

تعیین مقادیر بهینه پارامترهای طراحی آبیاری جویچه‌ای توسط مدل WinSRFR 3.1 (مطالعه موردی: مزارع نیشکر جنوب اهواز)

مصطفی قهرمان نژاد^{1*}، سعید برومند نسب²، علی شینی دشتگل³

تاریخ دریافت: 93/06/25 تاریخ پذیرش: 94/07/05

¹- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

²- استاد، گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

³- کارشناس، مرکز تحقیقات شرکت توسعه نیشکر

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mgahraman@gmail.com

چکیده

مشکل عمده سیستم‌های آبیاری سطحی پایین بودن بازده است که از ضعف طراحی و مدیریت آبیاری ناشی می‌شود. شدت جریان ورودی و مدت‌زمان آبیاری از مهم‌ترین پارامترهای طراحی آبیاری جویچه‌ای هستند که بر بازده آبیاری تأثیر دارند. در این تحقیق، شرایط آبیاری جویچه‌ای اجراشده در مزارع نیشکر شرکت توسعه نیشکر، واحد کشت و صنعت امیرکبیر، توسط مدل WinSRFR3.1 شبیه‌سازی شد و عملکرد آبیاری این مزارع برای مدت‌زمان آبیاری و جریان‌های ورودی مختلف بررسی گردید. جریان آب در جویچه در دو حالت انتها باز و انتها بسته شبیه‌سازی شد. برای شبیه‌سازی، جویچه‌هایی به طول 250 متر، فواصل 1/83 متر و شیب 0/04 درصد انتخاب شدند و با دبی ورودی 1/5 لیتر بر ثانیه پارامترهای ورودی موردنیاز مدل اندازه‌گیری گردید. برای ارزیابی عملکرد آبیاری این مزارع شاخص‌های بازده کاربرد آب (Ea)، ضریب یکنواختی (DU)، درصد نفوذ عمقی (DPR) و درصد رواناب (TWR) تعیین شدند. قبل از انجام شبیه‌سازی با استفاده از زمان پیشروی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی‌شده توسط مدل، مدل برای شرایط منطقه واسنجی شد. بر طبق نتایج این تحقیق، برای آبیاری مزارع کشت و صنعت امیرکبیر بهترین گزینه جویچه انتها بسته با شدت جریان ورودی 1/8 لیتر بر ثانیه و زمان آبیاری 5 ساعت هست.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، شدت جریان ورودی، مدت‌زمان آبیاری، مدل WinSRFR3.1، واسنجی مدل

Determining the Optimum Values of the Design Parameters for Furrow Irrigation with WinSRFR3.1 Model (Case study: Sugarcane Fields of Southern Ahvaz)

M Ghahremannejad^{1*}, S Boroomandnasab², A Sheini Dashtegol³

Received: 16 September 2014

Accepted: 27 September 2015

¹Former M.Sc. Student, Dept. of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sci. Eng., Shahid Chamran Univ. of Ahvaz, Iran

²Prof., Dept. of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Science Eng., Shahid Chamran Univ. of Ahvaz, Iran

³ Engineer, Sugarcane Research and Training Development, Khuzestan, Iran

*Corresponding Author, Email: mgahraman@gmail.com.

Abstract

Low level of efficiency is a main problem of surface irrigation systems that is due to their poor design and management. Furrow inflow rate and cut off time are the most important design parameters that affect the efficiency of furrow irrigation. In this study, furrow irrigation condition of Amir Kabir Agro-Industry sugarcane fields was simulated with WinSRFR3.1 Model. Then, irrigation performances of the relevant fields for different cut-off times and inflow rates were evaluated. Water flow was simulated for the both open and block-ends furrow positions. Selected furrows for flow simulation had a length of 250 m, with a slope of 0.04 percent and 1.83 m spacing between the furrows. The input data of the model were measured in these furrows for an inflow rate of 1.5 Ls⁻¹. Four performance evaluation indices namely, the application efficiency (Ea), distribution uniformity (DU), deep percolation ratio (DPR) and tail water ratio (TWR) were computed for evaluating the irrigation performance in the selected furrows. Prior to simulations, the model was calibrated for local conditions by using measured and simulated flow advance time. The results showed that the best option for furrow irrigation of Amir Kabir Agro-Industry fields is the use of end-blocked system with inflow rate of 1.8 Ls⁻¹ and irrigation duration time of 5 hr.

Keywords: Cut off time, Furrow irrigation, Inflow rate, Model calibration, WinSRFR3.1 model

مقدمه

کاربرد آب و کارآیی مصرف آب بررسی‌هایی صورت گیرد تا در صورت لزوم، توصیه‌های لازم را جهت افزایش بازده کاربرد آب و کارآیی مصرف آب و عملکرد آبیاری ارائه نمود (معروف پور 1376). سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی (FAO) در دومین گردهمایی جهانی آب در سال 2000، توجه جدی به افزایش بهره‌وری آب داشته و پیشنهاد کرده است که تا سال 2015 بهره‌وری آب جهت تولید محصول در زمین‌های کشاورزی آبی و

در نواحی خشک و نیمه‌خشک به علت کم بودن مقدار بارندگی، آبیاری از ضروریات کشاورزی است. با توجه به محدودیت منابع آب در کشور، کاهش تلفات آب آبیاری و افزایش بازده آبیاری یکی از اصول اساسی در توسعه کشاورزی پایدار است. با استفاده بهینه از آب و بالا بردن بازده آبیاری می‌توان زمین‌های بیشتری را به زیر کشت برد (کانونی 1386). بنابراین لازم است که در زمینه بازده

(1984) بازده کاربرد آب را در آبیاری جویچه‌ای در طرح‌هایی که به‌خوبی طراحی شده و چند سالی در حال بهره‌برداری باشند از 55 تا 70 درصد گزارش نموده است. معروف پور (1376) بازده کاربرد آب را در دو مزرعه به‌طور متوسط 69 و 52 درصد برآورد کرده است. در تحقیق فوق مزارع به‌روش آبیاری جویچه‌ای انتها بسته آبیاری می‌شدند. مصطفی‌زاده و فرزام نیا (1379) در تحقیقی در مزارع آزمایشی شروندان و دانشگاه صنعتی اصفهان نشان دادند که روش کاهش دبی در مزارع با بافت خاک سنگین، در مقایسه با مزارع با بافت خاک سبک، دارای کاربرد بیشتری (73/9 درصد در مقایسه با 51/2 درصد) بود. نتایج آزمایش‌ها ملوحی و همکاران (1385) نشان دادند که بازده کاربرد آب در مزرعه در آبیاری‌های مختلف ثابت نبوده به‌طوری‌که در جویچه‌های بازسازی نشده از 43 درصد در ابتدای فصل رشد تا 63 درصد در انتهای فصل رشد و در جویچه‌های بازسازی شده از 48 درصد در ابتدای فصل رشد تا 75 درصد در انتهای فصل رشد متغیر بوده است. باکر (2006) در بررسی بازده کاربرد و نفوذ آب در آبیاری جویچه‌ای نیشکر برای بهبود زمین‌های شمال غربی استرالیا، افزایش 20% بازده کاربرد آب را گزارش کردند. گراترول و همکاران (1993) در بررسی آبیاری یک‌درمیان متغیر برای تولید لوبیای روغنی در آمریکا گزارش کردند که آبیاری یک‌درمیان بدون ایجاد تنش برای گیاه، باعث بالا رفتن بازده کاربرد آب می‌شود. ایزدی و والندر (1985) تأثیر تغییرات زمانی شدت جریان ورودی و عمق جریان را بر روی نفوذپذیری جویچه و مشخصات مقطع مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در خاک لومی رسی درز و ترک‌دار نفوذ زیاد بود و با افزایش عمق جریان به‌طور سریع در این خاک نفوذپذیری افزایش یافت. وجود درز و ترک در خاک می‌تواند در مقدار نفوذ تأثیر گذاشته و تأثیر محیط خیس شده در مقدار نفوذ را تحت تأثیر قرار دهد. ولی وقتی که

