم آب مصرفی به ازای دورهای آبیاری مختلف و دبی‌های متفاوت در شرایط 25 درصد کم آبیاری را برای هر جویچه نشان می‌دهد. با کاهش دور آبیاری و کاهش دبی، به علت کاهش تلفات، حجم آب مصرفی کاهش داشت. از آنجایی که دور آبیاری 5 روز و دبی 0/3 لیتر بر ثانیه تقریباً کم‌ترین حجم آب مصرفی و حداکثر عملکرد را دارد، بیش‌ترین مقدار کارآیی مصرف آب در این حالت اتفاق افتاد. در دبی 0/3 لیتر بر ثانیه حجم آب مصرفی در دورهای آبیاری متفاوت به علت کم‌تر بودن تلفات رواناب به هم نزدیک‌تر شد. با افزایش دبی و افزایش پتانسیل رواناب، اختلاف بین حجم آب مصرفی در دورهای متفاوت بیش‌تر شد. شکل‌های 6 و 7 نیز تغییرات رطوبت و ضریب تنش در مزرعه دوم و برای دور آبیاری 5 روز و دبی 0/6 لیتر بر ثانیه نشان می‌دهد که در شرایط مزرعه مذکور در مقایسه با مزرعه پردیس، تنش وارده با اعمال کم آبیاری به خاطر تلفات زیاد نفوذ عمقی بیش‌تر است.

نتیجه گیری

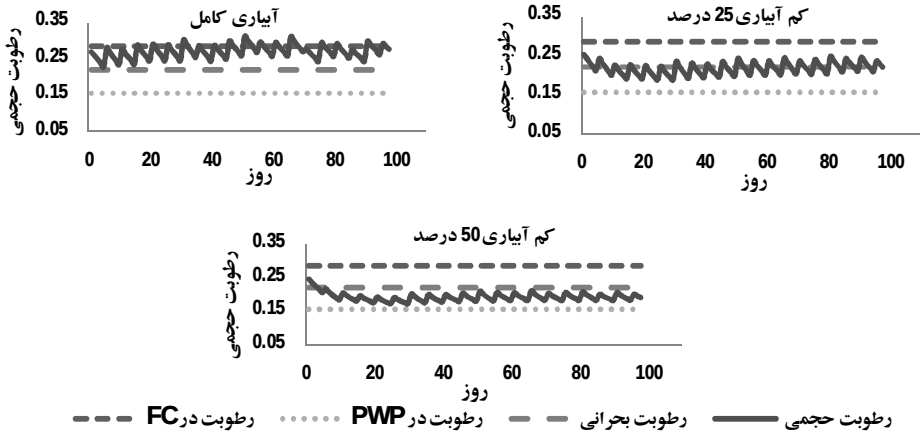
در این پژوهش به بررسی تأثیر دور آبیاری، دبی ورودی و کم آبیاری بر کارآیی مصرف آب با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی فصلی آبیاری جویچه‌ای و تعیین بهترین شرایط از نظر حداکثر بودن کارآیی مصرف آب پرداخته شد. به این منظور، مدل واسنجی شده برای دو مزرعه متفاوت در منطقه کرج برای حالت‌های مختلف (ترکیبی از پارامترهای طراحی مانند دبی ورودی، زمان قطع جریان و دور آبیاری) اجرا شد.

جدول 5- تأثیر دور آبیاری، دبی و درصد کم‌آبیاری بر کارآیی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) در مزرعه موسسه تحقیقات

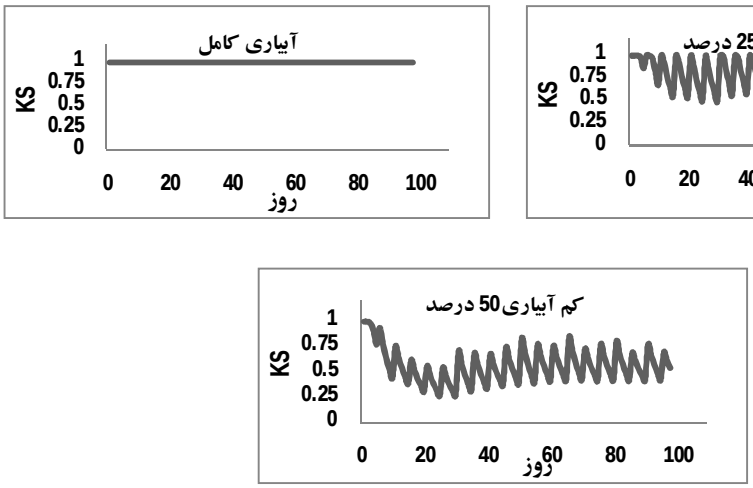
دور آبیاری (روز)	دبی(لیتر بر ثانیه)	درصد کم‌آبیاری			
		0	10	25	50
3	0/6	0/91	1/01	1/00	0/84
	0/5	1/06	1/15	1/11	0/96
	0/4	1/29	1/41	1/41	1/31
	0/3	1/58	1/77	1/99	1/76
5	0/6	0/83	0/93	1/01	0/86
	0/5	0/98	1/09	1/20	0/95
	0/4	1/20	1/34	1/51	1/24
	0/3	1/52	1/70	2/06	1/73
7	0/6	0/78	0/88	0/97	0/85
	0/5	0/93	1/04	1/22	1/01
	0/4	1/14	1/28	1/48	1/31
	0/3	1/47	1/64	1/94	1/79
10	0/6	0/75	0/82	0/91	0/81
	0/5	0/90	1/01	1/14	1/09
	0/4	1/11	1/23	1/42	1/37
	0/3	1/44	1/60	1/86	1/82



