

## ارزیابی مزرعه‌ای و تحلیل سیستم آبیاری سطحی با WinSRFR (مطالعه موردی آبیاری جویچه‌ای)

زهرا تقی‌زاده<sup>۱</sup> - وحید رضا وردی‌نژاد<sup>۲\*</sup> - حامد ابراهیمیان<sup>۳</sup> - ندا خان محمدی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۷/۲

### چکیده

مساله اصلی روش‌های آبیاری سطحی پایین بودن بازده آب آبیاری است که عمدتاً از ضعف مدیریت و طراحی نامناسب ناشی می‌شود. در این تحقیق به منظور ارزیابی و تحلیل عملکرد سیستم آبیاری جویچه‌ای، آزمایش مزرعه‌ای تحت کشت محصول ذرت علوفه‌ای انجام گرفت. برای بدست آوردن داده‌های صحرائی، سه روش آبیاری جویچه‌ای شامل آبیاری معمولی، یک در میان ثابت و یک در میان متغیر در نظر گرفته شد و جمعاً نه ارزیابی انجام و اکثر پارامترهای آب و خاک برای این منظور برداشت گردید. مدل آبیاری سطحی WinSRFR با استفاده از اطلاعات مزرعه‌ای بر اساس دو روش حل اینرسی-صفر و موج کینماتیک واسنجی و ارزیابی گردید. تحلیل حساسیت نشان داد که مدل بیشترین حساسیت را به ترتیب نسبت به دبی ورودی، زمان قطع جریان و پارامترهای معادله نفوذ دارد. اختلاف دو روش حل اینرسی-صفر و موج کینماتیک در تخمین زمان پیشروی، رواناب و مقدار نفوذ به دلیل بالا بودن شیب مزرعه ناچیز بود. حداقل خطای مطلق (AE) برای برآورد زمان پیشروی حدود ۱/۵ درصد (۰/۸ دقیقه) به دست آمد. خطای مطلق تخمین رواناب و نفوذ به ترتیب ۵/۷ و ۵/۰ درصد به دست آمد. با استفاده از تحلیل عملیاتی مدل WinSRFR، منحنی‌های هم عملکرد سیستم آبیاری جویچه‌ای به منظور بهینه‌سازی دبی جریان ورودی و زمان قطع جریان و با توابع هدف حداکثر کردن بازده کاربرد و یکنواختی توزیع و حداقل کردن رواناب خروجی و نفوذ عمقی استخراج گردید. منحنی‌های هم عملکرد سیستم یک در میان ثابت تحت تابع هدف بازده کاربرد، نشان داد که با مدیریت زمان قطع جریان و دبی ورودی، بازده کاربرد را می‌توان به شرط تأمین عمق مورد نیاز، از ۵۴/۵ درصد در شرایط جاری به ۷۴ درصد افزایش داد. همچنین بر اساس این منحنی‌های هم عملکرد، تحت پارامترهای فیزیکی و هندسی فعلی جویچه، افزایش بازده کاربرد به بیش از ۷۴ درصد و به شرط تأمین عمق مورد نیاز، امکان‌پذیر نبوده و نیاز به تغییر خصوصیات هندسی جویچه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، ارزیابی عملکرد، مدل آبیاری سطحی

### مقدمه

آبیاری تحت فشار، آبیاری سطحی رایج‌ترین شیوه آبیاری در کشور است و هنوز حدود ۹۵ درصد از کل اراضی فاریاب به این طریق آبیاری می‌شوند (۱). به دلیل زیاد بودن پارامترهای مؤثر بر آبیاری سطحی و نیز تغییرات زمانی و مکانی آنها، مدیریت آبیاری سطحی برای بدست آوردن بازده و یکنواختی بالا، بسیار پیچیده است و به خاطر زیاد بودن تلفات در آبیاری سطحی، لزوم استفاده از ابزارهایی که بتوان ضمن طرح مناسب به حداکثر بازده آب دست یافت، اجتناب ناپذیر می‌باشد. یکی از این ابزارها مدل‌های آبیاری سطحی هستند که با شبیه‌سازی آبیاری سطحی، پدیده جریان آب و بازده‌های آبیاری و یکنواختی توزیع را با توجه به شرایط مزرعه‌ای پیش‌بینی می‌کنند. مدل آبیاری WinSRFR، مدل ریاضی یک بعدی برای تحلیل و شبیه‌سازی آبیاری سطحی است که در سال ۲۰۰۶ و با همکاری مرکز

در بسیاری از مناطق جهان بیش از ۹۰ درصد اراضی فاریاب با روش‌های سطحی آبیاری می‌شوند. مشکل عمده روش‌های آبیاری سطحی پایین بودن بازده آب آبیاری است که به طور عمده از ضعف مدیریت و طراحی نامناسب ناشی می‌شود. با توجه به هزینه زیاد سامانه‌های آبیاری تحت فشار، بهبود و اصلاح روش‌های آبیاری سطحی امری اجتناب ناپذیر است (۴). با وجود ابداع روش‌های نوین

۱، ۲ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

(\*)- نویسنده مسئول: (Email: verdinejad@gmail.com)

۳- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

مدل اینرسی صفر (ZI): به دلیل قابل اغماض بودن ترم‌های اینرسی و شتاب در مدل‌های هیدرودینامیک (به دلیل سرعت کم)، استرلکف و کاتاپودز (۲۲) معادله حرکت را به صورت زیر ساده کردند:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = S_o - S_f \quad (2)$$

مدل موج کینماتیک (KW): با فرض جریان یکنواخت در آبیاری سطحی و با صرف‌نظر از تغییرات عمق جریان و اینرسی، معادله حرکت به وسیله معادله جریان یکنواخت چون معادله مانینگ یا شزی جایگزین شده و با توجه به فرضیات ساده شده‌ای که در آن انجام گرفته است، سریع‌تر به جواب می‌رسد (۳).