دیم باید 30 درصد افزایش یابد. همچنین افزایش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی تا سال 2030 به‌میزان 23 درصد برای اراضی آبی و 9 درصد برای اراضی دیم تخمین زده شده است (بی‌نام 2000). بازده آبیاری یکی از معیارهای اساسی در طراحی، مدیریت و بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی است. تحقیقات نشان می‌دهد که بازده آبیاری در ایران پایین‌تر از سطوح جهانی است (احسانی و خالدی 1382). بهبود مدیریت کاربرد آب در مزرعه باعث صرفه‌جویی در آب، نیروی کار و حفاظت از خاک شده و علاوه بر آن موجبات افزایش محصول را فراهم می‌سازد. ارزیابی یک سیستم باید علاوه بر اندازه‌گیری، سودمندی روش آبیاری موجود را نیز نشان دهد (شینئی دشتگل و همکاران 1386). ایزدی و استادر (1991) بازده کاربرد آب را در یک مزرعه نیشکر در آمریکا در 20 جویچه مجاور همدیگر در سه حالت آبیاری به‌صورت پیوسته، آبیاری با کاهش جریان و آبیاری ناپیوسته (موجی) بررسی کردند و بازده کاربرد آب را در حدود 40 تا 60 درصد گزارش نموده‌اند. در میان عوامل متعددی که برای قضاوت کفایت یک آبیاری یا سیستم آبیاری به‌کار می‌رود معمول‌ترین آن‌ها مؤثر بودن کاربرد آب است. با یک پارامتر واحد نمی‌توان عملکرد آبیاری را مورد ارزیابی قرار داد و لذا چهار پارامتر برای ارزیابی پیشنهاد گردید (واکر و ویلاردسون 1983). هارت و همکاران (1979) به این نتیجه رسیدند که کفایت یک آبیاری بستگی به آب ذخیره شده در ناحیه رشد گیاه، آب نفوذ کرده در زیر ناحیه ریشه، رواناب سطحی یا پایاب، یکنواختی توزیع آب و ظرفیت ذخیره استفاده‌نشده خاک پس از آبیاری دارد. اسمیت و همکاران (2005) در کوئینزلند استرالیا با مطالعات وسیع روی 79 مورد آبیاری جویچه‌ای که زیر کشت پنبه قرار داشتند بازده کاربرد آب را 17 تا 100 و به‌طور متوسط 48 درصد گزارش کرده‌اند. دالتون و همکاران (2001) نیز بازده کاربرد آب را حدوداً 50 درصد به‌دست آورده‌اند. بی‌نام

مشخصی از دو پارامتر مذکور توسط مدل شبیه‌سازی شدند و در نهایت بهترین مقدار انتخاب گردید.

مواد و روش‌ها

پایه نظری مدل WinSRFR3.1

این مدل یک بسته نرم‌افزاری برای تحلیل هیدرولیک سیستم‌های آبیاری سطحی هست که توسط وزارت کشاورزی و مرکز تحقیقات کشاورزی آمریکا عرضه شده است (باتیستا و همکاران 2009). یکی از محدودیت‌های اساسی در تحلیل سیستم‌های آبیاری سطحی، عدم قطعیت خواص هیدرولیکی و خصوصیات خاک هست که به صورت زمانی و مکانی تغییر می‌کنند و اندازه‌گیری آن‌ها مشکل است. بنابراین با استفاده از این مدل می‌توان به بررسی این خصوصیات پرداخت. صفحه اصلی اجرای این مدل دارای چهار بخش تحلیل رویداد¹، شبیه‌سازی²، طراحی فیزیکی³ و تحلیل عملکرد⁴ هست. اولین قدم در فرآیند تحلیلی مدل، ارزیابی عملکرد بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری مزرعه‌ای هست. از این رو گزینه تحلیل رویداد ابزارهایی را برای خلاصه کردن، ترسیم و تحلیل اطلاعات مزرعه‌ای فراهم می‌کند. در این تحقیق از دو بخش تحلیل رویداد و تحلیل عملکرد به ترتیب برای واسنجی مدل و بررسی عملکرد آبیاری جویچه‌ای استفاده شده است (باتیستا و همکاران 2009).

تحلیل رویداد: روش‌های موجود در تحلیل رویداد

برای ارزیابی رویدادهای آبیاری با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای استفاده می‌شوند. همچنین این روش‌ها به منظور برآورد پارامترهای نفوذ موردنیاز برای ارزیابی، شبیه‌سازی، طراحی فیزیکی، و تحلیل عملکرد مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش‌ها از اصل توازن جرم برای تعیین وضعیت آب آبیاری استفاده می‌کنند. سه

در خاک درز و ترک نباشد، همبستگی خوبی بین تغییرات محیط خیس شده و تغییرات مکانی و زمانی نفوذ وجود دارد و به طور تقریبی یک‌سوم تغییرات نفوذ در آن‌ها ناشی از تأثیر محیط خیس شده است. تروت (1996) تأثیر تغییرات دبی ورودی و نفوذ را بر روی مدیریت آبیاری جویچه‌ای مورد بررسی قرار داد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که تغییر نفوذ از جویچه‌ای به جویچه دیگر باعث غیریکنواختی در شدت جذب آب در خاک، سرعت پیشروی آب در جویچه‌ها و شدت رواناب از انتهای جویچه می‌شود و تغییرات نفوذ از جویچه‌ای به جویچه‌ای دیگر در یک ترکیب با تغییر دبی ورودی به جویچه باعث می‌شود که در مزرعه آبیاری برای رسیدن به یک‌زمان پیشروی مناسب، دبی ورودی را افزایش داده تا تعدادی از جویچه‌ها به طور مناسب آبیاری شوند. تغییرات نفوذ همچنین باعث می‌شود که آبیاری زمان آبیاری را برای این‌که در جویچه‌هایی با نفوذ کم آبیاری کامل انجام شود بیشتر در نظر بگیرند و معمولاً تغییرات نفوذ از جویچه‌ای به جویچه دیگر باعث خواهد شد که تغییرات آب مورد استفاده بیشتر از تفاوت زمان فرصت نفوذ در طول جویچه‌ها شود و به علت این تغییرات این آبیاری در آبیاری جویچه‌ای اگر می‌خواهد که آب کافی به بیش از 80 درصد مزرعه‌اش برسد باید در کمترین شرایط 30 درصد بیشتر از نیاز آبیاری کند. گراسی (1972) با انجام آزمایش‌های نفوذپذیری در جویچه‌هایی با خاک‌های سنگین و شدت جریان ورودی مختلف، ملاحظه نمود که در جویچه‌هایی که شدت جریان ورودی بیشتری داشته‌اند آب بیشتری نفوذ کرده و نتیجه گرفت در جویچه مقدار نفوذ به شدت جریان ورودی نیز بستگی دارد.

