

شبیه‌سازی منحنی پیشروی در آبیاری جویچه‌ای با جریان‌های ورودی پیوسته و کات-بک

سونیا زبردست^{۱*}، سید حسن طباطبائی و بهزاد قربانی

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد؛ sonia_zebardast@yahoo.com

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد؛ Tabatabaei@agr.sku.ac.ir

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد؛ behg1955@yahoo.com

چکیده

آبیاری جویچه‌ای یکی از روش‌های رایج آبیاری سطحی است که رفتار هیدرولیکی آن تحت تاثیر هیدروگراف جریان ورودی است. تخمین دقیق فاز پیشروی جریان، در طراحی، مدیریت و ارزیابی این نوع از سیستم‌های آبیاری سطحی اهمیت فراوان دارد. لذا در این تحقیق فاز پیشروی در شش حالت مختلف هیدروگراف جریان‌های ورودی پیوسته و کاهشی (کات-بک) به جویچه با استفاده از مدل‌های ریاضی آبیاری سطحی شبیه‌سازی شد. آزمایش‌های صحرائی در مزارع پردیس ابوریحان واقع در جنوب شرق استان تهران انجام شد. داده‌های جمع‌آوری شده در مزرعه شامل هیدروگراف جریان ورودی و خروجی، پیشروی، پسروی، سطح مقطع هندسی شیار، شیب مزرعه و عمق آب نفوذ یافته در طول شیارها می‌باشد. نتایج تحقیق نشان داد که کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا (بطور میانگین ۶/۳۲) و بیشترین مقدار ضریب کارایی مدل (بطور میانگین ۰/۹۵)، مربوط به هیدروگراف جریان کاهشی است که بعد از گذشت ۶۰ درصد از زمان قطع جریان، دبی به ۰/۷۵ دبی اولیه کاهش داده شده و بیشترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا (بطور میانگین ۱۲/۳۰) و کمترین مقدار ضریب کارایی مدل (بطور میانگین ۰/۸۳)، مربوط به هیدروگراف جریان پیوسته‌ای بود که با کاهش دبی در حد ۰/۲۵ کل دبی تعریف شده بود. همچنین نتایج نشان داد که مدل‌های هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج جنبشی برای شرایط مشابه این تحقیق در قسمت جریان‌های کاهشی، برای کاهش جریان در هر طول یا در هر زمانی قابل کاربرد نیست. و انتخاب مدل ریاضی در جهت شبیه‌سازی پیشروی جریان آب در جویچه وابسته به مقدار جریان ورودی و زمان قطع جریان آب است.

واژه‌های کلیدی: هیدروگراف جریان ورودی، مدل هیدرودینامیک، مدل اینرسی صفر، موج جنبشی

مقدمه

از روش‌های یکی از روش‌های رایج آبیاری سطحی است که رفتار هیدرولیکی آن تحت تاثیر شکل‌های هیدروگراف ورودی است. راندمان سیستم آبیاری جویچه‌ای به وسیله مدیریت بهینه مثل انتخاب شدت جریان، هیدروگراف‌های جریان ورودی و زمان‌های قطع جریان بهبود می‌یابد (مروج‌الاحکامی و همکاران، ۲۰۱۲).

تخمین دقیق فاز پیشروی، برای طراحی، مدیریت و ارزیابی سیستم‌های آبیاری سطحی اهمیت فراوان دارد. اهمیت مرحله پیشروی در آبیاری سطحی، پژوهش‌های فراوانی را به دنبال داشته، که به ابداع مدل‌ها، روش‌ها و معادلات گوناگون با دقت کم تا زیاد با ساختارهای ساده و پیچیده منجر شده است. آبیاری جویچه‌ای یکی

^۱ آدرس نویسنده مسئول: شهرکرد. کیلومتر ۲ جاده شامان. دانشگاه دولتی شهرکرد. دانشکده کشاورزی. گروه مهندسی آب- صندوق

بیان حجمی باعث افزایش دقت تخمین مسافت پیشروی به میزان ۱۵ تا ۴۰ درصد، نسبت به مدل بیان حجمی متداول می‌گردد.

جریان‌های ورودی پیوسته و کاهش به واحدهای آبیاری، غالب‌ترین شکل هیدروگراف جریان ورودی در آبیاری‌های سطحی است (واکر و اسکگر، ۱۹۸۷). مصطفی‌زاده و سلطانی (۲۰۰۰) پنج حالت مختلف هیدروگراف جریان ورودی به جویچه را بررسی کردند. آنها در این تحقیق حالت‌های مختلف جریان ثابت، کاهش، کاهش تدریجی و دو حالت اصلاحی با خصوصیات دبی کاهش و دبی کاهش تدریجی با سه تکرار در دو مزرعه آزمایشی بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که تیمار دبی ثابت در مقایسه با سایر تیمارها دارای نسبت رواناب بیشتری است، اما راندمان کاربرد برای تمام تیمارها تقریباً یکسان است. ایزدی و همکاران (۱۹۹۱) با استفاده از مدل جنبشی هیدروگراف-های مختلف جریان ورودی آب به جویچه را شامل جریان‌های ثابت، کاهش و موجی شبیه‌سازی کردند. نتایج شبیه‌سازی آنها نشان داد که با استفاده از جریان‌های کاهش و موجی در مقایسه با جریان پیوسته می‌توان بین ۵ تا ۷ درصد در حجم آب کاربردی صرفه‌جویی کرد. مروج‌الاحکامی و همکاران (۲۰۰۹) از روش کالیبراسیون چند سطحی برای برآورد پارامترهای معادله نفوذ و ضریب زبری برای شکل‌های مختلف هیدروگراف جریان ورودی (پیوسته، کاهش و کابلی) استفاده کردند. آنها مدل اینرسی صفر را با استفاده از کالیبراسیون چندسطحی برای روش-های جریان کاهش و کابلی اصلاح کردند و نشان دادند که این روش، حجم کل رواناب و نفوذ را بسیار خوب پیش‌بینی کرده و کمترین خطا را داشته است.