صحت عملکرد مدل اینرسی - صفر با توجه به داده‌های مزرعه‌ای مربوط به آبیاری کرت‌ها، نوارها و جویچه‌ها توسط فرانگمیر و رامسی و الیوت و واکر اثبات گردید (۱۳ و ۱۶). مقایسه نتایج مدل‌های اینرسی - صفر و هیدرودینامیک توسط کلمنز و استرلکف و نیز استرلکف نشان داد که نتایج این دو مدل بسیار به هم نزدیک هستند. این مقایسه‌ها همچنین سازگاری بهتری را بین نتایج موج کینماتیک و هیدرودینامیک برای شیب‌های تندتر نشان داد (۱۱ و ۲۳). فرض جریان یکنواخت بطور زیادی تجزیه و تحلیل را ساده می‌کند ولی استفاده از این روش را محدود به نوارهای شیب‌دار و جویچه‌های با زهکشی آزاد می‌کند. یک محدودیت مهم در هر نوع تحلیل سیستم آبیاری سطحی، عدم قطعیت خواص هیدرولیک زراعی و خاک مزرعه می‌باشد که اندازه‌گیری آنها مشکل و در زمان و مکان متغیر می‌باشند. تخمین این پارامترها و یافتن ترکیب‌های مدیریتی مناسب برای آبیاری جویچه‌ای در دبی ثابت با شبیه‌سازی مدل‌های ریاضی، روشی مرسوم و شناخته شده است (۱۷). مجدزاده و همکاران (۵) دقت شبیه‌سازی مدل‌های SIRMOD و SRFR را براساس داده‌های مزرعه‌ای برداشت شده و برای دبی‌های مختلف جریان پیوسته و موجی آبیاری جویچه‌ای در خاک سیلتی لومی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که برای آبیاری با جریان پیوسته مدل SRFR زمان پیشروی، متوسط عمق نفوذ و توزیع یکنواختی را بهتر از مدل SIRMOD پیش‌بینی می‌کند و در جریان موجی مدل SIRMOD این مقادیر را بهتر پیش‌بینی کرد. بهبهانی و بابازاده (۳) مدل شبیه‌سازی SIRMOD را برای طراحی و مدیریت آبیاری جویچه‌ای و بر اساس داده‌های مزرعه‌ای با خاک رسی بکار گرفت. نتایج آنها نشان داد که مدل در هر سه روش حل هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج کینماتیک سرعت پیشروی و نفوذ را کمتر از مقادیر مزرعه‌ای برآورد می‌کند. همچنین در مقایسه رواناب، مدل برآورد بیشتری از مقادیر مشاهده شده از خود نشان داد. براساس نتایج آنها هر سه مدل هیدرودینامیک، اینرسی - صفر و موج کینماتیک با دقت نسبتاً خوبی جریان آبیاری جوی و پشته‌ای را پیش‌بینی کردند و علت این تشابه را به دبی کم و نوع خاک تحت آزمایش

تحقیقات کشاورزی مناطق خشک<sup>۱</sup>، سرویس تحقیق کشاورزی<sup>۲</sup> و بخش تحقیقات کشاورزی آمریکا<sup>۳</sup> توسعه و از جمله‌ی مدل‌هایی است که کاربرد زیادی در طراحی و مدیریت آبیاری سطحی داشته است (۷). این مدل برای تحلیل هیدرولیک آبیاری سطحی دارای چهار بخش شبیه‌سازی، تحلیل رویداد (ارزیابی مزرعه‌ای)، طرح فیزیکی و تحلیل عملیات می‌باشد و با دو مدل ریاضی اینرسی صفر و موج کینماتیک و به روش حل عددی محاسبات را انجام می‌دهد. ارزیابی و دقت یک مدل آبیاری سطحی عمدتاً به دقت داده‌های ورودی مدل بستگی داشته و نتایج شبیه‌سازی همانند شرایط واقعی در مزرعه به شرایط هیدرولیکی، خاک، گیاه، طرح فیزیکی (پارامترهای طول جویچه، شیب) و مدیریت آبیاری (شامل شدت جریان ورودی، تداوم آبیاری) بستگی دارد (۹).

### هیدرولیک آبیاری سطحی و معادلات حاکم

از آنجا که در حین آبیاری سطحی جریان از نوع متغیر مکانی و غیر ماندگار می‌باشد، لذا برای تشریح حرکت آب از زوج معادلات پیوستگی و اندازه حرکت (معادلات سنت-ونانت) استفاده می‌گردد که توسط چاو اشتقاق شده است (۷ و ۲۲). در مدل WinSRFR حجم آب نفوذ یافته در آبیاری جویچه‌ای توسط بیشتر معادلات نفوذ از جمله معادله کوستیاکف و کوستیاکف-لویس برآورد می‌گردد که در تحقیق حاضر مبنای برآورد، معادله کوستیاکف-لویس قرار گرفت که برای اکثر خاکها مناسب می‌باشد (۱۸):

$$Z = kt^a + f_0 t \quad (1)$$

که در آن Z نفوذ تجمعی ( $m^3 m^{-1}$ )،  $f_0$  سرعت نفوذ نهایی ( $m^3 m^{-1} min^{-1}$ )، t زمان (min) و a و k ( $m^3 m^{-1} min^{-a}$ ) پارامترهای تجربی معادله نفوذ کوستیاکف-لویس می‌باشند. اجاقلو و همکاران (۲) در بررسی روش‌های مختلف برآورد پارامترهای a و k در آبیاری جویچه‌ای، روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر و روش بهینه-سازی مک کلایمونت و اسمیت را برای تخمین پارامترهای فوق پیشنهاد کردند. مناسب‌ترین روش برای تعیین  $f_0$  در جویچه روش ورودی-خروجی پیشنهاد شده است (۲۱).

مدل‌های آبیاری جویچه‌ای حل تحلیلی نداشته و به روش عددی حل می‌شوند. برای ساده‌سازی و حل معادلات سنت-ونانت فرضیاتی بکار رفته و منجر به روابط زیر شده است:

مدل هیدرودینامیک (HD): این مدل‌ها معادلات سنت-ونانت را جهت شبیه‌سازی استفاده می‌کنند و به دلیل در بر گرفتن تمام اجزای روابط پیوستگی و اندازه حرکت، از پیچیدگی بیشتری در محاسبات برخوردار هستند (۱۰).

1- ALARC: Arid-Land Agricultural Research Center  
2- ARS: Agricultural Research Service  
3- USDA: United States Department of Agriculture

مزرعه آموزشی و پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج) در سال ۱۳۸۹ انجام گردید. بعد از عملیات شخم، دیسک، کودپاشی، دیسک مجدد، جویچه‌هایی به فواصل ۰/۷۵ متر، شیب طولی یکنواخت و برابر ۰/۰۰۹۳ متر بر متر و طول ۸۶ متر با توجه به شرایط موجود و در حال بهره‌برداری در منطقه ایجاد و یک مزرعه آزمایشی فاریاب تحت کشت ذرت علوفه‌ای و با سیستم آبیاری مرسوم در منطقه (جویچه‌ای) آماده گردید و کشت محصول در اوایل خرداد ماه صورت گرفت. بافت سطحی خاک لوم رسی بوده که با افزایش عمق، به لوم و لوم شنی تبدیل می‌گردد. نتایج تجزیه فیزیکی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ ارائه گردیده است. در این تحقیق، سه روش آبیاری جویچه‌ای شامل آبیاری معمولی یا سنتی جویچه‌ها، آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت و آبیاری جویچه‌ای یک در میان متغیر تحت آزمایش و ارزیابی قرار گرفت. برای هر یک از روش‌ها، به ترتیب سه، پنج و شش جویچه در نظر گرفته شد. جویچه‌های کناری هر تیمار به عنوان جویچه‌های محافظ (به منظور حذف خطای اندازه‌گیری جریان جانبی از جویچه‌های کناری) عمل کرده و اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز توسط جویچه‌ی وسط انجام گردید. با توجه به تغییرات خصوصیات نفوذپذیری خاک در طی فصل رشد، ارزیابی مدل برای مواقع مختلف فصل رشد انجام گردید. برای این منظور، در مجموع سه ارزیابی و در ابتدای فصل (آبیاری چهارم)، میانه‌ی فصل (آبیاری هشتم) و انتهای فصل (آبیاری دوازدهم) انجام گرفت. در هر نوبت آبیاری سه آزمایش و جمعاً نه آزمایش انجام و اکثر پارامترهای آب و خاک برای این منظور برداشت گردید. جویچه‌های آزمایشی به صورت انتها باز بوده و اطلاعات مربوط به شکل هندسه آنها در ابتدای فصل رشد در جدول ۲ ارائه شده است. مقطع عرضی جویچه برای هر یک از تیمارها و بر اساس داده‌های عرض کف، میانی و سطح به صورت تابع توانی در نظر گرفته شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده به منظور ارزیابی مدل در جدول ۳ ارائه شده است. برای اندازه‌گیری دبی ورودی و خروجی از فلوم‌های WSC، تیپ‌های یک و دو و با توجه به مقدار دبی جریان استفاده گردید. برای اندازه‌گیری سرعت پیشروی و پسروی، جویچه اصلی به فواصل ۱۰ متر در طول جویچه، علامت‌گذاری شد. به منظور تخمین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لویس، از روش ورودی-خروجی برای تعیین سرعت نفوذ نهایی و روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر برای تعیین ضرایب  $a$  و  $k$  با استفاده از داده‌های پیشروی جریان به کار گرفته شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