در این تحقیق به منظور ارزیابی سیستم‌های آبیاری جویچه‌ای اجرا شده در کشت و صنعت امیرکبیر و دستیابی به مقدار بهینه برای شدت جریان ورودی و زمان قطع جریان چهار پارامتر بازده کاربرد آب، ضریب یکنواختی، درصد نفوذ عمقی و درصد رواناب برای بازه

¹ Event Analysis World

² Simulation World

³ Physical Design World

⁴ Operations Analysis World

تعداد حجمی به وسیله نتایج یک شبیه‌سازی اینرسی - صفر تنظیم می‌شوند. یک تعادل حجمی قابل کاربرد در فاز پیشروی آبیاری، رابطه 1 را به دست می‌دهد که با نفوذپذیری به دست آمده از معادله کوستیاکوف اصلاح شده ترکیب شده‌اند:

$$V_Q = V_Y + V_Z = f_0 s_Y A_0 X_A + (s_{Z1} K t^a + s_{Z2} b t + c) W X_A \quad [1]$$

در این معادله σ_Y ضریب شکل آب سطحی، σ_{Z1} و σ_{Z2} ضرایب شکل پروفیل زیر سطحی که به ترتیب با بخش خطی و غیرخطی معادله کوستیاکوف اصلاح شده ترکیب شده‌اند، A_0 مساحت جریان بالادست، ϕ_0 پارامتر واسنجی روش‌های طراحی هست. τ_0 فرصت نفوذ در انتهای بالادست زمین، W واحد عرض کرت، نوار و یا فاصله جویچه‌ها هست. عبارت داخل پرانتز نشان‌دهنده عمق آب نفوذ یافته در عرض نوار، کرت، یا جویچه هست. σ_Y به متوسط سطح مقطع جریان از سطح جریان تا A_0 مربوط است. درحالی‌که این پارامتر با شرایط هیدرولیکی و زمان تغییر می‌کند ولی اغلب ثابت فرض می‌شود ($\approx 0/70$). عبارات σ_{Z1} و σ_{Z2} با یک رابطه نمایی بین فاصله پیشروی و زمان بر حسب a و r نشان داده می‌شوند:

$$x_A = p t^r \quad [2]$$

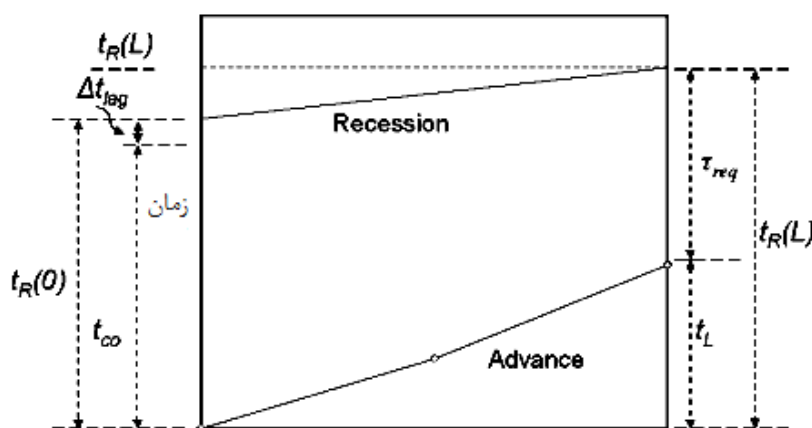
در معادله 2، t زمان از شروع آبیاری و p و r پارامترهای تجربی هستند. معادله 1 را می‌توان یکبار برای پیشروی به انتهای زمین و یکبار برای پیشروی تا وسط زمین نوشت و با تعیین ϕ_0 به صورت زیر، معادلات پیشروی، زمان‌های پسروی برای محاسبه فرصت نفوذ در طول جویچه و پروفیل نفوذی بعد از آبیاری، مورد نیاز می‌باشند. روش ساده شده تعادل حجمی در WinSRFR، پسروی را از ابتدا تا انتهای جویچه یکنواخت فرض می‌کند. نقاط شروع و پایانی منحنی پسروی، $t_R(0)$ و $t_R(L)$ به ترتیب، با این فرض محاسبه می‌شوند که کمینه عمق نفوذپذیری در توزیع بعد از آبیاری، نیاز Z_{req} را در

روش ارزیابی این مدل عبارت‌اند از: تحلیل پروفیل نفوذ از بررسی داده‌های نفوذ، روش توازن حجم مریام - کلا و روش دو نقطه‌ای الیوت - واکر (1982). مدل WinSRFR از فرمول‌های تجربی برای محاسبات نفوذ استفاده می‌کند. همچنین در این مدل از چهار گزینه برای شبیه‌سازی محیط خیس شده استفاده می‌شود که عبارت‌اند از: استفاده از فاصله جویچه‌ها به عنوان محیط خیس شده، محیط خیس شده تجربی (NRCS)، محیط خیس شده معرف بالادست و محیط خیس شده محلی (باتیستا و همکاران 2009).

تحلیل عملکرد: این مدل در بخش تحلیل عملکرد

سیستم آبیاری، حداکثر عملکرد آبیاری را بر اساس تابعی از میزان جریان ورودی و زمان قطع جریان برای یک سیستم با ابعاد، شیب و خصوصیات خاک مشخص بررسی می‌کند. پارامترهای عملکردی تحلیل شده توسط مدل شامل یکنواختی توزیع، پتانسیل بازده کاربرد، ضرایب نفوذ عمقی و رواناب، کمینه عمق نفوذ یافته، کل آب بکار رفته و نسبت زمان قطع جریان به زمان پیشروی هست. این ابزارها به کاربر اجازه می‌دهند تا به جستجوی ترکیبات متغیرهای تصمیم‌گیری بپردازد که منجر به سطوح بالایی از یکنواختی و کارایی می‌شود درحالی‌که محدودیت‌های عملی و هیدرولیکی را توجیه می‌کند. در این مدل تحلیل عملکرد آبیاری به دو روش استفاده از کمینه عمق نفوذ به عنوان عمق نفوذ مورد نیاز ($D_{min} = D_{req}$) یا استفاده از عمق نفوذ در چارک پایین به عنوان عمق نفوذ مورد نیاز ($D_{1q} = D_{req}$)، انجام می‌شود. داده‌های ورودی مورد نیاز عبارت‌اند از شکل هندسی جویچه، پارامترهای نفوذ، ضریب زبری و نیاز آبیاری. همچنین باید بازه‌ای برای شدت جریان ورودی و زمان قطع جریان تعیین شود. این مدل از روش تعادل حجمی برای برآورد حجم آب سطحی استفاده می‌کند تا پیشروی و پسروی و در نهایت پروفیل نفوذی و عملکرد آبیاری را محاسبه کند. نتایج

انتهای پایین دست جویچه برآورده می‌کند. شکل 1 این محاسبات را تعریف می‌کند.



فاصله از ابتدای جویچه

شکل 1- منحنی پیشروی و پسروی در مدل WinSRFR.

می‌شود. حجم سطحی در زمان قطع جریان به وسیله حجم سطحی در نتیجه پیشروی برآورد می‌شود که به وسیله سومین پارامتر واسنجی ϕ_1 تنظیم می‌شود. این فرضیه با شیب‌های تند منطقی است اما با شیب‌های یکنواخت و مسطح کمتر دقیق است.