شکل 5- تأثیر دبی و دور آبیاری بر مقدار حجم آب مصرفی(مزرعه موسسه تحقیقات)



شکل 6- تغییرات رطوبت در طول فصل برای دبی 0/6 لیتر بر ثانیه، دور آبیاری5 روز و کم آبیاری های متفاوت در مزرعه موسسه تحقیقات



شکل 7- تغییرات متوسط ضریب تنش در طول فصل برای دبی0/6لیتر بر ثانیه و دور آبیاری 5 روز و کم آبیاری های متفاوت در مزرعه موسسه تحقیقات

نتایج نشان دادد که بیش‌ترین مقدار کارآیی مصرف آب در مزرعه پردیس در دور آبیاری 3 روز و کم آبیاری 50 درصد در انتهای جویچه اتفاق افتاد. زیرا در این مزرعه با توجه به بافت خاک که نسبتاً سنگین بود و هم‌چنین طول جویچه کوتاه‌تر پتانسیل رواناب بالا بود و در دورهای آبیاری زیاد و دبی‌های زیاد مقدار تلفات و حجم آب به کار برده شده زیاد شد و مقدار کارآیی مصرف آب کاهش پیدا می‌کرد. اما در مزرعه موسسه تحقیقات که پتانسیل تلفات نفوذ عمقی بیش‌تری نسبت به تلفات رواناب داشت حداکثر مقدار کارآیی مصرف آب در دور آبیاری 5 روز و کم آبیاری 25 درصد در انتها اتفاق افتاد، زیرا در این شرایط حجم آب مصرفی کم شده در حالی که عملکرد محصول کاهش چندانی نداشت. نتایج این تحقیق نشان داد که از مدل شبیه‌سازی فصلی می‌توان برای برنامه‌ریزی بهینه آبیاری جویچه‌ای در طول فصل رشد محصول استفاده نمود. هم‌چنین استفاده از این مدل در بررسی تأثیر عوامل مختلف طراحی آبیاری بر شاخص‌های مهم مانند کارآیی مصرف آب آبیاری، عملکرد محصول و تنش خشکی پیشنهاد می‌شود.

منابع

ابراهیمیان،ح. 1390. شبیه‌سازی و بهینه‌سازی کود آبیاری در آبیاری جویچه‌ای یک در میان به منظور کاهش آلودگی نیترات. رساله دکتری آبیاری و زهکشی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

ابراهیمیان،ح.، لیاقت،ع.، پارسی نژاد،م.، عباسی،ف و نوابیان،م. 1390. بررسی تلفات آب و نیترات و کارآیی مصرف آب در کود آبیاری جویچه‌ای یک در میان. مجله پژوهش آب در کشاورزی. شماره 1، 30-21.

اکبری نودهی،د. 1393. تأثیر روش‌های آبیاری جویچه‌ای و کم آبیاری بر عملکرد و کارآیی مصرف آب ذرت علوفه ای در مازندران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. 18. 70 : 254-245.

علیزاده،ح. 1388. بررسی اثر کودآبیاری جویچه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای. تز کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، گروه آبیاری و آبادانی.

علیزاده،ح.، لیاقت،ع و عباسی،ف. 1388. بررسی اثر کود آبیاری جویچه‌ای بر کارآیی مصرف کود و آب، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 23. 4: 137-147.

قبادی،م. 1394. ارائه مدل فصلی آبیاری جویچه‌ای به منظور ارتقای کارآیی مصرف آب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

کریمی کاخکی،م و سپهری،ع. 1388. اثر کم آبیاری در دوره زایشی بر کارآیی مصرف آب و تحمل خشکی ارقام جدید آفتابگردان. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. 13. 50 : 175-163.