به منظور ارزیابی عملکرد و بررسی دقت مدل WinSRFR در پیش‌بینی زمان پیشروی، نفوذ و رواناب از روابط همبستگی و خطا بین مقادیر مشاهده و برآورد شده استفاده گردید (۳):

نسبت دادند. مرید نژاد و همکاران (۶) از مدل WinSRFR به منظور بهینه‌یابی پارامترهای آبیاری جویچه تحت شرایط اجرا شده در کشت و صنعت سلمان فارسی استفاده کردند. نتایج شبیه‌سازی آنها برای ده مقدار مختلف دبی ورودی به جویچه و چهار مقدار مختلف شیب طولی جویچه که نزدیک به شرایط اجرا شده بود، نشان داد که دبی بهینه جهت حصول بالاترین بازده آبیاری، ۱/۵ لیتر در ثانیه در تمام چهار شیب مورد آزمایش می‌باشد. همچنین در یک دبی ورودی مشخص، حداکثر بازده آبیاری مربوط به شیب ۰/۰۰۲۵ بدست آمد. همچنین براساس نتایج تحلیل حساسیت آنها، پارامترهای معادله نفوذ به عنوان حساس‌ترین پارامتر مؤثر بر بازده آبیاری سطحی گزارش گردید. اسفندیاری و ماهشورای (۱۴) مدل‌های هیدروپنوماتیک، اینرسی- صفر و موج کینماتیک را در شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای بر روی دو نوع خاک بررسی و ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که برای شبیه‌سازی هیدرولیک آبیاری جویچه‌ای، مدل‌های هیدروپنوماتیک و اینرسی- صفر بسیار مناسب بوده و دارای نتایج تقریباً مشابهی بودند. همچنین براساس پیشنهاد آنها مدل موج کینماتیک برای جویچه‌های با شیب کمتر از ۰/۱ درصد قابل استفاده نمی‌باشد. ابراهیمیان و لیاقت (۱۲) عملکرد سه مدل ریاضی هیدروپنوماتیک، اینرسی صفر و موج کینماتیک در نرم‌افزار SIRMOD برای آبیاری جویچه‌ای و نواری مورد بررسی قرار دادند که بر اساس نتایج آنها، اختلاف ناچیزی بین مدل‌های هیدروپنوماتیک و اینرسی- صفر در تخمین زمان‌های پیشروی و پسروی، نفوذپذیری و رواناب در هر دو روش آبیاری جویچه‌ای و نواری به دست آمد.

اهداف این تحقیق عبارتند از (۱) ارزیابی عملکرد دو مدل اینرسی صفر و موج کینماتیک در برآورد پارامترهای زمان پیشروی، میزان نفوذ و رواناب در روش‌های مختلف آبیاری جویچه‌ای (آبیاری معمولی، یک در میان ثابت و یک در میان متغیر) با استفاده از نرم‌افزار WinSRFR؛ (۲) تحلیل حساسیت مدل WinSRFR نسبت به پارامترهای ورودی مهم سیستم آبیاری جویچه‌ای؛ (۳) استخراج منحنی‌های هم عملکرد سیستم آبیاری جویچه‌ای به منظور بهینه‌سازی پارامترهای دبی جریان ورودی و زمان قطع جریان بر اساس شاخص‌های ارزیابی عملکرد سیستم آبیاری. در این تحقیق، منحنی-های هم عملکرد سیستم آبیاری، به عنوان یک ابزار مدیریتی جدید و کارا در جهت ارتقاء عملکرد سیستم آبیاری، بکار گرفته شد. برای این منظور و دستیابی به اهداف فوق، ارزیابی مزرعه‌ای طی فصل رشد محصول ذرت علوفه‌ای و برای سه رژیم آبیاری جویچه‌ای (معمولی، یک در میان ثابت و یک در میان متغیر) انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

به منظور جمع‌آوری داده‌های صحرائی، آزمایش مزرعه‌ای در

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک مزرعه‌ی آزمایشی

عمق خاک (cm)	بافت خاک	وزن مخصوص ظاهری (gm <sup>-3</sup> )	ظرفیت زراعی (درصد وزنی)	رطوبت پژمردگی (درصد وزنی)
۰-۲۰	لوم رسی	۱/۵۱	۱۸/۱	۸/۴
۲۰-۴۰	لوم	۱/۴۸	۱۷/۷	۸/۱
۴۰-۶۰	لوم شنی	۱/۴۹	۱۵/۰	۶/۶

جدول ۲- اطلاعات مربوط به شکل و هندسه جویچه‌ها برای هر یک از تیمارهای تحت آزمایش در ابتدای فصل

روش آبیاری	عرض بالا (سانتی متر)	عرض میانی (سانتی متر)	عرض کف (سانتی متر)	حداکثر عمق (سانتی متر)
جویچه‌ای معمولی	۴۵	۲۵	۱۰	۹
جویچه‌ای یک در میان ثابت	۴۵	۲۸/۳	۸/۳	۱۰
جویچه‌ای یک در میان متغیر	۴۶/۷	۳۰	۱۰	۱۱/۸

جدول ۳- پارامترهای اندازه‌گیری شده برای هر یک از تیمارهای تحت آزمایش

پارامتر	روش اندازه‌گیری	تعداد دفعات نمونه‌گیری
بافت خاک	روش USDA	یکبار
چگالی ظاهری خاک	نمونه‌گیر مغزی	یکبار
هندسه مقطع جویچه	مقطع سنج	هر ارزیابی
دبی ورودی و خروجی	فلوم WSC	هر ارزیابی
زمان پیشروی و پسروی	مشاهده مزرعه‌ای	هر ارزیابی
پارامترهای معادله نفوذ	دو نقطه‌ای البوت و واکر	هر ارزیابی
سرعت نفوذ نهایی	ورودی-خروجی	هر ارزیابی
شیب طولی و طول جویچه	دوربین نقشه‌برداری	یکبار
زمان	کرونومتر	هر ارزیابی
ضریب زبری مانینگ	تخمین	هر ارزیابی

جدول ۴- پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لویس به روش دو نقطه‌ای و بر اساس ورودی-خروجی