پارامترهای ϕ_0 ، ϕ_1 و ϕ_2 نتایج تعادل حجمی را تنظیم می‌کنند تا نتایج اینرسی - صفر را با آن در یک نقطه واسنجی تطبیق دهند. از ϕ_0 برای تطبیق t_L استفاده می‌شود. پارامتر ϕ_1 ، t_{co} را تنظیم می‌کند تا با عمق نفوذی پایین دست منطبق شود (که در نهایت باید با Z_{req} برابر شود). در نهایت Δt_{lag} با تغییر ϕ_2 برای تطبیق حجم نفوذی نهایی تنظیم می‌شود. این تنظیمات به یکدیگر مرتبط و به صورت تکراری اجرا می‌شوند تا وقتی که مقادیر ثابت برای تمام پارامترهای واسنجی یافت شود. زمان اجرای بخش تحلیل عملکرد، WinSRFR یک نقطه متوسط در بازه متغیرهای تصمیم‌گیری (زمان قطع جریان و شدت جریان ورودی) را به عنوان نقطه واسنجی اولیه انتخاب می‌کند. در صورتی که محاسبات مشکل شوند این نقطه را می‌توان تغییر داد. در تحلیل طرح، نقطه واسنجی اولیه در انتهای

با معلوم بودن زمان پیشروی به انتهای زمین (t_L) و فرصت نفوذ برای عمق نفوذی موردنیاز (t_{req})، $t_R(L)$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$t_R(L) = t_L + t_{req} \quad [3]$$

درحالی که در ابتدای جویچه:

$$t_R(0) = t_{co} + D_{lag} \quad [4]$$

در معادله 4، t_{co} زمان قطع جریان و Δt_{lag} زمانی است که صرف می‌شود تا عمق آب در ابتدای جویچه صفر شود که از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$D_{lag} = f_2 \frac{A_0(t_{co})L}{2Q_{in}} \quad [5]$$

در این رابطه ϕ_2 دومین پارامتر واسنجی هست. t_{co} را می‌توان با یک عبارت تقریبی بعد از قطع جریان تعیین کرد:

$$t_{co} = t_R(L) - f_1 \frac{V_Y(t_L)}{Q_{in}} \quad [6]$$

در فاصله زمانی بین قطع جریان و پسروی در انتهای جویچه تمام آب سطحی در اصل در تخلیه یا برون‌ریزی قطع جریان به وسیله نفوذپذیری در رواناب در یک سرعت ترکیبی معادل جریان ورودی به قطع جریان نشان داده

بین روش‌های موجود، روش دونقطه‌ای الیوت - واکر انتخاب گردید. سپس مدت‌زمان پیشروی آب تا نقطه وسط و انتهای جویچه، سرعت نفوذ نهایی و سایر پارامترهای موردنیاز که از آزمایش‌های صحرائی به‌دست آمده بودند، در مدل وارد گردید و ضرایب a و k توسط مدل برآورد شد. پس از واسنجی مدل و تعیین ضرایب معادله نفوذ، از بخش تحلیل عملکرد برای ارزیابی آبیاری استفاده شد. در بخش تحلیل عملکرد، کمینه عمق نفوذ به‌عنوان عمق نفوذ موردنیاز ($D_{min} = D_{req}$) انتخاب گردید. اطلاعات ورودی در این قسمت عبارت‌اند از: عمق آب موردنیاز، اطلاعات هندسی جویچه، ضریب زبری مانینگ، ضرایب معادله نفوذ و بازه‌ای برای شدت جریان ورودی و زمان قطع جریان که باید توسط مدل تحلیل شود.

معیارهای ارزیابی آبیاری جویچه‌ای
بازده کاربرد آب $(E_a)^5$

$$E_a = \frac{Z_i}{Z_d} \quad [7]$$

که در آن Z_i و Z_d به‌ترتیب متوسط عمق آب نفوذ یافته به منطقه ریشه و متوسط عمق آب به‌کاربرده شده در مزرعه است.

یکنواختی توزیع $(D_u)^6$

$$D = \frac{Z_{LQ}}{\bar{Z}} \cdot 100 \quad [8]$$

که در آن Z_{LQ} و \bar{Z} به‌ترتیب متوسط عمق آب نفوذ یافته در چارک پایین مزرعه و متوسط عمق آب نفوذ شده در کل مزرعه است.

نسبت نفوذ عمقی $(DPR)^7$

$$DPR = \frac{Z_p}{Z} \cdot 100 \quad [9]$$

نسبت پایاب $(TWR)^8$

فوقانی محدوده طول و نقطه میانی محدوده عرض واقع می‌شود.

در تحلیل عملکرد، کاربرد ابتدا یک محدوده نسبتاً گسترده را برای متغیرهای تصمیم‌گیری تعیین می‌کند تا نمای کلی از رفتار سیستم را به‌دست آورد. زمانی که یک راه‌حل مناسب شناسایی شد، کاربرد می‌تواند محدوده متغیرهای تصمیم‌گیری را کاهش دهد. خطای مدل با تنظیم موقعیت نقطه واسنجی کاهش می‌یابد. کاربرد می‌تواند کفایت نقطه تنظیم را با انتخاب آن در منطقه موردعلاقه بررسی کند. WinSRFR شبیه‌سازی جریان ناپایدار را در آن نقطه انجام می‌دهد و نتایج را با محاسبات تعادل حجمی مقایسه می‌کند. اگر نتایج رضایت‌بخش نباشند، پلات کنترلر با یک نقطه تنظیم بازسازی می‌شود که نزدیک به منطقه موردتوجه است. این نرم‌افزار نوارها و شیارهای انتها بسته و شیارهای با جریان کاهشی را نیز شبیه‌سازی می‌کند. مراحل به‌کاررفته برای هر نوع سیستم در فرضیه‌های ایجادشده برای محاسبه زمان پسروی اولیه و قطع جریان متفاوت است. بنابراین از معادلات اصلاح‌شده 5 و 6 استفاده می‌شود.

در این تحقیق برای واسنجی مدل از بخش تحلیل رویداد مدل استفاده‌شده است که در این بخش از بین روش‌های موجود، روش توازن حجم مریام - کلر انتخاب گردید. برای واسنجی مدل، ابتدا اطلاعات ورودی موردنیاز از قبیل اطلاعات هندسی جویچه، ضریب زبری، هیدروگراف جریان ورودی و خروجی و زمان پیشروی و پسروی آب در جویچه در مدل وارد شد. همچنین مقادیر اندازه‌گیری شده ضرایب a و b در معادله کوستیاکوف لوئیس در مدل وارد گردید. سپس با ترکیب‌های مختلفی از مقادیر، مدل به‌صورت دستی واسنجی شد به‌طوری‌که منحنی پیشروی اندازه‌گیری شده بر منحنی پیشروی پیش‌بینی‌شده توسط مدل منطبق گردد. برای تعیین ضرایب معادله نفوذ کوستیاکوف لوئیس در حالت انتها بسته از بخش تحلیل رویداد مدل استفاده شد. بدین‌صورت که در این بخش از

⁵ Application efficiency

⁶ Distribution uniformity

⁷ Deep percolation ratio

⁸ Tail water ratio

جویچه 45 سانتی‌متر، عرض سطح جویچه 103 سانتی‌متر و عمق جویچه 13 سانتی‌متر هست. طول هر جویچه 250 متر و شیب جویچه‌ها 0/04 درصد بود. برای اندازه‌گیری شدت جریان از فلوم فایبرگلاس W.S.C تیپ دو استفاده شد. ورودی و خروجی‌های جریان توسط سنجش عمق جریان در فلوم‌ها اندازه‌گیری گردید و با استفاده از رابطه دبی - اشل ارائه شده توسط کارخانه سازنده فلوم، شدت جریان ورودی و خروجی برای هر قطعه تعیین شد. آبیاری تا زمانی انجام شد که مقدار جریان خروجی از فلوم انتهایی به مقدار ثابتی رسیده باشد. جهت اندازه‌گیری محیط خیس شده و سطح مقطع جریان از دستگاه مقطع سنج استفاده شد. زمان پیشروی و پسروی به فواصل 10 متری اندازه‌گیری و ثبت گردید.