هدف از انجام این تحقیق تخمین پیشروی آب در هیدروگراف‌های مختلف جریان‌های پیوسته و کات-بک ورودی در آبیاری جویچه‌ای با استفاده از مدل‌های هیدرودینامیک، اینرسی صفر، موج جنبشی و روش‌های

جمع‌آوری اطلاعات در ازای دبی‌های ورودی مختلف در یک جویچه، مشکل و وقت گیر بوده و مناسب است که بتوان از مدل‌های ریاضی برای تخمین پیشروی استفاده کرد. معادلات سنت-ونانت در قالب مدل‌های هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج جنبشی با استفاده از روش‌های عددی برای شبیه‌سازی آبیاری سطحی در فازهای مختلف، حل شده و همچنین از مدل‌های تحلیلی ساده‌تر مانند بیان حجمی نیز برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود. محققین روش‌های مختلفی برای حل مدل بیان حجمی ارائه داده‌اند. یکی از معروف‌ترین روش‌ها، روش تبدیل لاپلاس^۱ است که فیلپ و فارل (۱۹۶۴) آنرا ارائه داده‌اند و میشل (۱۹۷۸) نیز آن را اصلاح نموده است. روش‌های تابع بازگشتی (هال، ۱۹۵۶)، تابع نمایی (فاک و بیسپ، ۱۹۶۵) نیز از جمله روش‌های حل این مدل هستند. بنابراین در این تحقیق از روش‌های حل میشل، فیلپ، تابع نمایی و تابع بازگشتی برای مدل بیان حجمی استفاده شده و برای هر کدام از روش‌ها، برنامه رایانه‌ای در محیط Matlab کدنویسی شد. یکی از نرم‌افزارهایی که امروزه نقش مهمی در ارزیابی، شبیه‌سازی و طراحی آبیاری سطحی ایفا می‌کند، نرم‌افزار SIRMOD است. این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی هیدرولیک آبیاری سطحی در مقیاس مزرعه‌ای است و نقش عمده آن، تخمینی از طرح‌بندی متناوب (طول مزرعه و شیب) و عوامل مدیریتی (دبی کاربردی و زمان قطع جریان) است. در این نرم‌افزار شبیه‌سازی‌ها با مدل‌های موج جنبشی، اینرسی صفر و هیدرودینامیک صورت می‌گیرد. گلستانی و شایان نژاد (۲۰۱۱) زمان پیشروی در آبیاری جویچه‌ای در دبی‌های ورودی مختلف، را مورد بررسی قرار دادند و جهت تایید صحت اطلاعات برداشت شده صحرائی، با استفاده از نرم‌افزار SIRMOD فاز پیشروی برای جویچه‌ها را شبیه‌سازی کردند. همچنین گلستانی (۲۰۰۷) از ترکیب مدل بیان حجمی و اینرسی صفر برای تخمین پیشروی آب در آبیاری جویچه‌ای استفاده کرد و نشان داد که اصلاح مدل

¹ . Laplas Transform Approach

حل میشل، فیلیپ و فارل، تابع نمایی و تابع بازگشتی مدل بیلان حجمی، و مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده است.

مواد و روش‌ها

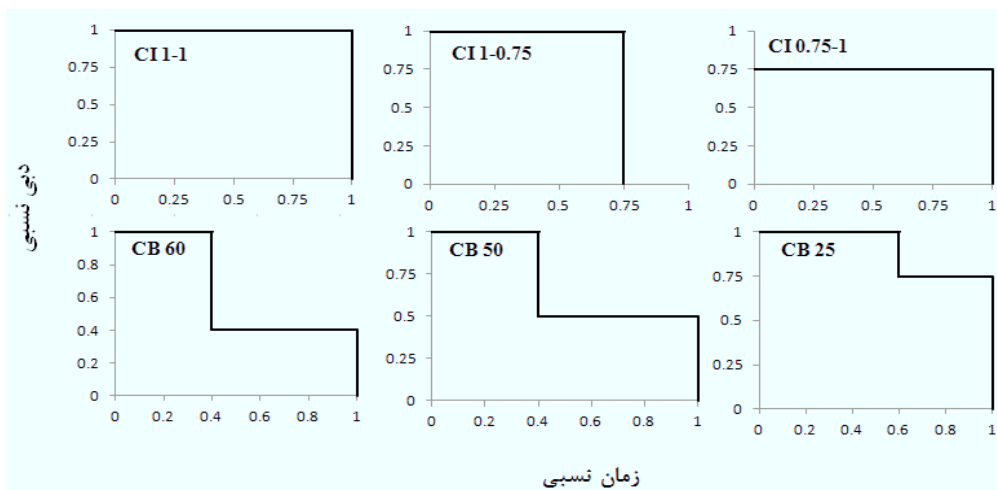
منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

آزمایش‌های صحرايي در مزارع پردیس ابوریحان واقع در جنوب شرق استان تهران انجام شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و ایجاد جویچه با طول ۱۵۰ متر، عرض ۰/۵ متر و فواصل ۰/۵ متر (عرض پشته‌ها) در مزرعه انجام شد. پس از آماده شدن زمین، شیب طولی جویچه‌ها (۰/۱۰ درصد) تعیین و طول جویچه‌ها با فواصل ۱۰ متری ایستگاه بندی (میخ کوبی) شد و از ۱۰۰ متر طولی هر جویچه برای اندازه‌گیری استفاده شد. سطح مقطع جویچه در سه نقطه ابتدا، وسط و انتهای جویچه توسط پروفیل‌متر در حالت قبل و بعد ورود جریان اندازه‌گیری شد و محیط خیس شده و سطح مقطع جریان محاسبه شد. شدت جریان ثابتی توسط سیفون، از نهر ابتدای جویچه که هد ثابتی داشت به درون جویچه وارد و زمان ورود جریان ثبت گردید. برای اندازه‌گیری دبی ورودی و خروجی جویچه از فلوم‌های تیپ ۲ (WSC) استفاده شد. همچنین برای تعیین دبی ورودی، ارتفاع آب از روی اشل واقع در بالادست فلوم به فواصل زمانی ۱۰ ثانیه تا مدت ۵ دقیقه (بسته به شدت تغییرات سطح آب) یادداشت شد. زمان رسیدن آب به هر ایستگاه ثبت و پس از رسیدن آب به انتهای جویچه، ارتفاع آب فلوم نصب شده در انتهای جویچه در فواصل زمانی معین و زمان ناپدید شدن آب در هر ایستگاه نیز یادداشت شد. این عملیات تا به صفر رسیدن مقدار شدت جریان ورودی جویچه ادامه یافت. پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس ($Z=Kt^a + f_0(t)$) به روش دو نقطه ای (ابراهیمیان و همکاران، ۲۰۱۰) محاسبه شد و ضریب