نوبت آبیاری	روش آبیاری	$f_0$ (mm min <sup>-1</sup> )	$k$ (mm min <sup>-a</sup> )	$a$ (-)
جویچه معمولی	جویچه معمولی	۰/۱۱۷۵	۴/۶۴۰۷	۰/۱۷۳۷
چهارم	یک در میان ثابت	۰/۱۴۱۶	۵/۱۳۰۲	۰/۱۲۵۴
یک در میان متغیر	یک در میان متغیر	۰/۱۴۸۹	۴/۸۷۰۹	۰/۱۳۷۳
جویچه معمولی	جویچه معمولی	۰/۰۹۰۵	۱۱/۹۶۲۴	۰/۰۶۶۲
هشتم	یک در میان ثابت	۰/۱۷۶۳	۸/۱۰۹۴	۰/۱۳۶۶
یک در میان متغیر	یک در میان متغیر	۰/۱۸۷۰	۹/۷۰۷۲	۰/۰۹۳۸
جویچه معمولی	جویچه معمولی	۰/۰۸۰۱	۸/۷۹۶۰	۰/۰۹۳۶
دوازدهم	یک در میان ثابت	۰/۱۸۰۸	۷/۲۹۴۲	۰/۰۶۷۶
یک در میان متغیر	یک در میان متغیر	۰/۱۸۸۸	۸/۹۷۲۸	۰/۰۱۷۸

باشد، برآورد بیش از اندازه‌گیری‌ها خواهد بود. مقدار خطای مطلق

(AE) برآورد را نیز می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$AE = |1 - \lambda| \times 100 \quad (۴)$$

$$X_p = \lambda X_m \quad (۳)$$

که در آن  $X_m$  مقادیر مزرعه‌ای اندازه‌گیری شده،  $X_p$  مقادیر برآورد شده توسط مدل و  $\lambda$  شیب بهترین خط عبوری می‌باشد. اگر  $\lambda$  کمتر از یک باشد، برآورد کمتر از اندازه‌گیری‌ها و اگر  $\lambda$  بیشتر از یک

توسط دو مدل ZI و KW برای هر سه روش آبیاری و در نوبت‌های مختلف، در شکل ۱ ارائه گردیده است. مطابق این شکل، مقادیر پیشروی اندازه‌گیری و برآورد شده به صورت مجزا نمایش ولی رابطه همبستگی برای تمام داده‌ها استخراج شده است. نتایج نشان داد که هر دو روش حل ZI و KW با دقت یکسان زمان پیشروی را برآورد کردند. برای هر دو مدل مقادیر کمی از یک بزرگتر بوده که نشان دهنده بیش برآورد کلی هر دو مدل می‌باشد. ضریب  $R^2$  برای مدل ZI برابر ۰/۴۵ و برای مدل KW برابر ۰/۴۴ به دست آمد. دلیل پایین بودن  $R^2$  را می‌توان به واکنش متفاوت مدل به بیش یا کم برآورد کردن زمان پیشروی در تیمارهای مختلف نسبت داد. با توجه به شکل ۱، مدل در برخی از آزمایش‌ها زمان پیشروی را بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده و در برخی آزمایش‌ها، زمان پیشروی را کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد نمود. با توجه به شکل ۱، برخی نقاط در بالای خط ۱:۱ و برخی نقاط در پایین آن قرار گرفته است که این عامل باعث کاهش ضریب  $R^2$  گردید. مقدار خطای مطلق برآورد برای مدل ZI و KW به ترتیب ۱/۵ و ۱/۶ درصد به دست آمد که نشان می‌دهد که اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی مدل و اندازه‌گیری شده ناچیز (کمتر از ۰/۸ دقیقه) و قابل اغماض است.

### رواناب و نفوذ

مقادیر رواناب و نفوذ اندازه‌گیری و برآورد شده در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه گردیده است. هر دو روش حل با همبستگی بالایی رواناب و نفوذ را برآورد کردند. ضریب  $R^2$  هر دو روش حل برای رواناب ۰/۹۹۶ و در تخمین نفوذ برابر ۱ محاسبه گردید. از نظر خطای برآورد (AE)، هر دو روش حل، رواناب خروجی را بیش از مقادیر اندازه‌گیری برآورد نمودند. در تخمین رواناب، خطای مطلق روش حل ZI برابر ۵/۷۲ درصد و KW برابر ۵/۸۷ درصد محاسبه گردید. هر دو روش حل اینرسی صفر و موج کینماتیک، مقدار نفوذ را کمتر از مقادیر اندازه‌گیری برآورد کردند. خطای برآورد روش ZI، برای برآورد نفوذ ۵/۰ درصد و روش حل KW، ۵/۱ درصد به دست آمد.

بر اساس تحقیقات بهبهانی و بابازاده (۳) و اسفندیاری و ماهشوری (۱۴) نیز هر سه مدل ZI، HD و KW در تخمین رواناب بیش برآورد و در تخمین نفوذ کم برآورد داشتند که این تحقیق نیز نتایج آنها را تأیید می‌کند. اختلاف ناچیز بین دو مدل ZI و KW به دلیل بالا بودن شیب جویچه‌های آزمایشی است. همانطور که اشاره گردید، اسفندیاری و ماهشوری (۱۴ و ۱۵) در تحقیقات خود حداقل شیب جویچه را به منظور کاربرد موج کینماتیک ۰/۱ درصد پیشنهاد کرده بودند. ابراهیمیان و لیاقت (۱۲) نیز نتایجی مشابه نتایج اسفندیاری و ماهشوری را پیشنهاد کرده‌اند.

مقدار  $\lambda$  نزدیک به یک و AE نزدیک به صفر نشان دهنده یک برآورد خوب توسط مدل می‌باشد. یکی از ورودی‌های نامعین که نیاز به صحت سنجی دارد، ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) می‌باشد (۱۹). پارامترهای معادله نفوذ نیز در صورت عدم اندازه‌گیری، از ورودی‌های مهم نامعین محسوب می‌گردد. بر اساس منابع، مدل‌های آبیاری سطحی حساسیت زیادی نسبت به پارامترهای معادله نفوذ دارند (۸). با این حال حساسیت مدل WinSRFR نسبت به پارامترهای ورودی تحلیل گردید. نتایج تحلیل حساسیت مدل بیانگر تأثیر تغییرات داده‌های ورودی بر خروجی‌های مدل بوده و به خاطر داشتن دقت قابل قبول در اندازه‌گیری داده‌های ورودی، حائز اهمیت می‌باشد. تحلیل حساسیت مدل WinSRFR بر روی پارامترهای ورودی شامل زمان قطع جریان، ضرایب معادله نفوذ، ضریب مانینگ، شیب و دبی ورودی جویچه انجام گرفت. تأثیر پارامترهای ورودی فوق بر روی پارامترهای خروجی یکنواختی توزیع، بازده کاربرد، مقدار رواناب، کفایت آبیاری و زمان پیشروی بررسی شد. تحلیل حساسیت یک پارامتر ورودی مشخص بر اساس تغییر مقدار آن پارامتر (با ثابت نگه داشتن سایر پارامترهای ورودی) و بررسی این تغییر بر روی پارامترهای خروجی انجام گردید. در تحلیل حساسیت هر پارامتر ورودی، مقدار تغییر آن پارامتر برابر  $\pm 50$  و  $\pm 25$  درصد در نظر گرفته شد و مدل اجرا گردید. خروجی‌های مدل در وضعیت اولیه (بدون تغییر داده‌ها)، به عنوان خروجی مبنا فرض شد. برای بیان کمی میزان حساسیت هر پارامتر ورودی، از رابطه‌ی پیشنهادی لیو و همکاران استفاده گردید (۲۰):

$$S_c = \left( \frac{\Delta O}{O} \right) \times \left( \frac{\Delta I}{I} \right)^{-1} \quad (5)$$