شدت نفوذ نهایی خاک از رابطه زیر تعیین شد:

$$f_0 = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{L} \quad [11]$$

که در این رابطه Q_{in} و Q_{out} به ترتیب شدت جریان ورودی و خروجی ($m^3 \min^{-1}$) برای حالتی است که قرائت فلوم خروجی به مقدار ثابتی برسد، L طول شیار (m) و f_0 شدت نفوذ نهایی خاک ($m^3 m^{-1} \min^{-1}$) هست.

برای تعیین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف لوئیس از روش دونقطه‌ای الیوت و واکر (1982) استفاده شد. در این روش با تعیین f_0 از هیدروگراف جریان ورودی و خروجی و با استفاده از اندازه‌گیری‌های زمان پیشروی در نقطه وسط و انتهای جویچه پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف لوئیس به دست آمد.

نتایج و بحث

ضرایب معادله نفوذ

پس از اندازه‌گیری پارامترهای موردنیاز و تعیین معادله پیشروی آب در جویچه، ضرایب معادله نفوذ به دست آمد. هیدروگراف جریان ورودی و خروجی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل در شکل 2 ارائه شده است.

$$TWR = \frac{Z_{Ro}}{\bar{Z}} \cdot 100 \quad [10]$$

که در این روابط Z_{Ro} ، Z_P و \bar{Z} به ترتیب متوسط عمق آب نفوذ عمقی، متوسط عمق رواناب مزرعه و متوسط عمق آب به کار برده شده‌اند.

فرضیات شبیه‌سازی مسئله: هدف از این تحقیق ارزیابی آبیاری جویچه‌ای اجرا شده در مزارع کشت و صنعت امیرکبیر و دستیابی به بهترین گزینه برای شدت جریان ورودی و زمان قطع جریان جهت دستیابی به بیشینه عملکرد آبیاری است. جهت ارزیابی آبیاری جویچه‌ای در این تحقیق از معیارهای بازده کاربرد آب، ضریب یکنواختی، درصد نفوذ عمقی و درصد روان آب استفاده شده است. در این تحقیق جویچه‌ای به طول 250 متر، فواصل جویچه‌ها 1/83 متر، شیب 0/04 درصد به دو حالت جویچه انتها بسته و جویچه انتها باز شبیه‌سازی شد که هر یک از این دو حالت با جریان ورودی در بازه 1 الی 4 لیتر بر ثانیه و زمان آبیاری 7 الی 19 ساعت بررسی شد. حالت جریان ورودی 1/5 لیتر بر ثانیه و زمان آبیاری 10 ساعت معرف وضعیت موجود اجرا شده در مزرعه است.

آزمایش‌های صحرائی

این تحقیق در سال زراعی 1389-1390 در مزرعه تحقیقاتی ARC2-7 از مزارع مرکز تحقیقات نیشکر واقع در کشت و صنعت امیرکبیر اهواز به اجرا درآمد. آبیاری این مزارع بدین صورت است که عمق آبیاری در فصل زراعی ثابت می‌ماند و با توجه به نیاز آبی، دور آبیاری متغیر است به طوری که عمق آب آبیاری در هر دور آبیاری 100 میلی‌متر و دور آبیاری از 6 روز در تیرماه تا 30 روز در دی‌ماه متغیر است. آزمایش‌ها در یک پلات شامل سه جویچه انجام گرفت که جویچه میانی جهت اندازه‌گیری و جویچه‌های کناری به عنوان جویچه‌های محافظ در نظر گرفته شدند. فاصله جویچه‌ها 1/83 متر، عرض کف

$$Z = kt^a + f_0 t \quad [13]$$

در این رابطه Z عمق نفوذ تجمعی ($m^3 m^{-1}$)، t زمان (min)، f_0 سرعت نفوذ نهایی ($m^3 m^{-1} min^{-1}$) و k ضریب معادله نفوذ ($m^3 m^{-1} (min)^{-a}$) هست. به منظور استفاده از ضرایب معادله نفوذ در بخش تحلیل عملکرد مدل، می‌بایست ضرایب حاصل از روش دونقطه‌ای الیوت و واکر به صورت زیر تبدیل واحد شوند که پس از تبدیل واحد ضرایب معادله نفوذ توسط مدل، این معادله به صورت رابطه 14 تعیین شد.

$$Z = 10t^{0.45} + 7t \quad [14]$$

در این معادله Z عمق نفوذ تجمعی (mm)، t زمان (hr)، f_0 : سرعت نفوذ نهایی ($mm hr^{-1}$) و k : ضریب ($mm hr^{-a}$) هستند.

سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده در مزرعه در جدول 1 ارائه شده است.

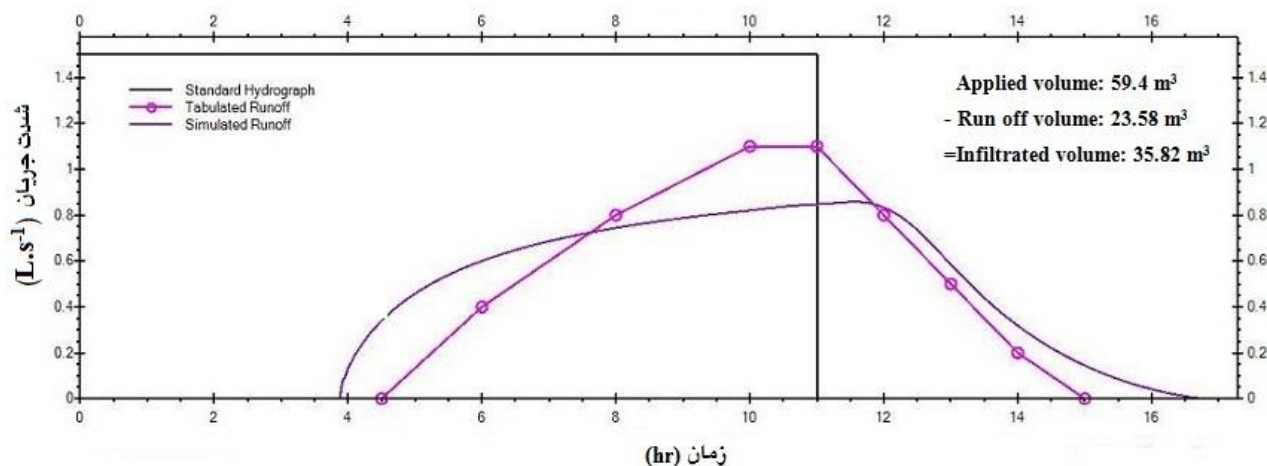
جدول 1- پارامترهای اندازه‌گیری شده در مزرعه.

L (m)	Q_{out} (Ls^{-1})	Q_{in} (Ls^{-1})	t_{co} (hr)	A_0 (m^2)	WP (m)	$t_{0.51}$ (hr)	t_1 (hr)
250	1/1	1/5	11	0/035	0/82	1/6	4/5

معادله پیشروی آب در جویچه به صورت معادله زیر تعیین شد:

$$x = 5.9t^{0.67} \quad [12]$$

در این معادله x فاصله پیشروی آب در جویچه (m) و t زمان از شروع آبیاری (دقیقه) هست. با استفاده از ضرایب معادله پیشروی آب در جویچه و هیدروگراف جریان ورودی و خروجی ضرایب معادله نفوذ کوستیاکوف لویس به روش دونقطه‌ای تعیین شدند:

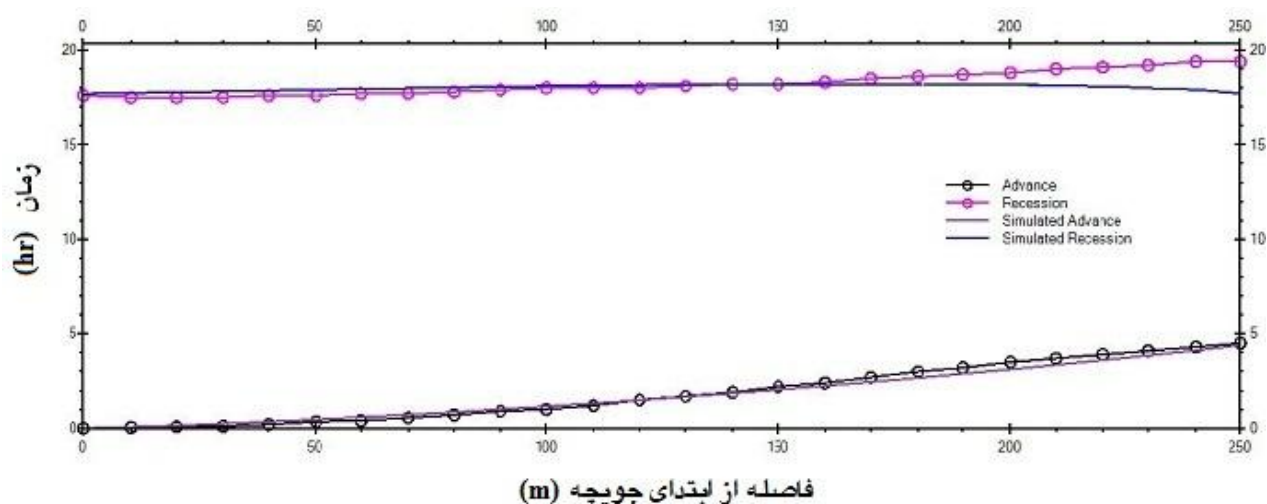


شکل 2- شدت جریان ورودی و خروجی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده.

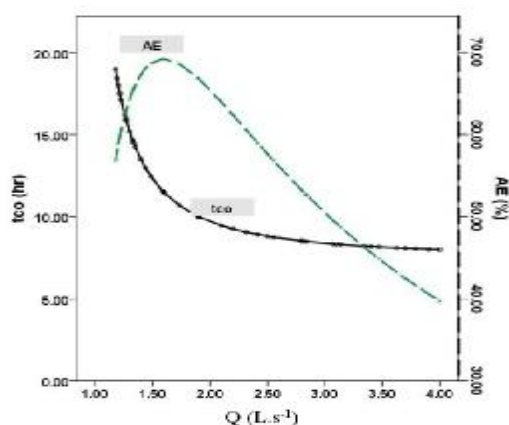
پیش‌بینی شده توسط مدل در شکل 3 ارائه شده است. با انجام واسنجی مدل، ضریب زبری مانینگ 0/04 تعیین شد.

واسنجی مدل

در این تحقیق برای واسنجی مدل از زمان پیشروی استفاده شد. زمان پیشروی و پسروی اندازه‌گیری شده و



شکل 3- منحنی پیشروی و پسروی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده پس از واسنجی مدل.



شکل 4- نمودار بازده کاربرد آب نسبت به تغییرات شدت جریان ورودی و زمان قطع جریان در جویچه انتها باز.

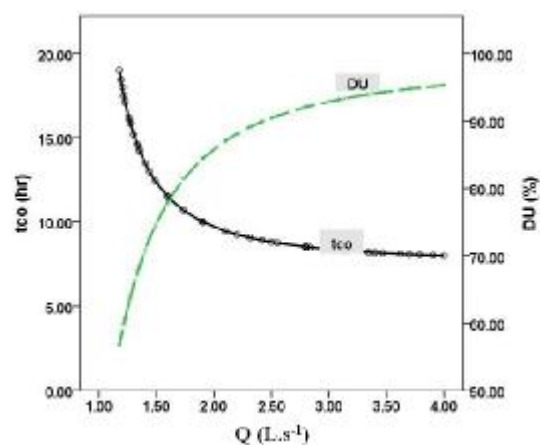
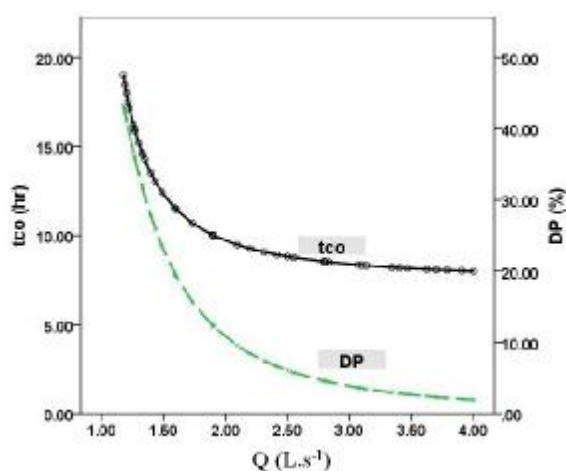
شبیه‌سازی جویچه انتها باز

پس از واسنجی مدل و تعیین ضرایب معادله نفوذ در بخش تحلیل عملکرد نرم‌افزار، جویچه موردنظر شبیه‌سازی گردید و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفت. منحنی تغییرات مقدار بازده کاربرد آب نسبت به تغییرات شدت جریان ورودی و زمان قطع جریان برای جویچه انتها باز در شکل 4 ارائه شده است. مطابق شکل بیشترین بازده کاربرد آب 70 درصد و مربوط به دبی ورودی 1/6 لیتر بر ثانیه و زمان آبیاری 11/5 ساعت هست. همچنین کمترین مقدار زمان آبیاری برای تأمین کمینه عمق آبیاری موردنیاز در جویچه انتها باز 8 ساعت و با دبی کمینه 3 لیتر بر ثانیه هست.

منحنی تغییرات یکنواختی توزیع آب نسبت به تغییرات شدت جریان ورودی و زمان قطع جریان برای جویچه انتها باز در شکل 5 ارائه شده است. طبق نتایج حاصل هرچه دبی ورودی بیشتر و زمان قطع جریان کمتر باشد یکنواختی توزیع آب بیشتر خواهد بود.

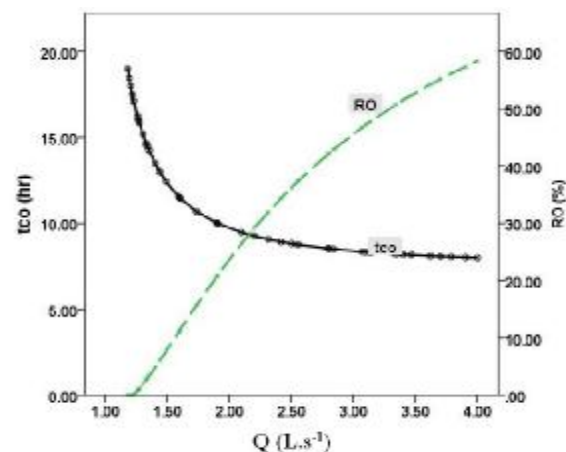
به اینکه سرعت نفوذ نهایی آب در خاک و زمان پیشروی در حالت انتها بسته تغییر نمی‌کند، با وارد کردن این پارامترها در مدل و انتخاب گزینه جویچه انتها بسته، مدل ضرایب a و k را برای جویچه موردنظر در حالت انتها بسته تعیین می‌کند که در نهایت معادله نفوذ برای جویچه انتها بسته به صورت زیر تعیین شد:

$$Z = 18t^{0.33} + 7t \quad [15]$$



شکل 5- نمودار یکنواختی توزیع آب نسبت به تغییرات شدت جریان ورودی و زمان قطع جریان در جویچه انتها باز.

شکل 6- نمودار درصد نفوذ عمقی نسبت به تغییرات شدت جریان ورودی و زمان قطع جریان در جویچه انتها باز.