مجیدیان،م.، قلاوند،ا.، کریمیان،ن.ع.، کامکار حقیقی،ع.ا .1387 . تأثیر تنش رطوبت، کود شیمیایی نیتروژنه، کود دامی و تلفیقی از کود نیتروژن و کود دامی بر عملکرد، اجزاء عملکرد و راندمان استفاده از آب ذرت سینگل کراس 704 . مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی 45 .12 : 432-417

نجیب‌نیا،س.، کوچکی،ع.، نصیری محلاتی،م.، پرسا،ح. 1393. مقایسه راندمان جذب، مصرف و بهره‌وری آب در سیستم‌های تک کشتی و چندکشتی کلزا (Brassica napus L.)، لوبیا (Phaseolus vulgaris L.) و ذرت (Zea mays L.). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. 12 ، 2 :153-163.

وظیفه دوست،م.، علیزاده،ا.، کمالی،غ.، فیضی،م. 1387. افزایش بهره‌وری آب کشاورزی در مزارع تحت آبیاری منطقه برخوار اصفهان. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 22. 2: 484-495.

یزدی،ا.، محسنی موحد،ا و حیدری،م. 1387. تهیه مدلی جهت ارزیابی، طراحی شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد آبیاری جویچه‌ای .دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی. کرج. 121-158.

Abbasi,F., Shooshtari,M.M., Feyen,J. 2003. Evaluation of various surface irrigation numerical simulation models. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 129.3: 208-213.

Basinger,A.R., Hellman,E.W. 2006. Evaluation of regulated deficit irrigation on grape in Texas and implications for acclimation and cold hardiness. International Journal of Fruit Science. 6.2:3-22.

Booher,L J. 1976. Surface irrigation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Doorenbos,J., Kassam,A.H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation. and Drainage. Paper No. 33, FAO, Rome, Italy. 193 pp.

Ehdaie,B., Waines,J.G. 1993. Variation in water-use efficiency and its components in wheat: I. Well watered pot experiment. Crop Science. 33: 294–299

George,B.A., Shende,S.A., Raghuwanshi,N.S. 2000. Development and testing of an irrigation scheduling model. Agricultural water management. 46.2: 121-136.

Moayeri,M., Pazira,E., Siadat,H., Abbasi,F., Kaveh F. 2011. Influence of planting and irrigation management methods on maize water productivity improvement in a semiarid region. World Applied Sciences Journal. 13.5:1218- 1228.

Montazar,A and Kosari,H. 2007. Water productivity analysis of some irrigated crops in Iran. Proceeding of the International Conference of Water Saving in Mediterranean Agriculture and Future Needs. Valenzano (Italy). Series B. 56.1: 109-120.

Rafiee,M., Shakarami,Gh. 2010. Water use efficiency of corn as affected by every other furrow irrigation and planting density. World Applied. Sciences Journal. 11.7:826-829.

United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, National Engineering Handbook. 1983.

Yazar,A., Gökçel,F., Sezen,M.S. 2009. Corn yield response to partial rootzone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. Plant Soil Environment. 55.11: 494-503.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 10, Jul.-Agu. 2016, p. 316-326

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 3، جلد 10، مرداد - شهریور 1395، ص. 326-316

Effect of Irrigation Scheduling on Water Use Efficiency of Maize Using a Furrow Seasonal Simulation Model

M. Ghobadi[1], H. Ebrahimian[2*], F. Abbasi[3]

Recived: Apr.24, 2016 Accepted: Aug.17, 2016

Abstract

Water use efficiency or the amount of dry matter production per unit of consumed water is one of the most important indices in irrigation scheduling. Accurate determination of water use efficiency, with taking into account various factors to better irrigation management requires the use of scientific methods and tools such as simulation model of irrigation. The aim of this study was to evaluate the effect of irrigation frequency, inflow rate and deficit irrigation on water use efficiency by using a seasonal simulation model to determine the best conditions to maximize water use efficiency. In order to determine the appropriate combination of design parameters such as inflow rate, cutoff time and irrigation frequency during the maize growing season, calibrated model for two different fields located in Karaj was run for different conditions and water use efficiency for each case was determined. The results showed that the highest water use efficiency for the college farm was happened in 3-day irrigation frequency and 50 percent deficit irrigation and for the Institute farm, the best condition was in 5-day irrigation frequency and 25 percent deficit irrigation. Using seasonal simulation models for furrow irrigation scheduling to increase water use efficiency and reduce water loss is recommended.

Keywords: Deficit irrigation, Drought stress, Irrigation frequency, Inflow rate, Water loss

1- Graduate student of Irrigation and Drainage, Department of Irrigation and Reclamation Eng., College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
2- Assistant professor, Department of Irrigation and Reclamation Eng., College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
3 -Professor at Agricultural Engineering Research Institute, Karaj
(*-Corresponding Author E-mail: ebrahimian@ut.ac.ir)