که در آن  $S_c$  ضریب حساسیت یک پارامتر ورودی مشخص بر روی یک پارامتر خروجی معین،  $\Delta O$  تغییرات پارامتر خروجی معین قبل و بعد تغییر،  $\bar{O}$  متوسط حسابی پارامتر خروجی،  $\Delta I$  اختلاف پارامتر ورودی قبل و بعد تغییر و  $\bar{I}$  متوسط حسابی پارامتر ورودی می‌باشد.  $S_c$  معادل صفر نشان دهنده عدم حساسیت، بین صفر و ۰/۳ حساسیت کم، بین ۰/۳ و ۱/۵ حساسیت متوسط و بیشتر از ۱/۵ حساسیت زیاد می‌باشد (۲۰). به منظور ارزیابی عملکرد سیستم آبیاری در شرایط موجود، از شاخص‌های ارزیابی عملکرد استفاده گردید. عمده و پرکاربردترین این شاخص‌ها عبارتند از: بازده کاربرد آب (AE)، پتانسیل بازده کاربرد حداقل ( $PAE_{min}$ )، حداقل توزیع یکنواختی ( $DU_{min}$ )، کفایت آبیاری حداقل ( $AD_{min}$ )، مقدار رواناب (RO)، پتانسیل بازده کاربرد آب در چارک پایین ( $PAE_{Iq}$ )، توزیع یکنواختی در چارک پایین ( $DU_{Iq}$ ) و کفایت آبیاری در چارک پایین ( $AD_{Iq}$ ).

### نتایج و بحث

#### پیشروی

زمان پیشروی اندازه‌گیری شده و برآورد شده در انتهای جویچه

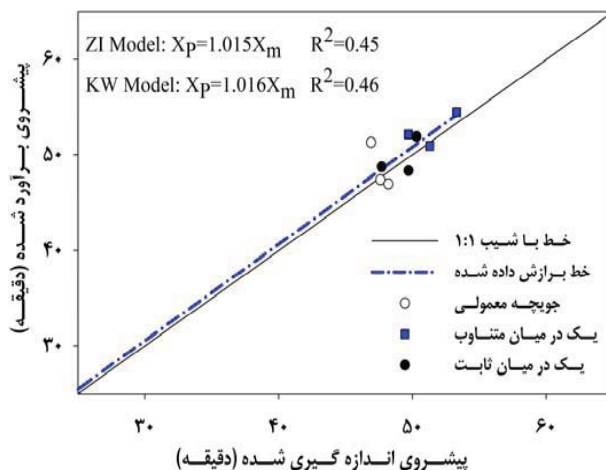
### تحلیل حساسیت و ارزیابی عملکرد مدل WinSRFR

مقادیر ضریب حساسیت ( $S_c$ ) پارامترهای ورودی مدل بر روی پارامترهای خروجی یکنواختی توزیع، بازده کاربرد، مقدار رواناب، کفایت آبیاری و زمان پیشروی، در جدول ۵ ارائه شده است. بیشترین تأثیر روی بازده کاربرد مربوط به دبی ورودی با حساسیت ۰/۹۹ و زمان قطع جریان با حساسیت ۰/۶۳ می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که از بین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لويس، بیشترین حساسیت مربوط به سرعت نفوذ نهایی می‌باشد. بیشترین تأثیر سرعت نفوذ نهایی بر روی متوسط نفوذ عمقی با حساسیت ۰/۶۹ و متوسط تأثیر بر روی پارامترهای خروجی ذکر شده در جدول ۵، ۰/۴۱ می‌باشد. براساس تحلیل حساسیت ضریب مانینگ، این ضریب به غیر از زمان پیشروی، تأثیر ناچیزی بر روی سایر پارامترهای خروجی دارد. شاخص‌های ارزیابی عملکرد برای شرایط آزمایش این تحقیق، در جدول ۶ ارائه شده است. این ارقام بیان کننده وضع موجود می‌باشد. در شرایط موجود بازده کاربرد آب بین ۴۰/۴ و ۷۱/۳ درصد متغیر بوده و سایر شاخص‌ها مطابق این جدول می‌باشند. عملکرد یک سیستم آبیاری زمانی خوب می‌باشد که دارای مقادیر بالایی از یکنواختی و بازده کاربرد آب باشد. در مرحله طراحی به منظور رسیدن به یک طرح مناسب، متغیرهای زیادی بر عملکرد سیستم تأثیرگذار است. ولی در سیستم‌های آبیاری در حال بهره‌برداری، متغیرهای تأثیرگذار به زمان قطع جریان و دبی ورودی محدود خواهد شد. در این شرایط منحنی-های هم عملکرد به عنوان ابزاری مناسب جهت ارتقاء عملکرد سیستم آبیاری محسوب می‌شود.

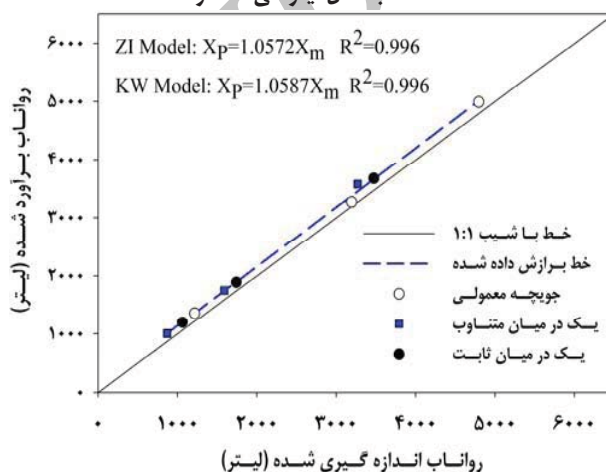
### منحنی‌های هم عملکرد و تحلیل آنها

منحنی‌های هم عملکرد برای بهینه‌سازی دبی جریان ورودی (q) و زمان قطع جریان ( $t_{co}$ ) استفاده می‌شود. منحنی‌های هم عملکرد که به وسیله تحلیل عملیات‌های مدل ایجاد می‌شود، عبارتند از: راندمان کاربرد (AE)، یکنواختی توزیع حداقل ( $DU_{min}$ )، رواناب (RO)، عمق کاربردی ( $D_{app}$ ) و نفوذ عمقی (DP). این نتایج با درون‌یابی از نتایج شبیه‌سازی مدل در شبکه‌ای مستطیل شکل از نقاط و در یک فضای امکان‌پذیر از مقادیر q و  $t_{co}$  ایجاد می‌شوند.