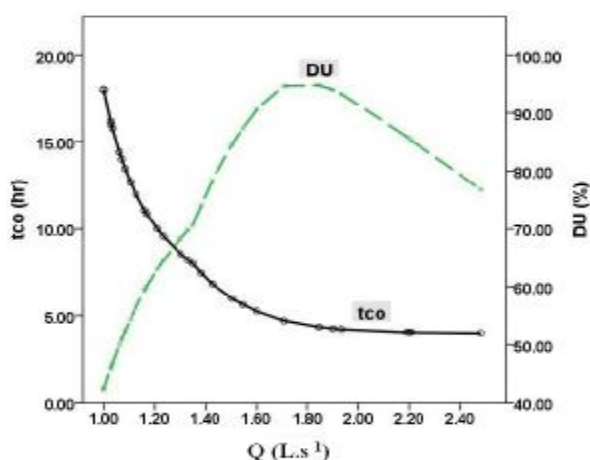
شکل 7- نمودار رواناب خروجی نسبت به تغییرات شدت جریان ورودی و زمان قطع جریان در جویچه انتها باز.

شکل 6 منحنی تغییرات درصد نفوذ عمقی نسبت به تغییرات شدت جریان ورودی و زمان قطع جریان برای جویچه انتها باز را نشان می‌دهد. مطابق شکل درصد نفوذ عمقی با دبی ورودی رابطه عکس و با زمان آبیاری رابطه مستقیم دارد. یعنی هرچه دبی ورودی بیشتر و زمان آبیاری کمتر باشد درصد نفوذ عمقی کمتر خواهد بود به طوری که در دبی 4 لیتر بر ثانیه و زمان آبیاری 8 ساعت، درصد نفوذ عمقی کمتر از 1 درصد هست. قابل ذکر است که به دلیل محدودیت ابعاد جویچه‌ها آبیاری با دبی بیش از 3 لیتر بر ثانیه غیرممکن بود.

منحنی تغییرات مقدار رواناب خروجی نسبت به تغییرات شدت جریان ورودی و زمان قطع جریان برای جویچه انتها باز در شکل 7 ارائه شده است. طبق نتایج حاصل هرچه دبی ورودی کمتر و زمان قطع جریان بیشتر باشد، رواناب خروجی کمتر خواهد بود. به طوری که در دبی کمتر از 1/2 لیتر بر ثانیه و زمان آبیاری بیشتر از 17 ساعت رواناب خروجی صفر خواهد بود.

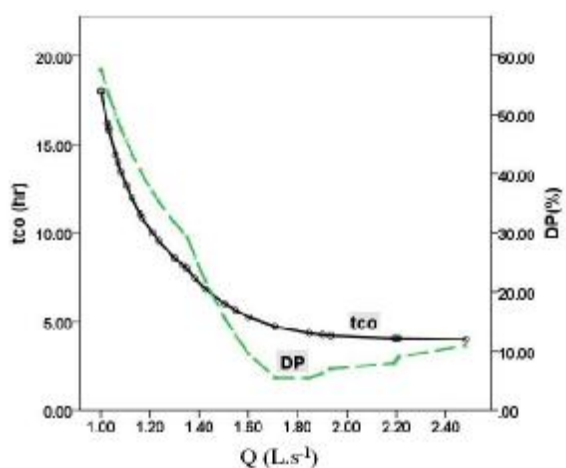
شبیه‌سازی جویچه انتها بسته

برای شبیه‌سازی جویچه در حالت انتها بسته، ضرایب معادله نفوذ در حالت انتها بسته موردنیاز است. با توجه



شکل 9- نمودار یکنواختی توزیع آب نسبت به تغییرات شدت جریان ورودی و زمان قطع جریان در جویچه انتها بسته.

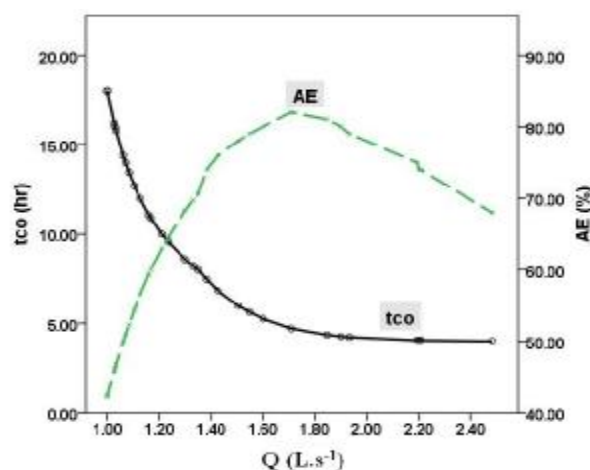
شکل 10 منحنی تغییرات درصد نفوذ عمقی نسبت به تغییرات جریان ورودی و زمان قطع جریان را برای حالت جویچه انتها بسته نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است تا دبی 1/8 لیتر بر ثانیه با افزایش دبی درصد نفوذ عمقی کاهش می‌یابد و پس‌از آن با افزایش دبی درصد نفوذ عمقی افزایش می‌یابد به طوری که کمترین مقدار درصد نفوذ عمقی مربوط به دبی 1/8 لیتر بر ثانیه و زمان آبیاری 5 ساعت است که درصد نفوذ عمقی در این شرایط 5/5 درصد است.



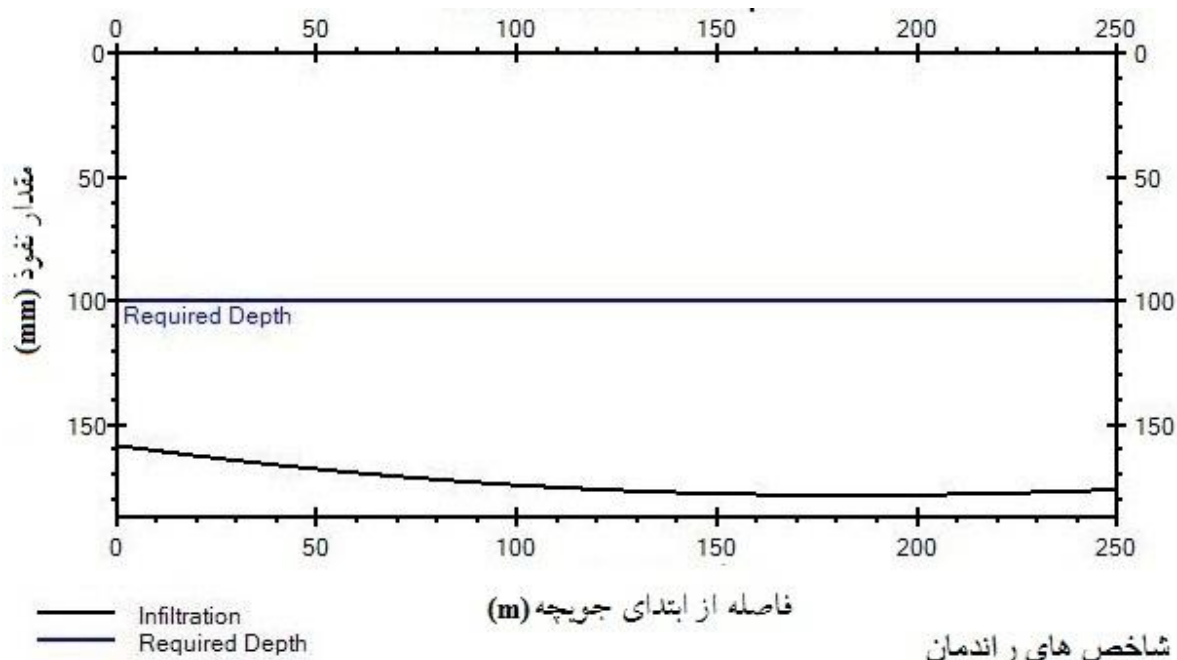
شکل 10- نمودار درصد نفوذ عمقی نسبت به تغییرات شدت جریان ورودی و زمان قطع جریان در جویچه انتها بسته.