زبری از معادله مانینگ برابر ۰/۰۳۵ بدست آمده است. از عمق ۳۰ تا ۵۰ سانتیمتری خاک برای بدست آوردن مشخصات خاک مزرعه آزمایشی نمونه‌برداری شده است.

هیدروگراف‌های جریان ورودی

در این تحقیق شش هیدروگراف به عنوان ورودی مدل‌ها در نظر گرفته شد که در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. در هیدروگراف اول (۱-۱ CI) دبی ثابتی از زمان شروع آبیاری تا کامل شدن زمان قطع جریان ادامه داشته است. در هیدروگراف دوم (۰/۷۵-۱ CI) دبی ثابت تا ۰/۷۵ زمان قطع جریان ادامه یافته و سپس قطع شده است. هیدروگراف سوم (۰/۷۵-۱ CI) با کاهش دبی در حد ۰/۲۵ کل دبی تعریف می‌شود و در کل زمان، آبیاری ادامه یافته است. در هیدروگراف چهارم تا ششم شاهد اعمال کاهش جریان ورودی در جویچه (کات بک) هستیم. در هیدروگراف چهارم (۶۰ CB) و پنجم (۵۰ CB)، دبی ثابت تا ۰/۴ زمان قطع جریان ادامه یافته (هنگامی که جریان به ۰/۶ طول جویچه رسیده)، و بعد از آن جریان به ترتیب به ۰/۴ و ۰/۵ دبی اولیه کاهش داده شده و در هیدروگراف ششم (۲۵ CB) دبی ثابت تا ۰/۶ زمان قطع جریان ادامه یافته (هنگامی که جریان به ۰/۸ طول جویچه رسیده)، جریان به ۰/۷۵ دبی اولیه کاهش داده شده است. در جریانهای کاهشی مبنای کار براساس رسیدن جریان به طول‌های موردنظر بوده است و در آزمایشات انجام گرفته در ۴۰ درصد زمان آبیاری، آب ۶۰ درصد طول مزرعه و در ۶۰ درصد زمان آبیاری، آب ۸۰ درصد طول مزرعه را طی کرده و هیدروگراف‌ها براساس زمان‌های بدست آمده رسم شده‌اند. تیمارهای زیادی را برای انجام این تحقیق میتوان در نظر گرفت. ولی تیمارهای در نظر گرفته شده در این تحقیق می‌توانند بهترین گزینه‌های انتخابی در بیان اکثریت حالات باشند.



شکل ۱- هیدروگراف‌های جریان ورودی

(۱۹۷۸) با لحاظ معادله شبه SCS (معادله ۴) برای نفوذ، ضریب β در روش فیلیپ و فارل را به صورت زیر اصلاح کرد:

$$Z = kt^a + b \quad (۴)$$

$$\beta = \frac{k \Gamma(a+1)}{b + \bar{y}} \quad (۵)$$

$$x = \frac{qt}{(b + \bar{y})} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\beta t^a)^n}{\Gamma(2+na)} \quad (۶)$$

در معادله ۵، مقدار 0.7 برای b پیشنهاد شده است. در روش بازگشتی، هال (۱۹۵۶) با جزءبندی مقادیر x و t معادله زیر را ارائه داد:

$$\Delta X_i = \frac{q_0 \Delta t}{A + \delta_z Z_1} - \sum_{k=1}^{i-1} \left[\frac{Z_{i-k+1} - Z_{i-k}}{2(A + \delta_z Z_1)} \Delta X_k \right] \quad (۷)$$

$$\delta_z = \frac{a+r-ar+1}{a+r+ar+1} \quad (۸)$$

در این معادله، A مساحت مقطع عرضی، δ_z فاکتور شکل زیرسطحی، Δx گامهای مکانی، Δt گامهای زمانی، a توان معادله نفوذ کوستیاکوف و r توان معادله تابع پیشروی نمایی هستند. در روش تابع نمایی، فاک و بیشاپ (۱۹۶۵) با استفاده از معادله کوستیاکوف و معادله تجربی تابع پیشروی نمایی (معادله ۹) روش حل زیر را ارائه داده اند:

مدل بیلان حجمی

برای حل معادله بیلان حجمی روش‌های مختلفی ارائه شده است که در آنها مرحله پیشروی با دقت‌های متفاوتی پیش بینی می‌شود. از روش‌های تبدیل لاپلاس (فیلیپ و فارل، ۱۹۶۴) (شامل روش فیلیپ و فارل (فیلیپ و فارل، ۱۹۶۴) و روش میشل (میشل، ۱۹۷۸))، روش تابع نمایی (فاک و بیشاپ، ۱۹۶۵) و روش بازگشتی (هال، ۱۹۵۶) برای حل معادله بیلان حجمی در این تحقیق استفاده شد و برای هر یک از این روش‌ها، یک برنامه کامپیوتری در MATLAB نوشته شد. فیلیپ و فارل (۱۹۶۴) با لحاظ نمودن معادله کوستیاکوف برای نفوذ، معادلات زیر را برای فاز پیشروی ارائه داده‌اند:

$$x = \frac{qt}{\bar{y}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-\beta t^a)^n}{\Gamma(2+na)} \quad (۱)$$

$$\beta = \frac{k \Gamma(a+1)}{\bar{y}} \quad (۲)$$

$$\bar{y} = \delta_y y_0 \quad (۳)$$

در معادلات بالا، q دبی آب ورودی در واحد عرض، k و a ضرایب معادله نفوذ، t زمان نفوذ، \bar{y} عمق نرمال و δ_y فاکتور شکل سطحی را نشان می‌دهند. برای فاکتور شکل سطحی مقدار ثابتی بین 0.7 تا 0.9 پیشنهاد شده است که اغلب آن را 0.77 در نظر می‌گیرند. میشل