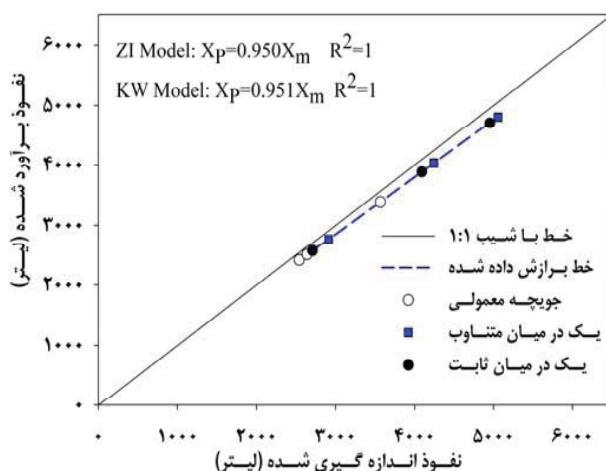
تحلیل منحنی‌های هم عملکرد مربوط به بازده کاربرد و رواناب برای سیستم آبیاری جویچه یک در میان ثابت و آبیاری هشتم بررسی شد. در شکل ۴ منحنی هم عملکرد بازده کاربرد این تیمار به همراه خط  $D_{req}=D_{min}$  ارائه شده است.



شکل ۱- مقایسه و رابطه بین مقادیر پیشروی اندازه‌گیری و برآورد شده با مدل اینرسی - صفر



شکل ۲- مقایسه و رابطه بین مقادیر رواناب اندازه‌گیری و برآورد شده با مدل اینرسی - صفر



شکل ۳- مقایسه و رابطه بین مقادیر نفوذ اندازه‌گیری و برآورد شده با مدل اینرسی - صفر

جدول ۵- ضرایب حساسیت ( $S_c$ ) برخی از پارامترهای ورودی مدل WinSRFR بر روی پارامترهای خروجی\*\*

متوسط حساسیت	پارامتر خروجی						پارامتر ورودی
	RO	TL	AE	DU <sub>lq</sub>	DP <sub>ave</sub>	AD <sub>min</sub>	
۰/۴۱	۰/۲۲	۰/۰۰	۰/۶۳	۰/۰۳	۰/۷۶	۰/۸۱	زمان قطع جریان ( $t_{co}$ )
۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۵	توان معادله نفوذ (a)
۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۷۶	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۲۵	۰/۲۰	ضریب معادله نفوذ (k)
۰/۴۱	۰/۵۳	۰/۲۱	۰/۳۵	۰/۰۳	۰/۶۹	۰/۶۵	سرعت نفوذ نهایی ( $f_0$ )
۰/۰۲	۰/۰۰۴	۰/۱۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	شیب جویچه (S)
۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	ضریب مانینگ (n)
۰/۵۸	۰/۹۳	۱/۱۹	۰/۹۹	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۲۲	دبی ورودی (q)

\*\* AD<sub>min</sub>: حداقل کفایت آبیاری، DP<sub>ave</sub>: متوسط نفوذ عمقی، DU<sub>lq</sub>: توزیع یکنواختی در چارک پایین، AE: بازده کاربرد آب، TL: زمان رسیدن آب به انتهای جویچه و RO رواناب خروجی می‌باشد.

جدول ۶- شاخص‌های ارزیابی عملکرد سیستم آبیاری جوی و پشته در شرایط آزمایش‌های مزرعه‌ای (بر حسب درصد)

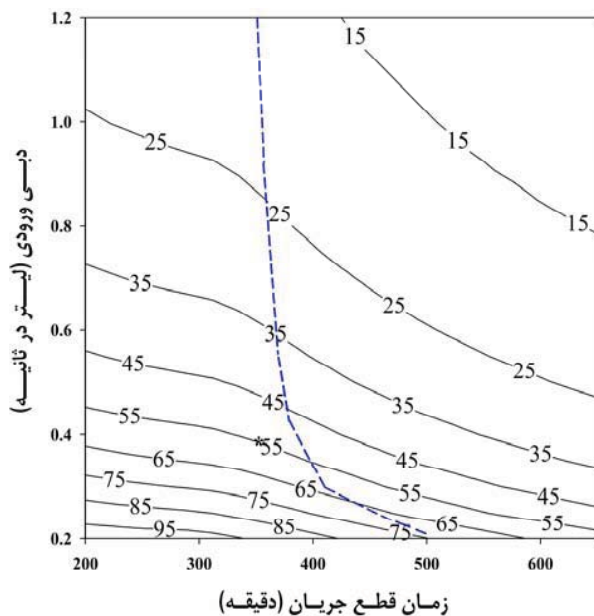
AD <sub>lq</sub>	DU <sub>lq</sub>	PAE <sub>lq</sub>	RO	AD <sub>min</sub>	DU <sub>min</sub>	PAE <sub>min</sub>	AE	روش آبیاری	نوبت آبیاری
۹۷/۶	۹۵/۲	۶۰/۸	۳۶/۰	۹۵/۱	۹۲/۷	۵۹/۳	۶۲/۰	جویچه معمولی	
۹۷/۱	۹۵/۰	۶۴/۷	۳۱/۸	۹۴/۶	۹۲/۶	۶۳/۱	۶۶/۲	یک در میان ثابت	چهارم
۹۶/۴	۹۴/۵	۶۹/۲	۲۶/۶	۹۳/۱	۹۱/۲	۶۶/۹	۷۱/۳	یک در میان متغیر	
۳۷/۸	۹۸/۲	۳۹/۷	۵۹/۵	۳۷/۵	۹۷/۵	۳۹/۴	۴۰/۴	جویچه معمولی	
۹۹/۱	۹۶/۴	۵۴/۰	۴۳/۹	۹۷/۴	۹۴/۷	۵۳/۲	۵۴/۵	یک در میان ثابت	هشتم
۹۸/۴	۹۶/۱	۵۵/۰	۴۲/۷	۹۶/۶	۹۴/۳	۵۴/۱	۵۵/۸	یک در میان متغیر	
۹۹/۴	۹۶/۶	۴۱/۹	۵۶/۶	۹۸/۱	۹۵/۳	۴۱/۴	۴۲/۱	جویچه معمولی	
۹۸/۱	۹۵/۸	۶۴/۴	۳۲/۷	۹۶/۰	۹۳/۷	۶۳/۱	۶۵/۴	یک در میان ثابت	دوازدهم
۱۰۰/۰	۹۵/۳	۶۶/۴	۳۰/۲	۹۸/۲	۹۳/۰	۶۵/۰	۶۶/۱	یک در میان متغیر	

شکل ۵ ارائه شده است. سمت چپ و پایین خط چین  $D_{min} < D_{req}$  بوده و در سمت راست و بالا  $D_{min} > D_{req}$  می‌باشد. ترکیبات متفاوت از  $q$  و  $t_{co}$  باعث کاهش رواناب و افزایش بازده کاربرد خواهد شد. با توجه به موقعیت ستاره، در شرایط موجود حداقل عمق مورد نیاز برآورد نشده و برای این شرط، لازم است که ترکیباتی از دبی و زمان قطع جریان انتخاب گردد که بر روی خط چین قرار گرفته باشد. در حالت کلی یک ترکیب مطلوب  $q-t_{co}$  ترکیبی است که بازده کاربرد و یکنواختی توزیع را به حداکثر برساند. یک گزینه در این شرایط این است که بر روی خط  $D_{req} = D_{min}$ ، شرایط حداکثر شدن مجموع بازده کاربرد و یکنواختی توزیع را به عنوان طرح بهینه فرض کرد. گزینه دیگر در نظر گرفتن یک مقدار حداقل برای یکنواختی توزیع می‌باشد که با این فرض ترکیبی از  $q-t_{co}$  استخراج خواهد شد که بازده کاربرد را بیشینه کند. با فرض حفظ حداقل یکنواختی توزیع شرایط فعلی (۹۵درصد) و با ترکیب نقشه تراز بازده کاربرد و یکنواختی توزیع، تحت دبی ۰/۴۷ لیتر در ثانیه و زمان قطع جریان ۴۸۸ دقیقه، بازده کاربرد ۶۸ درصد برای این تیمار حاصل می‌گردد.