شکل 8 منحنی تغییرات بازده کاربرد آب نسبت به تغییرات جریان ورودی و زمان قطع جریان را برای حالت جویچه انتها بسته نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است بیشترین بازده مربوط به دبی ورودی 1/8 لیتر بر ثانیه و زمان آبیاری 5 ساعت است که برابر 82 درصد است. برای وضعیت فعلی اجرا شده در کشت صنعت امیرکبیر با دبی ورودی 1/5 لیتر بر ثانیه بهترین زمان برای رسیدن به حداکثر بازده کاربرد، 7 ساعت است که در این حالت بازده کاربرد برابر 78 درصد خواهد بود. همچنین کمترین مقدار زمان آبیاری برای تأمین کمینه عمق آبیاری موردنیاز در جویچه انتها بسته 4 ساعت و با دبی 2/4 لیتر بر ثانیه است.

منحنی تغییرات یکنواختی توزیع آب نسبت به تغییرات دبی ورودی و زمان قطع جریان برای حالت جویچه انتها بسته در شکل 9 ارائه شده است. مطابق شکل تا دبی 1/8 لیتر بر ثانیه با افزایش دبی مقدار ضریب یکنواختی افزایش می‌یابد و پس‌از آن با افزایش دبی یکنواختی توزیع آب کاهش می‌یابد به طوری که بیشترین مقدار یکنواختی توزیع آب مربوط به دبی 1/8 لیتر بر ثانیه و زمان آبیاری 5 ساعت است که برابر 94 درصد است.



شکل 8- نمودار بازده کاربرد آب نسبت به تغییرات شدت جریان ورودی و زمان قطع جریان در جویچه انتها بسته.



L=250 m	RO=0 %	AE= 58 %
W=1.83 m	Dro=0 mm	DU _{min} =0.91%
Q=1.5 L.s ⁻¹	Dp=42 %	D _{inf} =173mm
T _{co} =10 hr	Ddp=73 mm	D _{min} =158mm
T _L =2.4 hr	Dapp= 173mm	D _{lq} =164mm

شکل 11- عمق آب نفوذی شبیه‌سازی شده توسط مدل برای شرایط اجرا شده کشت و صنعت امیرکبیر.

هفت تپه، بازده کاربرد آب را در دو مزرعه به‌طور متوسط 69 و 52 درصد برآورد کرده است. همچنین با نتایج سازمان حفاظت خاک آمریکا مطابقت دارد که این سازمان بازده کاربرد آب در آبیاری جویچه‌ای را از 55 تا 70 درصد گزارش نموده است (بی‌نام 1984).

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت‌های مادی و معنوی مرکز تحقیقات شرکت توسعه نیشکر و قطب علمی مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی انجام شده است که بدین‌وسیله تقدیر و تشکر می‌شود.

شکل 11 مقدار نفوذ عمقی شبیه‌سازی شده توسط مدل برای شرایط اجرا شده در کشت و صنعت امیرکبیر (شدت جریان ورودی 1/5 لیتر بر ثانیه، زمان آبیاری 10 ساعت و جویچه انتها بسته) را نشان می‌دهد. طبق نتایج حاصل در شرایط آبیاری موجود بازده کاربرد آب، یکنواختی توزیع آب و درصد نفوذ عمقی به‌ترتیب برابر با 58، 91 و 42 درصد است. این نتایج تقریباً با نتایج شینی دشتگل و همکاران (1386) و معروف پور (1376) مطابقت دارد که شینی دشتگل و همکاران بازده کاربرد آب در کشت و صنعت امیرکبیر را 50 درصد محاسبه کرده بودند و معروف پور در مزارع کشت و صنعت نیشکر

منابع مورداستفاده

- احسانی م و خالدی ح، 1382. بهره‌وری آب در کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شماره 82، 116 صفحه.
- شینئی دشتگل ع، 1386. اثر آبیاری یک در میان جویچه‌ای روی بازده کاربرد، کارایی مصرف آب و خصوصیات کمی و کیفی نیشکر در اراضی نیشکر جنوب اهواز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- کانونی ا، 1386. ارزیابی بازده آبیاری جویچه‌ای تحت مدیریت‌های مختلف در منطقه مغان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد 8، شماره 2، صفحه‌های 17 تا 32.
- مصطفی‌زاده ب و فرزنام‌نیا م، 1379. بررسی عملکرد هیدرولیکی آبیاری جویچه‌ای در روش‌های مختلف مدیریت دبی جریان. مجموعه مقالات علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد 4، شماره 3، صفحه‌های 1 تا 11.
- معروف‌پور ع، 1376. ارزیابی راندمان‌های آبیاری در مزارع شرکت کشت و صنعت نیشکر هفت تپه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ملوحی ح، 1385. بازده‌های کاربرد آب در مزارع نیشکر (واحد امیرکبیر) در دو حالت جویچه‌های بازسازی شده و بدون بازسازی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

- Anonymous, 1984. National Engineering Handbook, Section 15. Furrow Irrigation. USDA-SCS (US Department of Agriculture, Soil Conservation Service) National Technical Information Service, Washington, DC, Chapter 5
- Anonymous, 2000. Crops and Drops, Land and Water Development Division. FAO. Rome Italy.
- Bakker DM, 2006. Application efficiencies and furrow infiltration functions of irrigation sugarcane in the Ord River Irrigation Area of north Western Australia and the scrape for improvement. *Agricultural Water Management* 83(1-2):162-172.
- Bautista E, Clemmens AJ and Strelkoff TS, 2009. Modern analysis of surface irrigation systems with WinSRFR. *Agricultural Water Management* 96(7): 1146–1154
- Dalton P, Raine SR and Broadfoot K, 2001. Best management practices for maximizing whole farm irrigation efficiency in the Australian cotton industry. National Center for Engineering in Agriculture Report 179707/2. USQ. Toowoomba
- Elliot RL and Walker W R, 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. *Transactions of the ASAE* 26(6): 1726-1731
- Grassi CJ, 1972. Infiltration characteristic of furrow Irrigation in a heavy textured soil. PhD thesis. Wageningen.
- Graterol E, Dean E and Roger W, 1993. Alternate-furrow irrigation for soybean production. *Agricultural Water Management* 24(2): 133-145
- Hart WE, Peri G and Skogerboe GV, 1979. Irrigation Performance: An Evaluation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division. ASCE*, IR3:275-288.
- Izadi BD and Studer I, 1991. Maximizing set- wide furrow irrigation application efficiency under full irrigation strategy. *Transactions of the ASAE* 34 (5): 2006-2014.
- Izadi BD and Wallender WW, 1985. Furrow hydraulic characteristics and infiltration. *Trans. ASAE* 28(6): 1901–1908.
- Smith Rj, Raine SR and Minkovich J, 2005. Irrigation application efficiency and deep drainage potential under surface irrigated cotton. *Agricultural Water Management* 71(2):117-130.
- Trout T J, 1996. Furrow irrigation erosion and sedimentation: On-field distribution. *Transactions of the ASAE* 39(5): 1717-1723.
- Walker WR and Willardson LS, 1983. Infiltration measurements for simulating furrow irrigation. *Advances in Infiltration Proceedings of the National Conference. Chicago. IL. USA.* 241-248.