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (11)$$

$$x = pt^r \quad (9)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (12)$$

$$r = \exp^{-0.6a} \quad (10)$$

$$x = \frac{qt}{\bar{y} + \delta_z kt^a} \quad (11)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (13)$$

در این معادلات O_i داده مشاهداتی (مسافت پیشروی)، P_i داده تخمین زده شده با مدل (مسافت پیشروی)، n تعداد داده‌ها و \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده پیشروی می‌باشد. چنانچه مقدار CRM برابر صفر شود، کارایی مدل حداکثر بوده و اگر مثبت یا منفی شود نشان دهنده بیش‌برآوردی و یا کم برآوردی مدل می‌باشد. همچنین مقدار EF از منفی بی‌نهایت برای بدترین حالت تا یک برای بهترین حالت تغییر کرده و کفایت و کارایی مدل را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس به‌مراه مشخصات خاک مزرعه آزمایشی، در جدول ۱ ارائه شده است.

در معادله ۹، p پارامتر تجربی تابع پیشروی نمایی است. فاک و بیشاپ (۱۹۶۵) برای δ_y مقدار ۰/۵ تا ۱ و باست و همکاران (۱۹۸۳) مقدار ۰/۸ پیشنهاد داده‌اند. با استفاده از اطلاعات جریان ورودی خروجی جویچه نسبت به زمان، پارامترهای نفوذ و اطلاعات مقطع هندسی جویچه، نرم افزار SIRMOD برای هر سه مدل هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج جنبشی اجرا گردید و همچنین با به کارگیری چهار روش حل فیلپ و فارل، میشل، تابع بازگشتی و تابع نمایی برای مدل بیلان حجمی، پیشروی شبیه‌سازی شده مدل‌ها به دست آمد. برای تعیین دقت و سنجش کارایی این مدل‌های ریاضی برای انواع هیدروگراف‌ها، از داده‌های شبیه‌سازی شده این مدل‌ها و داده‌های مزرعه‌ای استفاده گردید. و به این منظور از ضرایب آماره جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب جرم مانده (CRM) و ضریب کارایی مدل (EF) استفاده شده است، که معادلات آنها بصورت زیر می‌باشد:

جدول ۱- مشخصات خاک و پارامترهای نفوذ مزرعه آزمایشی

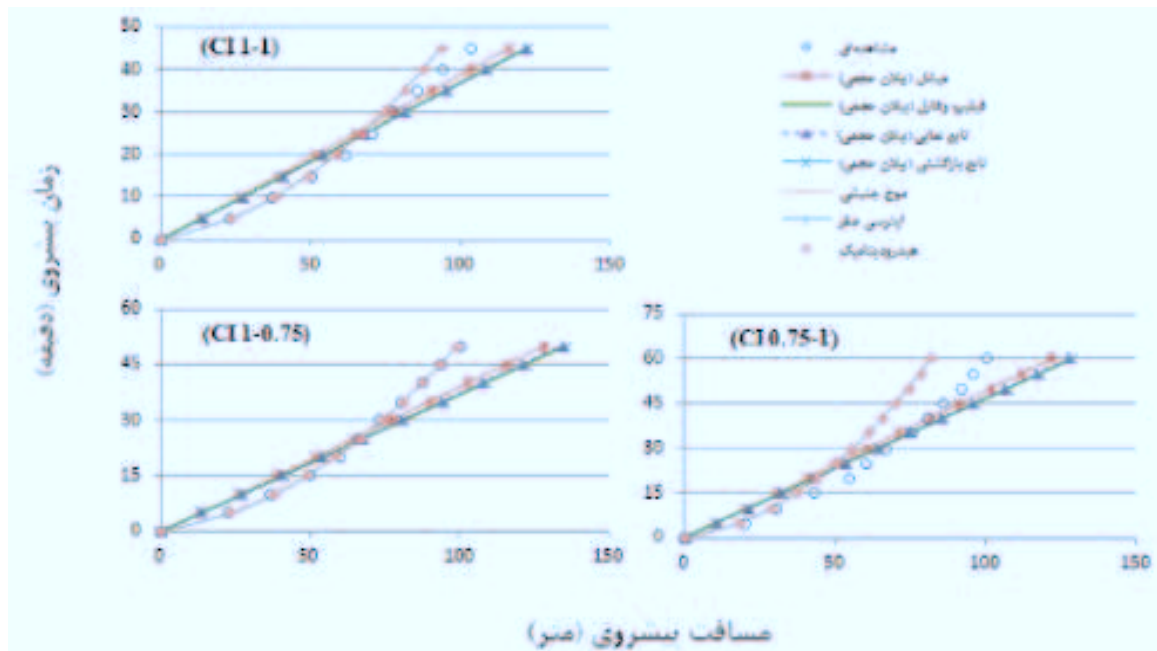
بافت خاک	ظرفیت آب قابل دسترس (میلیمتر در متر)	رطوبت اولیه خاک (درصد)	وزن مخصوص ظاهری (گرم در سانتیمتر مکعب)	پارامترهای نفوذ		
				K (cm ² /min)	a	f ₀ (cm ² /min)
لوم رسی	۱۷۰	۱۶	۱/۴	۰/۰۱۲۲	۰/۴۴۲	۰/۰۰۰۱۷

و برای هیدروگراف‌های جریان کات-بک در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل‌های ۲ و ۳، براساس منحنی‌های رسم شده می‌توان دید که مدل‌های ریاضی تخمین مناسبی از پیشروی داشته‌اند. در هیدروگراف‌های (۱-۱ CI)، (۰/۷۵-۱ CI) و (۲۵ CB)

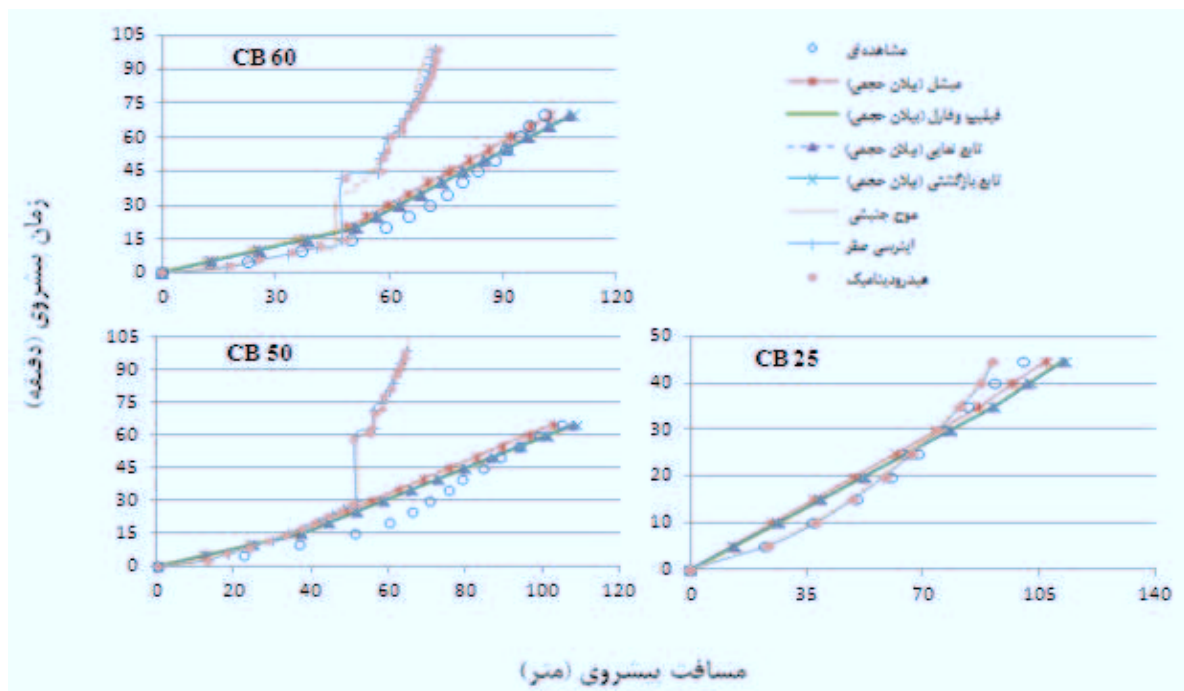
با تعریف نمودن هیدروگراف‌های ورودی مختلف در مدل SIRMOD و روش‌های حل مدل بیلان حجمی، داده‌های پیشروی شبیه‌سازی شده به دست آمد و نتایج بدست آمده از این مدل‌ها با نتایج اندازه‌گیری شده در مزرعه برای هیدروگراف‌های جریان پیوسته در شکل ۲

مدل موج جنبشی نتایج بسیار نامناسبی بدست داده‌اند. ولی نتایج شبیه‌سازی مدل بیلان حجمی در هیدروگراف‌های جریان کات-بک، تطابق خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده داشته است.

تطابق بسیار خوبی بین داده‌های پیشروی مشاهده‌ای مزرعه با شبیه‌سازی مدل‌های ریاضی دیده می‌شود. در هیدروگراف‌های جریان کات-بک (هیدروگراف‌های (CB 60) و (CB 50)) مدل‌های هیدرودینامیک و اینرسی صفر و



شکل ۲- پیشروی آب در هیدروگراف‌های جریان پیوسته



شکل ۳- پیشروی آب در هیدروگراف‌های جریان کات-بک

صفر و موج جنبشی نسبت به نتایج مشاهده‌ای، بدلیل کاهش دبی ورودی است، زیرا با تغییرات دبی، ضرایب

در هیدروگراف (CI 0.75-1)، انحراف نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل‌های هیدرودینامیک، اینرسی

اینرسی صفر و موج جنبشی قادر به شبیه‌سازی مناسب جریان‌های کات-بک هیدروگراف‌های (CB ۶۰) و (CB ۵۰) (نموده‌اند و این نتایج نشان داد که این مدل‌ها برای شرایط مشابه این تحقیق، در قسمت جریان‌های کات بک، برای کاهش جریان در هر طول یا در هر زمانی قابل کاربرد نیستند. درحالی که این مدل‌ها برای شبیه‌سازی پیشروی در جریان‌های پیوسته و جریان کات-بک (هیدروگراف (CB ۲۵)) کمترین خطا را داشته‌اند.

تفاوت روش‌های حل مدل بیلان حجمی در نوع معادله نفوذ به کار برده شده است. در روش فیلیپ و فارل، توابع نمایی و بازگشتی از معادله نفوذ کوستیاکف استفاده شده است و نفوذ پایه در نظر گرفته نشده است. ولی در روش میشل از معادله شبه SCS (معادله ۴) استفاده شده، که فاکتور b در آن معادل نفوذ پایه می‌باشد. با توجه به تاثیر نفوذ پایه بهتر است که از معادلات نفوذ مختلف دارای آیتم نفوذ پایه از جمله معادله نفوذ کوستیاکف-لوییس، فیلیپ و دیگر معادلات برای نوشتن مدل بیلان حجمی استفاده شود. گلستانی (۲۰۰۷) نشان داد که با بکارگیری معادله نفوذ مناسب می‌توان میزان خطا در پیش‌بینی مسافت پیشروی را در روش‌های مختلف به مقدار قابل توجهی کاهش داد و بیان کرد که توان معادله نفوذ کوستیاکف و معادله پیشروی نمایی در ازای تغییرات دبی در آبیاری جویچه‌ای، به صورت معنی دار تغییر نمی‌کند و می‌توان آن را ثابت فرض و جهت ارزیابی سیستم در دبی‌های مختلف استفاده کرد. نتایج مدل‌های هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج جنبشی بسیار نزدیک به هم هستند و این سه مدل، بدلیل نزدیکتر بودن به شرایط واقعی مزرعه در همه هیدروگراف‌ها بغیر از هیدروگراف‌های جریان کات-بک (CB ۶۰) و (CB ۵۰)، بهتر از مدل بیلان حجمی عمل کرده‌اند. ابراهیمیان و لیاقت (۲۰۱۱) با بکار بردن مدل‌های ریاضی برای پیش-بینی زمانهای پیشروی و پسروی در آبیاری‌های نواری و جویچه‌ای، نشان دادند که نتایج مدل‌های هیدرودینامیک و اینرسی صفر حاصل از نرم‌افزار SIRMOD بسیار نزدیک

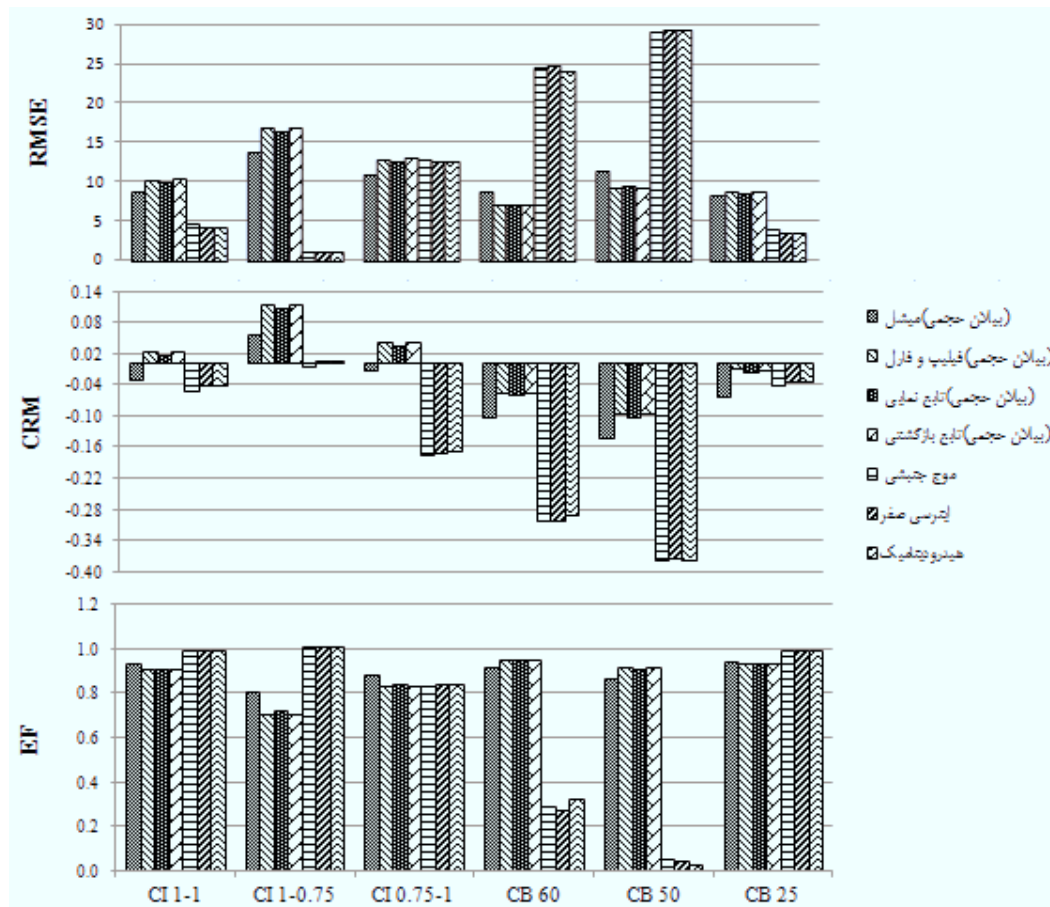
نفوذ در خاک عوض می‌شود، در حالیکه در این تحقیق پارامترهای نفوذ براساس دبی ورودی آبیاری در هیدروگراف اول بدست آمده است. و براساس نتایج بدست آمده و همچنین روابط موجود برای مدل‌ها، مشاهده می‌شود که مدل‌های هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج جنبشی به کاهش دبی و تاثیر آن بر نفوذ، حساسیت بالایی دارند. در حالیکه مدل بیلان حجمی حساسیت کمتری نسبت به دبی ورودی و پارامترهای نفوذ دارد. عباسی (۱۹۹۶) نیز بیان کرد که مدل‌ها به پارامترهای ورودی بخصوص شدت جریان ورودی، مشخصات نفوذپذیری خاک و ضریب زبری مانینگ حساس بوده، لذا این پارامترها باید با دقت زیاد تعیین و برای مدل‌ها تعریف شوند.

نتایج نشان می‌دهد که کمترین مقدار RMSE (بطور میانگین ۶/۳۲) برای همه روش‌های حل، مربوط به هیدروگراف (CB ۲۵) بوده است (شکل ۴). کمترین مقدار RMSE در بین روش‌های تعیین هیدروگراف‌های مختلف مربوط به روش حل میشل مدل بیلان حجمی (مقدار میانگین ۱۰/۱۵) و بیشترین مقدار RMSE در مدل موج جنبشی (مقدار میانگین ۱۲/۵۳) است. کمترین مقدار RMSE در جریان‌های پیوسته مربوط به مدل‌های هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج جنبشی برای هیدروگراف (CI ۱-۰/۷۵) و کمترین مقدار RMSE در جریان‌های کات-بک مربوط به روش‌های مختلف حل مدل بیلان حجمی در هیدروگراف (CB ۶۰) است. در بین روش‌های حل مدل بیلان حجمی کمترین RMSE در جریان‌های پیوسته مربوط به روش میشل (مقدار میانگین ۱۱/۰۴) و در جریان‌های کات-بک مربوط به روش فیلیپ و فارل (مقدار میانگین ۸/۱۸) است. و کمترین و بیشترین RMSE در جریان‌های پیوسته بترتیب مربوط به مدل هیدرودینامیک و روش تابع بازگشتی (مقادیر میانگین ۵/۷۸ و ۱۳/۲۶) و در جریان‌های کات-بک بترتیب مربوط به روش فیلیپ و فارل و مدل اینرسی صفر (مقادیر میانگین ۸/۱۸ و ۱۹/۰۳) است. مدل‌های هیدرودینامیک،

متوسط خطای نسبی مدل‌های هیدرودینامیک و اینرسی صفر کمتر از مدل‌های ماسکینگ‌هام کونج و موج جنبشی است. و مهانا و همکاران (۲۰۰۹) نیز برای اعتبارسنجی مدل SIRMOD در مصر، این مدل را برای جویچه‌های با طول و شیب مختلف اجرا کردند و رابطه خوبی بین زمان پیشروی و پسروی شبیه‌سازی مدل با اندازه‌گیری شده بدست آوردند.

هم هستند و دقت مدل‌ها برای شبیه‌سازی زمان‌های پیشروی در سیستم جویچه‌ای بهتر از نواری بوده است (بهرامی و همکاران، ۲۰۱۱).

منحنی پیشروی در جویچه‌های با طول و دبی-های مختلف را به وسیله مدل‌های هیدرودینامیک، موج جنبشی و اینرسی صفر در نرم افزار SIRMOD و مدل ماسکینگ‌هام کونج شبیه‌سازی کردند و نشان دادند که



شکل ۴- مقادیر RMSE, CRM و EF مدل‌های ریاضی در هیدروگراف‌های مختلف جریان پیوسته و کات-بک

فارل، تابع نمایی و تابع بازگشتی از مدل بیان حجمی، برابر صفر بدست آمده و بیشترین مقدار میانگین CRM در همه هیدروگراف‌ها برای مدل موج جنبشی برابر (۰/۱۶-) بدست آمده است. همچنین کمترین مقدار CRM (بطور میانگین ۰/۰۲-) در همه مدل‌ها مربوط به هیدروگراف-های (CI ۱-۱) و (CB ۲۵) بوده و بیشترین این مقدار (بطور میانگین ۰/۲۳-) مربوط به هیدروگراف (CB ۵۰) بوده است.

مقادیر ضریب جرم مانده برای مدل‌ها و سناریوهای مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. در صورتی که ضریب جرم مانده (CRM) برابر با صفر باشد، کارایی مدل حداکثر است. و مقادیر مثبت و منفی آن نشان‌دهنده بیش برآوردی یا کم برآوردی مدل نسبت به مقادیر واقعی است. کمترین مقدار میانگین CRM در بین روش‌های تعیین هیدروگراف‌ها در روش حل فیلیپ و

نتیجه گیری

در این تحقیق دقت و کارایی مدل‌های هیدرودینامیک، اینرسی صفر، موج جنبشی و روش‌های حل میشل، فیلیپ و فارل، تابع نمایی و تابع بازگشتی مدل بیلان حجمی در تخمین پیشروی آب در هیدروگراف‌های مختلف جریان‌های پیوسته و کات-بک ورودی در آبیاری جویچه‌ای ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که تطابق خوبی بین داده‌های پیشروی مشاهده‌ای مزرعه با شبیه‌سازی مدل‌های ریاضی دیده می‌شود. مدل‌های هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج جنبشی برای شرایط مشابه این تحقیق در قسمت جریان‌های کات-بک، برای کاهش جریان در هر زمانی قابل کاربرد نیست. کمترین مقدار $RMSE$ و CRM و بیشترین مقدار EF در جریان پیوسته، مربوط به هیدروگراف (CI ۱-۱) و در جریان کات-بک مربوط به هیدروگراف (CB ۲۵) است و بیشترین مقدار $RMSE$ و CRM و کمترین مقدار EF در جریان پیوسته، مربوط به هیدروگراف (CI ۰/۷۵-۱) و در جریان کات-بک مربوط به هیدروگراف (CB ۵۰) است. در حالتی که دبی بصورت کامل باشد و یا زمان قطع جریان کاهش می‌یابد، مدل‌های هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج جنبشی کارایی بسیار بالایی دارند و مدل بیلان حجمی کارایی کمتری دارد. ولی در حالتی که مدت زمان آبیاری کامل و شدت جریان کم باشد، مدل بیلان حجمی نتایج مناسب-تری بدست می‌دهد. و این نشان می‌دهد که انتخاب مدل ریاضی در جهت شبیه‌سازی پیشروی جریان آب در جویچه وابسته به مقدار جریان ورودی و زمان قطع جریان آب است.

سپاسگزاری

آزمایشات مزرعه‌ای این تحقیق با راهنمایی جناب آقای دکتر علی‌اصغر منتظر در پردیس ابوریحان دانشگاه تهران انجام شده است. بدین وسیله از ایشان که در انجام این پژوهش کمک نمودند سپاسگزاری می‌شود.

برای بررسی و ارزیابی کارایی روش‌های مختلف حل مدل بیلان حجمی از شاخص EF استفاده گردید و مقادیر آن برای مدل‌ها و هیدروگراف‌های مختلف جریان پیوسته و کات-بک در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به میانگین مقادیر EF ، مدل‌های هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج جنبشی بهترین کارایی را برای داده‌های اندازه-گیری شده بخصوص در هیدروگراف‌های (CI ۱-۰/۷۵)، (CI ۱-۱) و (CB ۲۵) نشان می‌دهد، و در بین روش‌های مدل بیلان حجمی، روش میشل، بیشترین EF (مقدار ۰/۸۸) را بدست داده است و البته اختلاف مقادیر میانگین EF بسیار کم است. در حالتی که جریان کامل باشد و یا زمان قطع جریان کاهش می‌یابد، مدل‌های هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج جنبشی کارایی بسیار بالایی دارند، و مدل بیلان حجمی کارایی کمتری دارد. و در هیدروگراف (CI ۱-۰/۷۵)، مقدار EF برابر با یک برای مدل‌های هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج جنبشی، انطباق کامل داده‌های شبیه‌سازی شده توسط این مدل‌ها با داده‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. ولی در حالتی که مدت زمان آبیاری کامل و شدت جریان کم می‌باشد، مدل بیلان حجمی نتایج مناسب‌تری بدست می‌دهد.

انتخاب مدل ریاضی در جهت شبیه‌سازی پیشروی جریان آب در جویچه وابسته به مقدار جریان ورودی و زمان قطع جریان آب است. همانطور مطالعات انجام شده نشان داده است که در سیستم آبیاری نواری نیز عملکرد هیدرولیکی، کاهش اتلاف آب آبیاری و در نتیجه راندمان آبیاری به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر پارامترهایی نظیر دبی جریان ورودی و زمان قطع آن قرار دارد (عزیزی و مصطفی زاده فرد، ۲۰۰۵ و توماس و کینساید، ۱۹۸۹). مسافت پیشروی آب در نوار، یکی از پارامترهایی است که به سادگی می‌تواند تعیین‌کننده زمان قطع جریان با توجه به شرایط طبیعی سیستم مورد مطالعه باشد (مالانو و پاتو، ۱۹۹۲).

فهرست منابع:

1. Abbasi, F. 1996. study on Border irrigation models and selection of optimization model. Research Institute of Agricultural Engineering. Publication No 63.
2. Azizi, A and B. Mostafazadeh Fard. 2005. Cut off time estimation of water inflow to border on the basis of advance distance. Technical workshop on Mechanized Surface Irrigation. Karaj, Iran. (In Farsi).
3. Bahrami, M. S. Boroomandnasab and M. Salarijazi, M. 2011. Evaluation of Muskingum - Cunge model with Sirmod software models in Furrow irrigation advance phase in Shahid Chamran University fields. ICID 21st International Congress on Irrigation and Drainage. Tehran, Iran.
4. Bassett, D. L., D. D. Fangmeier and T. Strelkoff. 1983. Hydraulics of surface irrigation. In ME Jensen (ed.): Design and operation of farm irrigation systems, revised printing. ASAE, St. Joseph, Michigan.
5. Ebrahimian, H and A. Liaghat. 2011. Field evaluation of various mathematical models for furrow and border irrigation systems. Soil and water research. 6, (2):91-101.
6. Ebrahimian, H. B. Ghanbarian Alavijeh. F. Abbasi. A. H. Hoorfar. 2010. A New Two-Point Method for Estimating Infiltration Parameters in Furrow and Border Irrigation and Comparison with other Methods. Journal of Water and Soil. 24 (4): 690-698.
7. Fok, Y. S and A. A. Bishop. 1965. Analysis of water advance in surface irrigation. J. Irrig. and Drain. Div., ASCE, 91(1), 99-116.
8. Golestani, S. 2007. Improvement of the volume balance model by using of the zero inertia's momentum term for furrow irrigation system. Msc. Thesis. Shahrekord University. Shahrekord. Iran. (In Farsi).
9. Golestani, S and M. Shayannejad. 2011. Evaluation of infiltration equation coefficients and advance phase in furrow irrigation in untested discharge. 11th National Conference on Irrigation and reduction evaporation. Kerman. Iran. (In Farsi).
10. Hall, W.A. 1956. Estimating irrigation border flow. Agricultural engineering. 37: 263-265.
11. Izadi, B. D . Studer and I. mcCann. 1991. Maximizing set-wide furrow irrigation application efficiency under full irrigation strategy, Trans. ASAE. 34 (5):2006-2014.
12. Malano, H. M., and M. Patto. 1992. Automation of border irrigation in southeast Australia. Irrigation and drainage system. 6: 9-23., Kluwer Academic Publisher.
13. Mehana, H. M., K. F. El-Bagoury and M. M. Hussein. 2009. Validation of surface irrigation model Sirmod under clay loam soil conditions in Egypt. Irrigation and Drainage. 26(3): 1299- 1317.
14. Michael, A. M. 1978. Irrigation Theory and Practice. Vikas Publishing House (Pvt) Ltd. 576, Masjid Road. JangPura. New Delhi.
15. Moravejalahkami, B., B. Mostafazadeh Fard. M. Heidarpour and F. Abbasi. 2009. Furrow Infiltration and roughness prediction for different furrow inflow hydrographs using a zero-inertia model with a multilevel calibration approach. Biosystems Engineering 103: 374-381.
16. Moravejalahkami, B. Mostafazadeh-Fard, B. Heidarpour, M. Abbasi, F. 2012. The effects of different inflow hydrograph shapes on furrow irrigation fertigation. Biosystems Engineering 111: 186-194.
17. Mostafazadeh, B and A. Soltani. 2000. Efficiency of furrow irrigation with different inflow hydrographs. Journal of Tarbiat modares Agricultural Science. 4, (1):65-78. (In Farsi).
18. Philip, J.R and D.A. Farrell. 1964. Generalsolution of the infiltration-advance problem in irrigation hydraulics. J GeophRes 69:621-631.
19. Thomas, J. T and D. C. Kincaid. 1989. Border cablegation system design. Trans. of the ASAE, 32(4), 1185-1192.
20. Walker, W.R and G. V. Skogerboe. 1987. Surface Irrigation: Theory and Practice. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey,386 pp