همان‌طور که انتظار می‌رود AE در گوشه پایین و سمت چپ نمودار جایی که جویچه دچار کم آبی می‌شود، به حداکثر می‌رسد و با افزایش  $q$  و  $t_{co}$  کاهش می‌یابد. در این شکل، خط نقطه چین نشان دهنده مکان نقاطی از  $q$  و  $t_{co}$  می‌باشد که حداقل عمق مورد نیاز آبیاری تأمین می‌گردد. ترکیبات  $q-t_{co}$  در سمت راست خط نقطه چین،  $D_{min} > D_{req}$  را نشان می‌دهد، در حالی که در سمت چپ، عکس این شرایط است. لذا در بخش چپ خط چین، هر چند ممکن است که با ترکیباتی از  $q$  و  $t_{co}$  به بازده کاربرد بالا دست یافت، ولی حداقل عمق مورد نیاز برآورد نخواهد شد. ستاره موجود در سمت چپ خط چین، نشان دهنده شرایط موجود (جاری) می‌باشد. در شرایط موجود، بازده کاربرد ۵۴/۵ درصد می‌باشد که تنها با تغییر  $q$  و  $t_{co}$  و تأمین عمق مورد نیاز، می‌توان بازده کاربرد را ۷۴ درصد افزایش داد. بازده کاربرد را بیش از این مقدار نمی‌توان افزایش داد، زیرا شرایط فیزیکی جویچه از قبیل شیب، طول، هندسه مقطع و پارامترهای معادله نفوذ، شرایط تأمین عمق مورد نیاز را نخواهند داد. متحنی هم عملکرد رواناب خروجی این تیمار به همراه خط چین  $D_{req} = D_{min}$  در

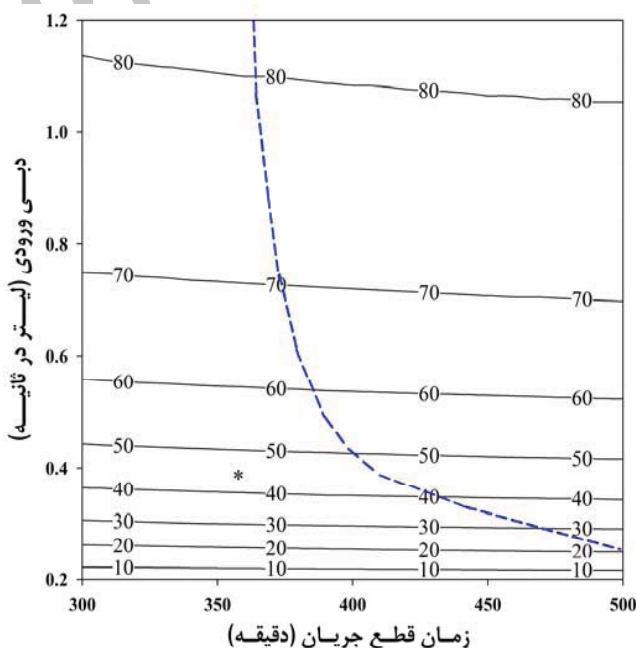
### نتیجه گیری

در این تحقیق عملکرد سیستم آبیاری جویچه‌ای توسط مدل آبیاری سطحی WinSRFR مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که این مدل می‌تواند زمان پیشروی، مقدار رواناب و نفوذ را در سه روش آبیاری جویچه‌ای معمولی، یک در میان ثابت و یک در میان متغیر را با دقت مناسب و به ترتیب با حداکثر خطای مطلق ۱/۵، ۵/۷ و ۵ درصد، پیش‌بینی نماید. تحلیل حساسیت نشان داد که بیشترین حساسیت مدل نسبت به دبی ورودی، زمان قطع جریان و پارامترهای معادله نفوذ می‌باشد. لذا برای دستیابی به نتایج قابل اطمینان، لازم است که پارامترهای فوق با دقت قابل قبول اندازه‌گیری گردد. بیشترین تأثیر ضریب زبری مانینگ بر روی زمان پیشروی جریان به دست آمد. در سیستم‌های آبیاری در حال بهره‌برداری، می‌توان با ترکیب مطلوب دبی - زمان قطع جریان و با استفاده از منحنی‌های هم تراز، عملکرد سیستم را تا حد قابل ملاحظه‌ای افزایش داد. منحنی‌های هم عملکرد سیستم یک در میان ثابت تحت تابع هدف بازده کاربرد، نشان داد که با مدیریت زمان قطع جریان و دبی ورودی، بازده کاربرد را می‌توان به شرط تأمین عمق مورد نیاز، از ۵۴/۵ درصد در شرایط جاری به ۷۴ درصد افزایش داد. یک ترکیب مطلوب دبی ورودی - زمان قطع جریان، ترکیبی است که بطور همزمان به حداکثر بازده کاربرد و یکنواختی توزیع منجر گردد که برای دستیابی به این ترکیب مطلوب دبی ورودی - زمان قطع جریان، لازم است که منحنی‌های هم‌عملکرد بازده کاربرد و یکنواختی توزیع ترکیب گردد. برای سیستم یک در میان ثابت، ترکیب مطلوب تحت دبی ۰/۴۷ لیتر در ثانیه و زمان قطع جریان ۴۸۸ دقیقه می‌باشد که منجر به بازده کاربرد ۶۸ درصد و یکنواختی توزیع ۹۵ درصد - گردید. با توجه به قابلیت‌های مدل WinSRFR در ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف آبیاری، تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی و رسم منحنی‌های هم تراز بازده کاربرد و یکنواختی این مدل برای طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری سطحی توصیه می‌گردد.



شکل ۴- منحنی‌های هم تراز بازده کاربرد آب به عنوان تابعی از دبی و زمان قطع جریان برای سیستم آبیاری جویچه یک در میان ثابت و آبیاری هشتم (بر حسب درصد)  $D_{min}=D_{req}$  - - - - - ارزیابی جاری \*

شکل ۴- منحنی‌های هم تراز بازده کاربرد آب به عنوان تابعی از دبی و زمان قطع جریان برای سیستم آبیاری جویچه یک در میان ثابت و آبیاری هشتم (بر حسب درصد)



شکل ۵- منحنی‌های هم تراز بازده رواناب خروجی به عنوان تابعی از دبی و زمان قطع جریان برای سیستم آبیاری جویچه یک در میان ثابت و آبیاری هشتم (بر حسب درصد)  $D_{min}=D_{req}$  - - - - - ارزیابی جاری \*

شکل ۵- منحنی‌های هم تراز بازده رواناب خروجی به عنوان تابعی از دبی و زمان قطع جریان برای سیستم آبیاری جویچه یک در میان ثابت و آبیاری هشتم (بر حسب درصد)



## منابع

- ۱- اسفندیاری م. ۱۳۸۷. بهبود راندمانهای آبیاری با تسطیح لیزری اراضی زراعی. مجموعه مقالات دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی. دوم خرداد ماه. کرج. صفحات ۲۲۰-۲۰۷.
- ۲- اجاقلو ح.، قبادی نیا م.، مجدزاده ب.، سهرابی ت. و عباسی ف. ۱۳۸۷. برآورد پارامترهای نفوذ برای شبیه‌سازی جریان پیشروی آب در جویچه. مجموعه مقالات دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی. دوم خرداد ماه. کرج. صفحات ۳۲۰-۳۱۰.
- ۳- بهبهانی م.ر. و بابازاده ح. ۱۳۸۴. ارزیابی مزرعه‌ای مدل سیستم آبیاری سطحی SIRMOD. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. (۲): ۱۲: ۱۰-۱.
- ۴- عباسی ف. ۱۳۸۷. روشهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی. مجموعه مقالات دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی. دوم خرداد ماه. کرج. صفحات ۱۲-۱.
- ۵- مجدزاده ب.، قبادی نیا م.، سهرابی ت. و عباسی ف. ۱۳۸۷. ارزیابی دو مدل ریاضی SIRMOD و SRFR برای بررسی عملکرد آبیاری پیوسته و موجی. مجموعه مقالات دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی. دوم خرداد ماه. کرج. صفحات ۳۴۴-۳۳۶.
- ۶- مریدنژاد ع.ر.، کاوئی ر. و سعدی ع. ۱۳۸۹. بهینه‌سازی آبیاری شیاری تحت شرایط اجرا شده در کشت و صنعت سلمان فارسی با استفاده از نرم افزار WinSRFR. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. اهواز. دانشگاه شهید چمران.
- 7- Bautista E., Clemmens A.J., Strelkoff T.S., and Schlegel J. 2009a. Modern analysis of surface irrigation systems with WinSRFR. *Agricultural Water Management*. 96:1146-1154.
- 8- Bautista E., Strelkoff T.S., and Clemmens A.J. 2002. Sensitivity of surface irrigation to infiltration parameters: implications for management. In: Burt, C.M., Anderson, S.S. (Eds.), *Energy, Climate, Environment and Water-Issues and Opportunities for Irrigation and Drainage*. Proc. USCID/EWRI Conf., San Luis Obispo, CA, July 10-13, pp. 475-485.
- 9- Bautista E., Clemmens A.J., Strelkoff T.S., and Niblack M. 2009b. Analysis of surface irrigation systems with WinSRFR-Example application. *Agricultural Water Management*. 96:1162-1169.
- 10- Bautista E., Strelkoff T., Clemmens A.J., Zerihun D. 2008. Surface volume estimates for infiltration parameter estimation. In: Babcock, R.W., Walton, R. (Eds.), *Proc. World Environmental and Water Resources Congress 2008*, ASCE/EWRI. Hon-olulu HI, May 12-16 CDROM, 10 pp.
- 11- Clemmens A.J., and Strelkoff T. 1979. Discussion of Strelkoff and Katapodes (1977). *J. Irrigation and Drainage Division, ASCE*, 104(IR3), pp. 337-339.
- 12- Ebrahimian H., and Liaghat A. 2011. Field evaluation of various mathematical models for furrow and border irrigation systems. *Journal of Soil and Water Research*, 6(2):91-101.
- 13- Elliott R.L., and Walker W.R. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. *Trans. ASAE* 25 (2): 396-400.
- 14- Esfandiari M., and Maheshwari B.L. 2001. Field evaluation of surface irrigation models. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 459-479.
- 15- Esfandiari M., and Maheshwari B.L. 1997. Field values of the shape factor for estimating surface storage in furrows on a clay soil. *Irrig. Sci.* 17 (4): 157-161.
- 16- Fangmeier D.D., and Ramsey M.K. 1978. Intake characteristics of irrigation furrows. *Trans. ASAE* 21 (4): 696-700,705.
- 17- Garcia P., Sanches A., Clavero N., and Playan E. 2004. Simulation model for level furrows. II: description, validation and application. *J. Irrig. Drain. Eng.* 130(2):113-121.
- 18- Hanson B.R., Prichard T.L., and Schulbach H. 1993. Estimating furrow infiltration. *Agric. Water Manage.* 24 (4): 281-298.
- 19- Li Z., and Zhang J. 2001. Calculation of field Manning's roughness coefficient. *Agric. Water Manage.* 49: 153-161.
- 20- Liu H.F., Genard M., Guichard S., and Bertin N. 2007. Model-assisted analysis of tomato fruit growth in relation to carbon and water fluxes. *Journal of Experimental Botany*, 58(13): 3567-3580.
- 21- Raine R. 1999. Research, development and extension in irrigation. National center for engineering in agriculture. NCEA publication, 179743/2:1-12.
- 22- Strelkoff T., and Katapodes N.D. 1977. Border irrigation hydraulics with zero-inertia. *J. Irrigation and Drainage Division, ASCE*, 103(IR3), pp. 325-342.
- 23- Strelkoff T.S. 1977. Algebraic computation of flow in border irrigation. *J. Irrig. Drain. ASCE*, 103 (3): 357-377.

## Field Evaluation and Analysis of Surface Irrigation System with WinSRFR (Case Study Furrow Irrigation)

Z. Taghizadeh<sup>1</sup> - V.R. Verdinejad<sup>2\*</sup> - H. Ebrahimian<sup>3</sup> - N. Khanmohammadi<sup>4</sup>

Received: 11-3-2012

Accepted: 23-9-2012

### Abstract

The low irrigation application efficiency is the major problem of surface irrigation systems due to weak management and poor design. In this research, in order to analyze the performance of furrow irrigation system, a field experiment was conducted during maize growing season. Three furrow irrigation methods; conventional furrow irrigation, fixed alternate furrow irrigation and variable alternate furrow irrigation were considered to collect field data and, then, to evaluate the performance of WinSRFR (surface irrigation model). This model was calibrated and evaluated based on the experimental data with Zero-Inertia (ZI) and Kinematic Wave (KW) solutions. The sensitivity analysis of WinSRFR showed that the most sensitive parameters were inflow rate, cutoff time and parameters of the infiltration equation, respectively. There was a small difference between ZI and KW to estimate advance time, runoff and infiltration due to high field slope. The minimum absolute error for estimation of advance times was obtained about 1.5% (0.8 minute). The minimum absolute error in estimating runoff and infiltration were 5.7 and 5.0%, respectively. Using operations analysis of WinSRFR, the iso-performance contour plots of furrow irrigation system was obtained to optimize cutoff time and inflow rate under maximizing of application efficiency and distribution uniformity and minimizing of runoff and deep percolation. Application efficiency iso-performance contour plot of fixed alternate furrow irrigation, indicated by managing of cutoff time and inflow rate, application efficiency could be increasing from 54.5% in current evaluation to 74%, provided water supply of  $D_{req}$ . Also based on this contour plot, increasing of application efficiency more than 74% was impossible provided water supply of  $D_{req}$ , under current furrow geometry parameters and it was possible with changing furrow geometry parameters.

**Keywords:** Furrow Irrigation, Performance Evaluation, Surface Irrigation Model

1,2,4- MSc Student, Assistant Professor and MSc Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Respectively

(\*-Corresponding Author Email: verdinejad@gmail.com)

3- Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran