

اثر محیط خیس شده متغیر و ثابت بر شبیه‌سازی و یکنواختی آبیاری جویچه‌ای^۱

سید محمدرضا امینی‌زاده، محمد محمودیان شوشتری،

عبدالمجید لیاقت و صلاح کوچک‌زاده^۲

۱- چکیده:

نفوذ آب به خاک در آبیاری جویچه‌ای دو بعدی و تابعی است از فرصت زمان نفوذ و اندازه و خصوصیات سطحی که نفوذ از آن انجام می‌گیرد. در بسیاری از مدل‌های آبیاری جویچه‌ای، نفوذ آب به خاک به صورت تابعی از فرصت زمان نفوذ و محیط خیس شده محاسبه می‌شود. اما در بعضی از مدل‌های آبیاری جویچه‌ای، با فرض تغییرات کم محیط خیس شده در طول جویچه، نفوذ آب به خاک فقط تابعی از فرصت زمان نفوذ در نظر گرفته می‌شود. جهت مقایسه این فرضیات، دو مدل اینرسی- صفر آبیاری جویچه‌ای، یکی مدل ZIWPV با تأثیر دادن محیط خیس شده در محاسبه نفوذ و دیگری مدل ZIWPC با تأثیر ثابت محیط خیس شده بر نفوذ بسط داده شدند. محاسبه روش تفاضلات محدود به کمک یک راه‌حل صریح انجام پذیرفت. پس از تأیید نتایج مدل‌ها، نتایج هر دو مدل با سری داده‌های مزرعه‌ای آبیاری اسچوانکل (۱۹۸۹) مقایسه شدند. زمان مرحله پیشروی در سطح مزرعه ۱۵۷ دقیقه است که مدل ZIWPV آن را به خوبی پیش‌بینی کرد ولی مدل ZIWPC زمان این مرحله را ۱۰/۸ درصد کمتر برآورد کرد. CU و DU اندازه‌گیری شده در مزرعه برابر با ۷۷ و ۶۴ درصد است. مدل ZIWPV، CU و DU را به ترتیب ۷۷/۴ و ۶۸/۵ درصد و مدل ZIWPC، CU و DU را به ترتیب ۹۳/۱ و ۸۹/۴ درصد تخمین زد. عمق متوسط آب نفوذ یافته اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه و به دست آمده از مدل‌های ZIWPV و ZIWPC نیز به ترتیب برابر با ۷/۴۷، ۸/۶، و ۷/۴۳ سانتی‌متر است. بنابراین دخالت دادن تأثیر محیط خیس شده در محاسبه نفوذ برای تمام زمان آبیاری، تخمین یکنواختی توزیع آب نفوذ یافته را بهبود می‌بخشد ولی میزان متوسط آب نفوذ یافته را بیشتر برآورد می‌کند. همچنین مدل‌های آبیاری جویچه‌ای با فرض نفوذ یک بعدی، می‌توانند متوسط عمق نفوذ یافته را به خوبی شبیه‌سازی کنند ولی تخمین یکنواختی آب نفوذ یافته بیشتر از واقع خواهد بود.

۲- واژه‌های کلیدی:

آبیاری جویچه‌ای، روش دو نقطه‌ای، مدل اینرسی - صفر، محیط خیس شده.

۱- برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی از گروه آبیاری دانشگاه تهران، کرج- دانشکده کشاورزی دانشگاه

تهران- گروه مهندسی آب- تلفکس: ۰۲۶۱-۲۲۴۱۱۱۹، پیام نگار: smreza_aminizadeh@yahoo.com: استاد گروه

مهندسی عمران، دانشگاه شهید چمران اهواز: استادیار و دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران.

۳- پیشگفتار:

مدلهای آبیاری سطحی، وسیله‌ای برای طراحی و ارزیابی روشهای آبیاری سطحی هستند. دقت نتایج حاصل از هر مدل، بستگی بسیاری به دقت اطلاعات ورودی و شبیه‌سازی صحیح پدیده مورد نظر دارد. نفوذ، مهم‌ترین فاکتور مؤثر در آبیاری سطحی است. نفوذ آب به خاک پدیده‌ای پیچیده است که به نوع خاک، شرایط سطح آن، فرصت زمان نفوذ و عوامل گرم بستگی دارد. اکثر معادلات نفوذ برای بیان نفوذ آب به خاک، با فرض جریان یک بعدی نفوذ و به صورت تابعی از فرصت نفوذ ارائه شده‌اند. اما در آبیاری جویچه‌ای، جریان نفوذ دو بعدی است و تعیین عمق آب نفوذ یافته در جویچه‌ها، به دلایل متعدد از جمله تغییر در سطح تماس آب با خاک، اثر جویچه‌های مجاور، شکل هندسی جویچه‌ها و عوامل دیگر پیچیدگی بیشتری دارد. به عبارت دیگر، نفوذ آب در جویچه‌ها فقط تابعی از فرصت نفوذ نیست، بلکه به اندازه و خصوصیات سطحی که نفوذ از آن صورت می‌گیرد نیز بستگی دارد [۸ و ۱۴]. مناسب‌ترین متغیری که تاکنون برای اصلاح معادلات نفوذ پیشنهاد شده است، محیط خیس شده^۱ است [۲ و ۱۴]. بنا به تعریف، طول فصل مشترک آب با خاک را در سطح مقطع عرضی جویچه، محیط خیس شده می‌گویند [۲]. با توجه به معادله مانینگ، محیط خیس شده تابع سطح مقطع جریان، شدت جریان، ضریب زبری هیدرولیکی و شیب جویچه‌هاست و از این رو تعیین اثر محیط خیس شده بر مقدار نفوذ به منزله

تعیین غیرمستقیم عوامل فوق نیز هست. ایزدی و والندر (Izadi and Wallender, 1985) حدود یک‌سوم تغییرات نفوذ را به تفاوت در محیط خیس شده نسبت می‌دهند و باقی این تغییرات را ناشی از خطای اندازه‌گیری و تغییرات خصوصیات خاک می‌دانند. تعدیل نفوذ برای محیط خیس شده یکی از موضوعهای جالب توجه و مورد بحث در توسعه مدل‌های آبیاری جویچه‌ای است. در این حالت فرض می‌شود که محیط خیس شده با حرکت در طول جویچه و کاهش دبی جریان به علت نفوذ کاهش می‌یابد و بنابراین برای محاسبه نفوذ در هر گره محاسباتی، تأثیر این امر باید لحاظ شود. برای تأثیر دادن محیط خیس شده در نفوذ، معادلات مختلفی پیشنهاد شده است [۲ و ۵].

اما در بسیاری از مدل‌های آبیاری جویچه‌ای فرض می‌شود که با وجود کاهش جریان در طول جویچه، اندازه محیط خیس شده تقریباً ثابت باقی می‌ماند. بنابراین، در این مدل‌ها ورود آب به خاک تنها تابعی از فرصت نفوذ در نظر گرفته می‌شود [۱۶]. در این مدل‌ها، پارامترهای معادله نفوذ مورد نظر براساس اطلاعات اجرای آبیاری و مشخصات هندسی و فیزیکی جویچه به دست می‌آیند که برای مثال می‌توان به روش شناخته شده^۲ دو نقطه‌ای^۲ [۶] اشاره کرد. در مدل‌هایی که از معادلات نفوذ به دست آمده از این روشها جهت تعریف نفوذ استفاده می‌کنند معادله‌ای به منظور تأثیر محیط خیس شده در محاسبه نفوذ به کار برده نمی‌شود. با توجه به اینکه معادله نفوذ به دست آمده برای تمام زمان آبیاری و در هر مکان

در ثانیه، Z = حجم آب نفوذ یافته در واحد طول بر حسب متر مربع، S_o = شیب کف مزرعه بر حسب متر بر متر، S_f = شیب خط انرژی بر حسب متر بر متر، t = زمان بر حسب ثانیه، و x = فاصله از ابتدای جویچه بر حسب متر است. از معادله مانینگ جهت تعریف شیب اصطکاک (S_f) استفاده می‌شود.

$$S_f = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^3} \quad (۳)$$

جهت تعریف مشخصات هندسی جویچه برای مدل‌های آبیاری جویچه‌ای، دو رابطه زیر ارائه شده است [۷]:

$$y = \sigma_1 A^{\sigma_2} \quad (۴)$$

$$A^2 R^{\frac{4}{3}} = \rho_1 A^{\rho_2} \quad (۵)$$

که در آنها، σ_1 ، σ_2 ، ρ_1 ، ρ_2 ضرایب ثابتی هستند که با توجه به اندازه‌گیرهای مزرعه‌ای شکل مقطع عرضی به دست می‌آیند. در معادلات ۳ و ۵، R = شعاع هیدرولیکی بر حسب متر است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R = \frac{A}{WP} \quad (۶)$$

در این معادله، WP = محیط خیس شده بر حسب متر است.

قبل از ادامه بسط معادلات، چگونگی محاسبه نفوذ در مدل‌های $ZIWPV$ و $ZIWPC$ شرح داده می‌شود. در مدل $ZIWPV$ عمق نفوذ جمععی در مراحل پیشروی و ذخیره به صورت

ثابت است می‌توان گفت که در این مدل‌ها، تأثیر ثابت محیط خیس شده در محاسبه نفوذ لحاظ شده است [۱].

هدف از این تحقیق، مقایسه مدل‌های آبیاری جویچه‌ای با فرض نفوذ یک بعدی و فرض نفوذ دو بعدی از نظر دقت تخمین پارامترهای مختلف اجرای آبیاری و مقایسه نتایج این مدل‌ها با یکدیگر است. برای این منظور، یک مدل اینرسی - صفر^۱ با تأثیر محیط خیس شده در محاسبه نفوذ به گونه‌ای بسط داده شد ($ZIWPV$ model) که نفوذ را به عنوان تابعی از محیط خیس شده متغیر^۲ و فرصت زمان نفوذ محاسبه می‌کند. همچنین یک مدل اینرسی - صفر دیگر ($ZIWPC$ model)^۳ با تأثیر ثابت محیط خیس شده، به گونه‌ای بسط داده شد که نفوذ را تنها به عنوان تابعی از فرصت نفوذ در هر محل محاسبه می‌کند.

۴- مواد و روشها:

- معادلات حاکم

معادلات بقای جرم و اندازه حرکت برای مدل اینرسی-صفر عبارت‌اند از:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Z}{\partial t} = 0 \quad (۱)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = S_o - S_f \quad (۲)$$

که در آنها، y = عمق جریان (بر حسب متر)؛ A = سطح مقطع جریان بر حسب متر مربع؛ Q = شدت جریان ورودی بر حسب متر مکعب

زیر محاسبه می شود [۵]:

$$Z = z(t) \cdot WP \quad (۷)$$

که در آن:

$$z(t) = kt^a + f_0 t \quad (۸)$$

k بر حسب متر مکعب/دقیقه^a/متر مربع، a (بدون بعد) و f_0 بر حسب متر مکعب/دقیقه/متر مربع پارامترهای معادله کوستیاکف - لوئیس هستند که برای اندازه واحد محیط خیس شده تعیین می شوند و

$$WP = \alpha_1 A^{\alpha_2} \quad (۹)$$

که با جایگذاری رابطه شماره ۶ در رابطه شماره ۵ خواهیم داشت:

$$\alpha_1 = \rho_1^{-0.75} \quad (۱۰)$$

$$\alpha_2 = 2.5 - 0.75 \rho_2 \quad (۱۱)$$

در معادله شماره ۸ t = فرصت نفوذ بر حسب دقیقه است که تفاوت بین زمان انجام محاسبات و زمان رسیدن جبهه پیشروی آب به نقطه مورد نظر در مرحله پیشروی است. متوسط حسابی اندازه محیط خیس شده در شروع و انتهای هر گام زمانی Δt به عنوان محیط خیس شده ای در نظر گرفته شده است که نفوذ در زمان Δt از آن انجام می گیرد. این کار روشی ساده با دقتی قابل قبول است، به شرط اینکه Δt به اندازه کافی کوچک باشد [۱۷].

باتیستا و والنندر

(Bautista and Wallender, 1992) دو معادله برای محاسبه نفوذ ارائه دادند. یکی برای حالتی

که سطح آب در جویچه افزایش می یافت و دیگری برای حالتی که سطح آب پایین می افتاد. در مدل ZIWPV نیز برای مراحل تخلیه و پسروی که سطح آب کاهش پیدا می کند از رابطه باتیستا و والنندر (Bautista and Wallender, 1992) استفاده شده است. این رابطه به شکل زیر است:

$$Z^{n+1} = Z^n + [z(t^{n+1}) - z(t^n)] \quad (۱۲)$$

$$WP^{n+1}; WP^{n+1} \leq WP^n$$

که بالانویس $n+1$ = شاخص زمان در انتهای گام زمانی و بالانویس n = شاخص زمان در ابتدای گام زمانی است. در مدل ZIWPC برای محاسبه نفوذ از رابطه زیر استفاده شده است:

$$Z(t) = kt^a + f_0 t \quad (۱۳)$$

که در آن، k بر حسب مترمکعب/دقیقه^a/متر، a (بدون بعد) و f_0 بر حسب متر مکعب/دقیقه/متر پارامترهای معادله کوستیاکف - لوئیس هستند که از روش دو نقطه ای به دست آمده اند. در این مدل، عمق نفوذ تجمعی فقط تابعی از زمان فرصت نفوذ است.

اکنون ادامه بسط معادلات شرح داده می شود. با توجه به معادلات شماره ۳ تا ۵، معادله شماره ۲ به صورت زیر نوشته می شود:

$$\sigma_1 \frac{\partial(A^{\sigma_2})}{\partial x} = S_o - \frac{Q^2 n^2}{\rho_1 A^{\rho_2}} \quad (۱۴)$$

از رابطه شماره ۱۴ می توان دبی را برحسب متغیرهای دیگر محاسبه کرد:

و برای مدل ZIWPV رابطه ۱۸ به صورت رابطه ۱۵) که در آن:

$$Q = C A^m \quad (15)$$

$$C = (S_0 - \sigma_1 \frac{\partial(A\sigma^2)}{\partial x})^{\frac{1}{2}} \frac{\rho_1^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (16)$$

پس از جایگذاری رابطه شماره ۱۵ در رابطه شماره ۱ خواهیم داشت:

$$m = \frac{\rho_2}{2} \quad (17)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(CA^m)}{\partial x} + \frac{\partial Z}{\partial t} = 0 \quad (18)$$

رابطه ۱۸، هم ارز رابطه‌های شماره ۱ و ۲ است. این رابطه فقط دارای یک مجهول، سطح مقطع جریان در هر گره محاسباتی (A)، است. با حل رابطه شماره ۱۸ می‌توان مراحل مختلف آبیاری جویچه‌ای را شبیه‌سازی کرد.

منفصل کردن معادلات در مراحل پیشروی و ذخیره

به منظور حل عددی رابطه شماره ۱۸، هر یک از عبارتهای دیفرانسیلی آن، با عبارتی به روش تفاضلهای محدود جایگزین شده‌اند. برای مدل ZIWPV رابطه زیر حاصل شد:

$$\frac{A_{i-1}^{n+1} + A_i^{n+1} - A_{i-1}^n - A_i^n}{2 \Delta t} + \frac{C_i^{n+1} (A_i^{n+1})^{\frac{\rho_2}{2}} - C_{i-1}^{n+1} (A_{i-1}^{n+1})^{\frac{\rho_2}{2}}}{\Delta x} + \frac{Z_i^{n+1} - Z_i^n}{\Delta t} = 0 \quad (19)$$

که در رابطه‌های شماره ۱۹ و ۲۰، $\Delta x =$ طول گام مکانی (متر) و $\Delta t =$ گام زمانی فعلی (ثانیه) است. زیر نویس i شاخص مکان در انتهای یک سلول محاسباتی و $i-1$ شاخص مکان مربوط به گام مکانی قبلی است. شاخص مکان از $i=1$ شروع شده است و با توجه به اینکه مشخصات جریان در ورودی مشخص است، محاسبات از $i=2$ شروع می‌شود. بالانویس n اشاره دارد. به اندازه متغیرها در شروع گام زمانی و بالانویس $n+1$ اشاره دارد به اندازه متغیرها در انتهای گام زمانی. به علت تشابه نحوه انجام محاسبات در هر دو مدل و جهت رعایت اختصار، در قسمتهای بعدی فقط محاسبات در مدل ZIWPV ارائه شده است.

حل رابطه شماره ۱۹ برای A_i^{n+1} ، معادله شماره ۲۱ را نتیجه می‌دهد.

$$A_i^{n+1} = \frac{2 \Delta t C_{i-1}^{n+1} (A_{i-1}^{n+1})^{\frac{\rho_2}{2}} + 2 \Delta x (-Z_i^{n+1} + Z_i^n) + \Delta x (A_{i-1}^n + A_i^{n+1} - A_{i-1}^{n+1})}{\Delta x + 2 \Delta t C_i^{n+1} (A_i^{n+1})^{\left[\left(\frac{\rho_2}{2}\right)-1\right]}} \quad (21)$$

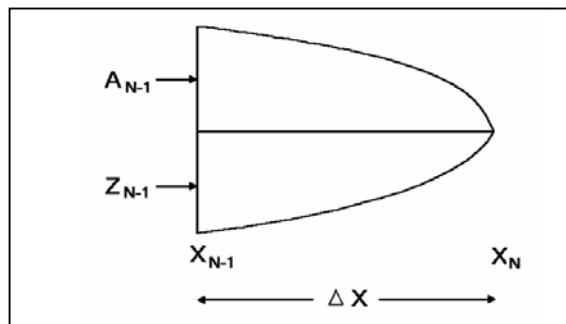
صفر است (شکل شماره ۱). بنابراین با جایگزین کردن این مقادیر در رابطه شماره ۲۱ می توان Δx را به صورت صریح محاسبه کرد. بنابراین، برای سلول پیشانی در مرحله پیشروی داریم:

$$\Delta x = \frac{2 \Delta t C_{N-1}^{n+1} (A_{N-1}^{n+1})^{\frac{\rho_2}{2}}}{A_{N-1}^{n+1} + 2 WP_{\bar{A}} z_{N-1}^{n+1} (\Delta t)} \quad (22)$$

که در آن، Δx = مسافت پیشروی با توجه به گام زمانی انتخاب شده (متر)، N = شاخص مکان برای گره محاسباتی انتهایی در مرحله پیشروی، و $WP_{\bar{A}}$ = متوسط محیط خیس شده برای سلول انتهایی (متر) است. تا شبیه سازی کامل مرحله پیشروی محاسبات به همین صورت ادامه می یابد. با شروع مرحله ذخیره، رواناب به صورت آزاد از انتهای جویچه خارج می شود. با استفاده از معادله مانینگ و فرض عمق نرمال آب، رواناب به عنوان تابعی از سطح مقطع جریان در گره انتهایی محاسبه می شود. پس از محاسبه تمام مجهولات در هر گام زمانی، به مرحله زمانی بالاتر رفته و این مراحل تا زمان قطع آب در ابتدای جویچه ادامه می یابد.

در قسمت سوم از صورت این معادله، A_i^{n+1} جایگزین A_i^n شده است [۱۱]. این جایگزینی پس از آزمایشهای عددی متعدد و بررسی حالات متعدد منفصل کردن معادلات، جهت به دست آوردن شکلی از معادلات انجام گرفته است که به بهترین صورت جریان را شبیه سازی کند. در مدل ZIWPC چنین جایگزینی انجام نگرفته است.

در این مدلها، نحوه انجام محاسبات به صورت صریح^۱ طرح شده است؛ به این مفهوم که نیاز به تشکیل و حل دستگاه معادلات نباشد. بنابراین در هر مرحله، محاسبات از سلول بالادست انتهایی با مشخصات معلوم شروع می شود و سلول به سلول به سمت پایین دست ادامه می یابد. جهت انجام محاسبات در مرحله پیشروی و ذخیره، با توجه به ثابت بودن دبی ورودی و مشخصات جویچه، با استفاده از معادله مانینگ مساحت در قسمت ورودی محاسبه می شود. سپس معادله شماره ۲۱ به روش تکراری^۲ جهت محاسبه A_i^{n+1} به کار گرفته می شود. برای محاسبه مسافت پیشروی، می توان معادله شماره ۲۱ را برای سلول پیشانی نوشت. در هر سلول انتهایی در جلو جبهه پیشروی، مقادیر Z_i^n ، Z_i^{n+1} ، A_{i-1}^n ، A_i^n ، A_i^{n+1}



شکل شماره ۱- نیمرخ جریان سطحی و زیر سطحی سلول
پیشانی در مرحله پیشروی

اولین گره محاسباتی واقع در مرز بالادست مزرعه با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$A_i^{n+1} = \frac{7}{10} A_2^n \quad (23)$$

همچنین با توجه به اینکه دبی ورودی بالادست برای اولین سلول محاسباتی، برابر صفر است رابطه پیوستگی در اولین سلول اصلاح می‌شود و مساحت مقطع عرضی جریان در اولین مرحله شبیه‌سازی، برای هر گام زمانی در مرحله تخلیه برابر خواهد بود با معادله شماره ۲۴.

در مراحل تخلیه و پسروی، رابطه شماره ۲۱ برقرار است، با این تفاوت که A_i^{n+1} به جای A_i^n در جمله دوم از قسمت سوم صورت کسر جایگزین نشده است. بنابراین خواهیم داشت (رابطه شماره ۲۵):

$$A_i^{n+1} = \frac{2 \Delta x (-Z_i^{n+1} + Z_i^n) + \Delta x (A_{i-1}^n + A_i^n - 0.7 A_i^n)}{\Delta x + 2 \Delta t C_i^{n+1} (A_i^{n+1})^{\left[\left(\frac{p_2}{2}\right)-1\right]}}, \quad i = 2 \quad (24)$$

- حل عددی معادلات در مراحل تخلیه و پسروی

با قطع جریان آب در ورودی، مرحله تخلیه آغاز می‌شود و سطح آب در ورودی شروع به پایین رفتن می‌کند. شرط مرزی بالادست در مرحله تخلیه (مساحت جریان در ورودی)، برای شروع محاسبات مشخص نیست. بنابراین برای محاسبه مساحت جریان در دومین گره محاسباتی، مساحت جریان در ورودی به صورت کسری از مساحت جریان در فاصله Δx پایین‌تر از ورودی فرض شده است. برای این تقریب پس از سعی و خطا، ضریب ۰/۷ به دست آمد. معیار انتخاب این ضریب، پایداری مدل در مرحله تخلیه و خطای بیلان حجمی مدل بوده است. بنابراین در مرحله تخلیه، مساحت جریان در

$$A_i^{n+1} = \frac{2 \Delta t C_{i-1}^{n+1} (A_{i-1}^{n+1})^{\frac{\rho_2}{2}} + 2 \Delta x (-Z_i^{n+1} + Z_i^n) + \Delta x (A_{i-1}^n + A_i^n - A_{i-1}^{n+1})}{\Delta x + 2 \Delta t C_i^{n+1} (A_i^{n+1})^{\left[\frac{(\rho_2)-1}{2}\right]}} \quad (25)$$

$$\frac{\bar{A}}{A_{N-1}} = \left(\frac{x_N - x}{x_N - x_{N-1}} \right)^\beta \quad (26)$$

که در آن، \bar{A} = متوسط مساحت جریان در سلول انتهایی و β = عامل شکل است که برابر است با:

$$\beta = \frac{1}{\sigma_2 + \rho_2 - 2} \quad (27)$$

با جایگزینی رابطه شماره ۲۷ در رابطه شماره ۲۶ و انتگرال گیری نتیجه می شود:

$$\int_{x_{N-1}}^{x_N} WP(x) dx = \alpha_1 A_{N-1}^{\alpha_2} \int_{x_{N-1}}^{x_N} \left(\frac{x_N - x}{x_N - x_{N-1}} \right)^{\beta \cdot \alpha_2} dx \quad (28)$$

و بنابراین خواهیم داشت:

$$WP_{\bar{A}} = \frac{WP_{N-1}}{\beta \alpha_2 + 1} \quad (29)$$

که $WP_{\bar{A}}$ = متوسط محیط خیس شده برای سلول انتهایی و WP_{N-1} = محیط خیس شده در x_{N-1} است.

- داده های مزرعای

به علت وجود خطا در حل عددی معادلات حاکم، باید صحت و دقت مدل‌هایی بررسی شود که با روشهای عددی تهیه می‌شوند. معمول‌ترین

در این مراحل نیز محاسبات از بالادست شروع می‌شود و به سمت پایین دست ادامه می‌یابد. در این مدل، هنگامی که مساحت جریان در یک گره به ۵ تا ۱۰ درصد مساحت جریان اصلی ورودی برسد، پسروری در آن نقطه اتفاق افتاده است [۱۵]. در یک گام زمانی خاص ممکن است پسروری به طور همزمان در چند نقطه رخ دهد. با توجه به اینکه مدت زمان مراحل تخلیه و پسروری کوتاه است، هنگامی که گام زمانی تعریف شده برای شبیه‌سازی مرحله ذخیره بزرگ‌تر از سه دقیقه باشد، بهتر است گام زمانی متفاوتی (حدود یک تا سه دقیقه) برای شبیه‌سازی مراحل تخلیه و پسروری به مدلها معرفی کرد [۱].

- محاسبه محیط خیس شده در سلول پیشانی

برای سلول انتهایی (پیشانی) در مرحله پیشروی، به علت اینکه پروفیل سطح آب در فاصله کوتاهی به شدت تغییر می‌کند و در آن سطح مقطع عرضی جریان از یک مقدار تعریف شده تا صفر تغییر می‌کند، باید فرمول متفاوتی جهت تخمین محیط خیس شده به کار رود. استرلکف و کاتاپودز (Strelkoff and Katopodes, 1977) معادله زیر را جهت نشان دادن تغییرات پروفیل سطح آب در سلول پیشانی مرحله پیشروی ارائه کردند.

شکلهای شماره ۲ و ۳ مشخص است، مدل ZIWPV مرحله پیشروی را به خوبی شبیه‌سازی کرده است. همچنین خطای بیلان حجمی مدل در هر دو سری، بسیار اندک است که دلیل دیگری بر تأیید نتایج این مدل است.

همچنین آزمون مدل ZIWPC با داده‌های آزمایشهای مزرعه‌ای (جدول شماره ۱، ستون چهارم و پنجم) انجام گرفته که در شکلهای شماره ۴ و ۵ نشان داده شده است. این شکلهای مقایسه زمانهای پیشروی و پسروی به دست آمده از مدل ZIWPC با اطلاعات مزرعه‌ای برای هر آبیاری هستند. مدل ZIWPC مرحله پیشروی را به خوبی شبیه‌سازی کرده است ولی منحنی پسروی به دست آمده از این مدل با منحنی پسروی به دست آمده از آزمایشهای مزرعه‌ای مطابقت خوبی ندارد. البته خطای بیلان حجمی مدل ZIWPC نیز اندک و قابل اغماض است. داده‌های مرحله پیشروی برای مدل ZIWPV موجود نبود و مدل ZIWPC نیز مرحله پیشروی را به خوبی شبیه‌سازی نکرده است. ولی با توجه به کوتاه بودن زمان این مرحله در آبیاری جویچه‌ای، این مرحله اثر چندانی بر نتایج حاصل از آبیاری جویچه‌ای ندارد و حتی در بعضی از مدل‌های آبیاری جویچه‌ای از شبیه‌سازی مراحل تخلیه و پسروی صرف نظر شده است [۱۱].

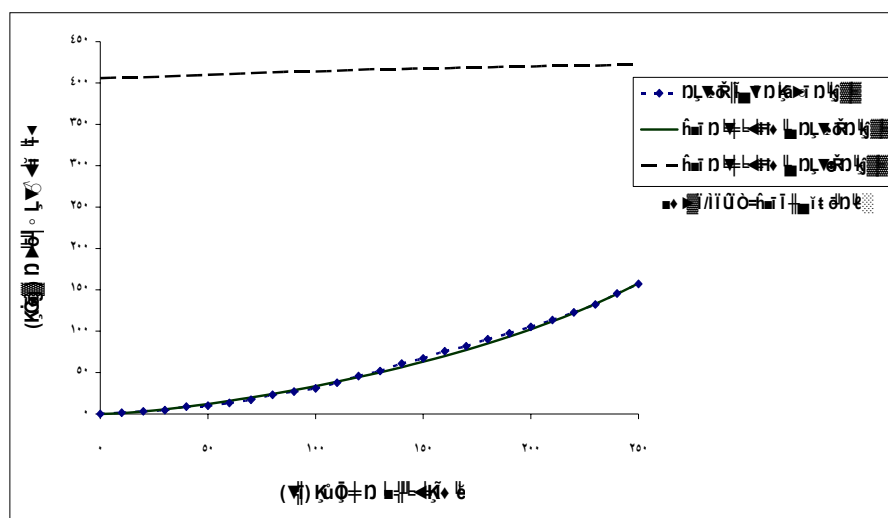
روش آزمون مدل‌های آبیاری سطحی (عددی و تحلیلی) مقایسه نتایج آنها با آمار و ارقام صحرایی است. برای آزمون مدل ZIWPV از دو سری داده مزرعه‌ای شوانکل (۱۹۸۹) و رامزی (۱۹۷۶) استفاده شده است (جدول شماره ۱، ستون ۲ و ۳) [۱۰، ۱۲]. اطلاعات این آبیاریها از مقالات باتیستا و والندر (Bautista and Wallender, 1992, 1993) به دست آمده‌اند. در هر دو آزمایش، نفوذ به روش جویچه مسدود برداشت و پارامترهای معادلات نفوذ برای طول واحد محیط خیس شده ارائه شده‌اند. برای آزمون مدل ZIWPC نیز دو سری آزمایش مزرعه‌ای، آبیاری ارومیه سری دوم و آبیاری مشهد سری اول استفاده شده است (جدول شماره ۱، ستون ۴ و ۵) [۳]. معادله نفوذ در این آبیاریها، به روش دو نقطه‌ای برداشت شده است.

- آزمون مدلها

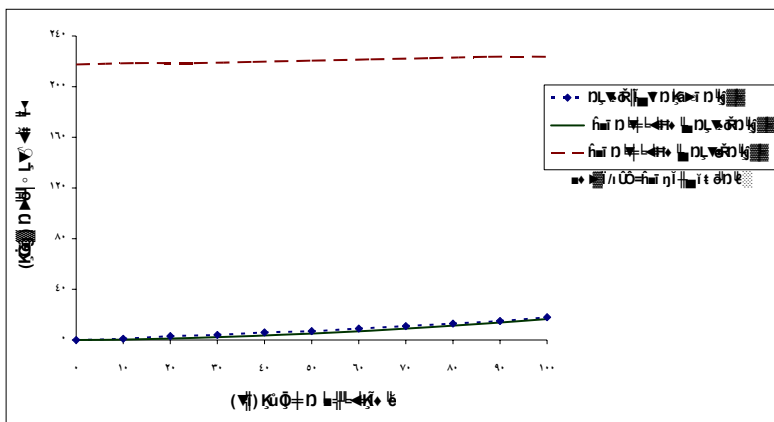
آزمون مدل ZIWPV با اعمال پارامترهای لازم برای دو سری آزمایش مزرعه‌ای، ستون دوم و سوم جدول شماره ۱، انجام گرفت. نتایج حاصل از مدل ZIWPV و آزمایشهای مزرعه‌ای در شکلهای شماره ۲ و ۳ نشان داده شده است. منحنی پسروی برای آزمایشات شوانکل (۱۹۸۹) و رامزی (۱۹۷۶) موجود نبوده است و منحنی پسروی نشان داده شده، منحنی به دست آمده از مدل ZIWPV است. همان‌طور که از

جدول شماره ۱- پارامترهای اجرای آبیاری

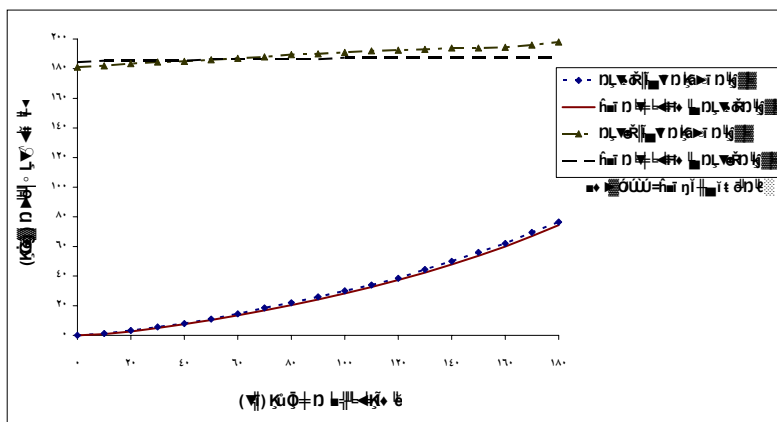
| میزان پارامترهای ورودی به مدل | | | | پارامترهای ورودی به مدل |
|-------------------------------|------------|--------------|---------------|---------------------------------------|
| ارومیه سری ۲ | مشهد سری ۱ | رامزی (۱۹۷۶) | شوانکل (۱۹۸۹) | |
| ۰/۲۱۱ | ۰/۳۱۱ | ۰/۰۱۱۰۹ | ۰/۱۸۸۶۷۸ | a |
| ۰/۰۰۳۶ | ۰/۰۰۳۸ | ۰/۰۴۹۷ | ۰/۰۲۱۴ | K |
| ۰/۰۰۰۰۹۳ | ۰/۰۰۰۰۲۹ | ۰/۰ | ۰/۰۰۰۰۶۹۲ | F_0 |
| ۰/۰۵۴۵ | ۰/۰۶۹ | ۱/۳۳ | ۱ | دبی جریان ورودی Q_0 (لیتر در ثانیه) |
| ۱۸۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۲۵۰ | طول جویچه l (متر) |
| ۰/۰۱۶۳ | ۰/۰۱۱۷ | ۰/۰۰۱۳۳ | ۰/۰۰۲۳۲ | شیب جویچه S_0 (متر در متر) |
| ۰/۰۳ | ۰/۰۴ | ۰/۰۲۲ | ۰/۰۶۵ | ضریب مانینگ n ، بدون بعد |
| ۱۸۰ | ۱۲۷ | ۲۰۸ | ۳۹۰ | زمان قطع جریان t_{co} (دقیقه) |
| ۰/۹۲ | ۱/۱ | ۱/۲۱۱ | ۱ | σ_1 |
| ۰/۶ | ۰/۶۶ | ۰/۶۹۸ | ۰/۰۵۸۹۶ | σ_2 |
| ۰/۴۳ | ۰/۴۲ | ۰/۰۵۳۴۳ | ۰/۲۳۱۱۲ | ρ_1 |
| ۲/۷۹ | ۲/۸۱ | ۲/۸۷۱۳۳۳ | ۲/۶۷۷۲۹ | ρ_2 |



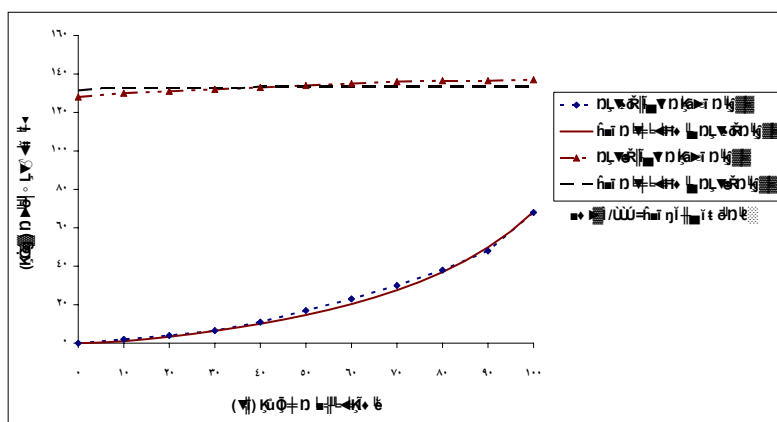
شکل شماره ۲- مقایسه نتایج مدل ZIWPV با داده‌های مزرعه‌ای شوانکل (۱۹۸۹)



شکل شماره ۳- مقایسه نتایج مدل ZIWPV با داده‌های مزرعه‌ای رامزی (۱۹۷۶)



شکل شماره ۴- مقایسه نتایج مدل ZIWPV با داده‌های مزرعه‌ای ارومیه سری دو



شکل شماره ۵- مقایسه نتایج مدل ZIWPV با داده‌های مزرعه‌ای مشهد سری یک

۵- یافته‌ها:

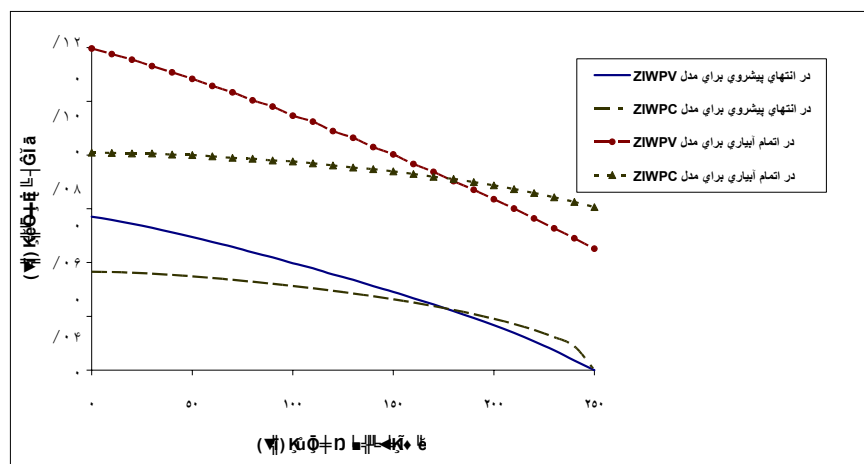
یعنی دبی ورودی، سرعت نفوذ نهایی، و منحنی

پیشروی آب در طول جویچه مشخص هستند، پارامترهای نفوذ آب به داخل خاک برای معادله نفوذ کوستیاکوف-لوئیس در حالت اثر محیط خیس شده ثابت، با استفاده از روش دو نقطه‌ای محاسبه شد. برای این آبیاری، f_0 برابر با $0/000131$ بر حسب مترمکعب/دقیقه/متر است [۱۱]، k برابر با $0/002935$ بر حسب مترمکعب/دقیقه^۳/متر و a برابر با $0/37029$ به دست آمد.

در شکل شماره ۶، منحنیهای پیشروی و پیشروی برای دو مدل ZIWPV و ZIWPC مقایسه شده‌اند. زمان مرحله پیشروی در سطح مزرعه و شبیه‌سازی شده توسط مدل ZIWPV و مدل ZIWPC به ترتیب برابر با $157/8$ و 140 دقیقه است. بنابراین مدل ZIWPV این مرحله را به خوبی شبیه‌سازی کرد ولی مدل ZIWPC زمان این مرحله را $10/8$ درصد کمتر تخمین زد. منحنیهای پیشروی حاصل از هر دو مدل برازش خوبی بر یکدیگر دارند.

- مقایسه اثر محیط خیس شده متغیر و ثابت

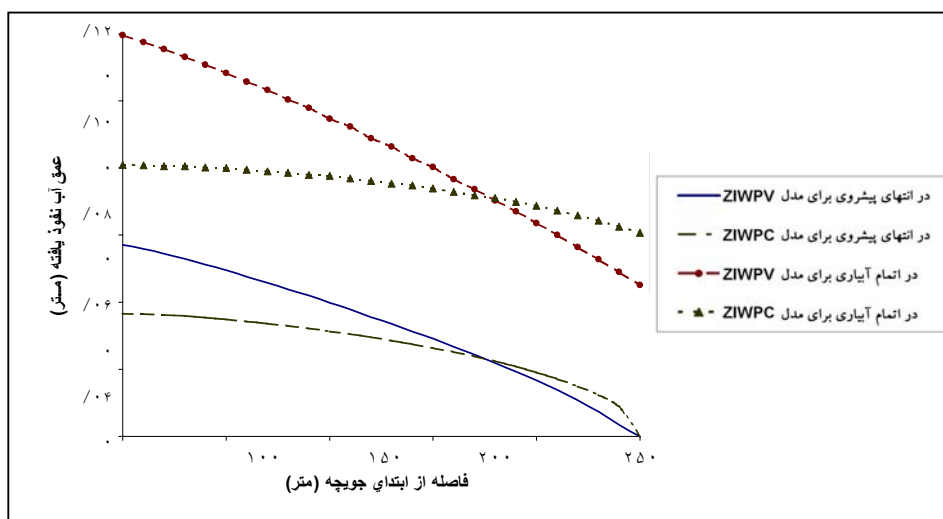
جهت محاسبه نفوذ در مدل ZIWPV فرض شد که تغییرات محیط خیس شده بر نفوذ آب به خاک مؤثر و در محاسبه نفوذ منظور شده است. اما در مدل ZIWPC نفوذ آب به خاک تنها به عنوان تابعی از زمان است و بنابراین اثر محیط خیس شده در طول جویچه و در تمام زمان آبیاری یکسان در نظر گرفته شده است. جهت بررسی این فرضیات و تأثیر آنها بر نتایج شبیه‌سازی آبیاری، هر دو مدل باید با اطلاعات مزرعه‌ای یکسان مقایسه شدند. برای این منظور، از داده‌ها و نتایج آبیاری شوانکل (۱۹۸۹) استفاده شده است. در این آبیاری، پارامترهای نفوذ برای طول واحد محیط خیس شده به دست آمده‌اند و برای استفاده در مدل ZIWPV مناسب هستند. بنابراین، برای مدل ZIWPC باید پارامترهای معادله نفوذ را برای حالت محیط خیس شده ثابت تعیین کرد. با توجه به اینکه مشخصات جویچه نظیر طول، شیب، ضریب زبری، پارامترهای هندسی مقطع عرضی جویچه، و اطلاعات آبیاری



شکل شماره ۶- مقایسه منحنیهای پیشروی و پسروی برای دو مدل ZIWPV و ZIWPC با داده‌های اسچوانکل (۱۹۸۹)

شکل شماره ۷، پروفیل آب نفوذ یافته را برای دو مدل ZIWPV و ZIWPC در انتهای مرحله پیشروی و بعد از اتمام آبیاری نشان می‌دهد. در انتهای مرحله پیشروی و بعد از اتمام آبیاری، مدل ZIWPC، نسبت به مدل ZIWPV عمق نفوذ تجمعی را در بالادست جویچه کمتر و در پایین دست جویچه بیشتر تخمین زده است. در مرحله پیشروی و ذخیره آبیاری جویچه‌ای، به علت نفوذ آب در طول جویچه اندازه محیط خیس شده در ورودی حداکثر است و با رفتن به سمت انتهای جویچه، میزان دبی، مساحت جریان و بنابراین محیط خیس شده کاهش می‌یابد. شاید بتوان گفت که مدل ZIWPC برای تمام طول جویچه از اثر محیط خیس شده ثابت جهت محاسبه نفوذ استفاده کرده است، و از این رو عمق آب نفوذ یافته را در ابتدای جویچه کمتر برآورد کرده است. در حالی که ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) و ضریب یکنواختی توزیع (DU) اندازه‌گیری شده در مزرعه برابر با ۷۷ و ۶۴ درصد بود مدل ZIWPV، این دو ضریب (CU و DU) را به ترتیب ۷۷/۴ و ۶۸/۵ درصد و مدل ZIWPC آنها را به ترتیب ۹۳/۱ و ۸۹/۴ درصد تخمین زد. متوسط عمق آب نفوذ یافته اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه برای آبیاری شوانکل (۱۹۸۹) برابر با ۷/۴۷ سانتیمتر است که مدل‌های ZIWPV و ZIWPC متوسط عمق آب نفوذ یافته را به ترتیب برابر با ۸/۶ سانتی‌متر و ۷/۴۳ سانتیمتر برآورد کردند. مدل ZIWPC عمق آب نفوذ یافته را به خوبی شبیه‌سازی کرده ولی مدل ZIWPV عمق آب نفوذ یافته را ۱۵/۱ درصد بیشتر برآورد کرده است. بنابراین، دخالت دادن اثر محیط خیس شده در محاسبه نفوذ برای تمام زمان آبیاری، تخمین یکنواختی توزیع آب نفوذ یافته را بهبود می‌بخشد، ولی عمق متوسط آب نفوذ یافته را بیشتر برآورد می‌کند.

شکل شماره ۷، پروفیل آب نفوذ یافته را برای دو مدل ZIWPV و ZIWPC در انتهای مرحله پیشروی و بعد از اتمام آبیاری نشان می‌دهد. در انتهای مرحله پیشروی و بعد از اتمام آبیاری، مدل ZIWPC، نسبت به مدل ZIWPV عمق نفوذ تجمعی را در بالادست جویچه کمتر و در پایین دست جویچه بیشتر تخمین زده است. در مرحله پیشروی و ذخیره آبیاری جویچه‌ای، به علت نفوذ آب در طول جویچه اندازه محیط خیس شده در ورودی حداکثر است و با رفتن به سمت انتهای جویچه، میزان دبی، مساحت جریان و بنابراین محیط خیس شده کاهش می‌یابد. شاید بتوان گفت که مدل ZIWPC برای تمام طول جویچه از اثر محیط خیس شده ثابت جهت محاسبه نفوذ استفاده کرده است، و از این رو عمق آب نفوذ یافته را در ابتدای جویچه کمتر برآورد کرده است. در حالی که ضریب یکنواختی کریستیانسن



شکل شماره ۷- مقایسهٔ پروفیل آب نفوذ یافته برای دو مدل ZIWPV و ZIWPC در انتهای پیشروی و اتمام آبیاری

۶- کاوش:

می‌تواند ناشی از دخالت ندادن اثر محیط خیس شده در محاسبهٔ نفوذ و همچنین برآورد کمتر زمان مرحلهٔ پیشروی در این مدل باشد. با رفتن به سمت انتهای جویچه، دبی و بنابراین محیط خیس شده و میزان نفوذ کاهش می‌یابد ولی مدل ZIWPC کاهش محیط خیس شده را در محاسبهٔ نفوذ لحاظ نمی‌کند. اینکه مدل ZIWPV عمق متوسط آب نفوذ را بیشتر تخمین زده است می‌تواند یک دلیل عمده داشته باشد و آن این است که با گذشت زمان و به علت نفوذ آب از جویچه‌های مجاور، سرعت نفوذ آب به سرعت نهایی نفوذ نزدیک می‌شود و اثر محیط خیس شده بر نفوذ کاهش می‌یابد [۹]. ولی چون در این مدل اثر محیط خیس شده برای محاسبهٔ نفوذ در تمام مدت زمان آبیاری لحاظ، عمق آب نفوذ یافته بیشتر تخمین زده شده است.

مدل ZIWPV مرحلهٔ پیشروی را به خوبی شبیه‌سازی کرد ولی مدل ZIWPC مدت زمان مرحلهٔ پیشروی را برای این داده‌های مزرعه‌ای کمتر برآورد کرده است. شاید بتوان گفت که چون مدل ZIWPC جهت محاسبهٔ نفوذ برای تمام طول جویچه از اثر محیط خیس شده ثابت استفاده کرده است، عمق آب نفوذ یافته در ابتدای جویچه کمتر برآورد نموده و به علت وجود حجم آب بیشتر در روی سطح خاک، سرعت پیشروی بیشتر تخمین زده شده است.

مدل ZIWPC عمق نفوذ را در بالادست جویچه کمتر و در پایین‌دست جویچه بیشتر تخمین زد که علت آن دخالت ندادن اثر محیط خیس شده در محاسبهٔ نفوذ است. همچنین علت آب نفوذ یافته بیشتر در قسمتهای انتهایی جویچه پس از اتمام آبیاری برای مدل ZIWPC

۷- توصیه و پیشنهاد:

می‌کنند بهتر است اثر محیط خیس شده در محاسبه نفوذ، برای مراحل اولیه نفوذ در هر محل لحاظ شود و پس از نزدیک شدن به سرعت‌هایی نفوذ، سرعت نفوذ در هر محل برابر با سرعت نفوذ پایه اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه قرار داده شود. دلیل این موضوع آن است که با گذشت زمان و به علت نفوذ آب از جویچه‌های مجاور، سرعت نفوذ آب به سرعت نهایی نفوذ نزدیک می‌شود و اثر محیط خیس شده بر نفوذ کاهش می‌یابد.

در طراحی و ارزیابی سیستم‌های آبیاری جویچه‌ای با مدل‌های شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای با فرض نفوذ یک بعدی آب به خاک، باید این نکته را مد نظر داشت که این مدل‌ها می‌توانند عمق متوسط آب نفوذ یافته در طول جویچه را با دقت بالایی برآورد کنند ولی پیش‌بینی آنها از یکنواختی آب نفوذ یافته در طول جویچه بیشتر از واقع خواهد بود. همچنین در مدل‌های شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای که نفوذ آب به خاک را با تأثیر محیط خیس شده و تغییرات آن محاسبه

۸- منابع:

- ۱- امینی‌زاده، س. م. ر. ۱۳۸۱. تهیه مدل ریاضی جهت بررسی تأثیر محیط خیس شده و تغییرات مکانی نفوذ در شبیه‌سازی و راندمان آبیاری جویچه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- ۲- بهزاد، م. و محمودیان شوشتری، م. ۱۳۷۵. مطالعه اثر محیط خیس شده بر نفوذ آب در جویچه‌ها. مجله علمی کشاورزی، جلد نوزدهم. شماره‌های ۱ و ۲، ۲۲-۱.
- ۳- عباسی، ف.، جلیلی، م. معیری، م. طائفه رضایی، ح. ۱۳۷۸. تهیه یک مدل ریاضی برای طراحی و ارزیابی روش‌های آبیاری سطحی. نشریه شماره ۱۲۲. گزارش پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.
- 4- Bautista, E. and Wallender, W. W. 1992. Hydrodynamic furrow irrigation model with specified space steps. J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE. 118: 3, 450-465.
- 5- Bautista, E. and Wallender, W. W. 1993. Numerical calculation of infiltration in furrow irrigation simulation models. J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE. 119: 2, 286-294.

- 6- Elliott, R. L., Walker, W. R. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 25: 2, 396-400.
- 7- Elliott, R. L., Walker, W. R. and Skogerboe, G. V. 1982. Zero-inertia modeling of furrow irrigation advance. J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE. 108: 3, 179-195.
- 8- Fangmeier, D. D. and Ramsey, M. K. 1978. Intake characteristics in irrigation furrows. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 21: 4, 696-700, 705.
- 9- Izadi, B. and Wallender, W. W. 1985. Furrow hydraulic characteristics and infiltration. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 28: 6, 1901-1908.
- 10- Ramsey, M. K. 1976. Intake characteristic and flow resistance in irrigation furrows. M. Sc. Thesis. University of Arizona. Tucson. Ariz.
- 11- Schwankl, L. J. and Wallender, W. W. 1988. Zero-inertia furrow modeling with variable infiltration and hydraulic characteristics. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 31: 5, 1470-1475.
- 12- Schwankl, L. J. 1989. Stochastic furrow irrigation modeling. Ph.D. thesis, University of California at Davis. Calif.
- 13- Strelkoff, T. and Katopodes, N. D. 1977. Border irrigation hydraulics with zero-inertia. J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE. 103: 3, 325-342.
- 14- Strelkoff T., and Souza, F. 1984. Modelling effect of depth on furrow irrigation. J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE. 110: 4, 375-387.
- 15- Walker, W. R. and Skogerboe, G. V. 1987. Surface Irrigation: Theory and Practice. Prentice-Hall. Englewood Cliffs. NJ. USA.

-
- 16- Walker, W. R., 1993. SIRMOD: Surface irrigation simulation software, version 2.1, Guide and technical documentatation. Biological and Irrigation Department. Utah State University. Logan. Utah.
- 17- Zerihan, D., Feyen J. and Reddy, J. M. 1996. Sensitivity analysis of furrow irrigation performance parameters. J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE. 122: 1, 49-57.

The Effectiveness of Variable and Constant Wetted Perimeter on Simulation and Uniformity of Furrow Irrigation

**M. R. Aminizadeh, M. Mahmoudian Shoushtari,
A. M. Liaghat and S. Kouchakzadeh**

Infiltration in furrow irrigation is 2-D which depends on both time and surface characteristics at which infiltration occurs. However, in many furrow irrigation models, infiltration is determined as a function of infiltration time opportunity, assuming the variation of wetted perimeter is low along furrow. In order to compare the proposed assumptions, two zero-inertia furrow irrigation models were developed; one was ZIWPV model, which considers the effectiveness of wetted perimeter, and the other was ZIWPC model, which assumes a constant surface for wetted perimeter. Solution of finite-difference equations is obtained with an explicit scheme. The results of two models were compared together using schwankl's field data. The ZIWPV model predicted well the advance time which was measured 157 minutes in the field. But ZIWPC model underestimated it which was 10.8%. CU and DU were estimated 77.4 and 68.5 by ZIWPV model and 93.1 and 89.4% by ZIWPC model, respectively. However, they were measured in the field 77 and 64%, respectively. The average infiltrated depth in the field was measured 7.47 cm. But it was estimated 8.6 and 7.43 cm by ZIWPV and ZIWPC models, respectively. Thus, taking into account the wetted perimeter effectiveness to calculate infiltration during irrigation improves infiltrated water uniformity, but overestimated the average depth of infiltration. Also, furrow irrigation models which assume infiltration to be 1-D, predict well the average infiltration depth. But, they overestimated infiltrated water uniformity.

Keywords: Furrow Irrigation, Two-Point Method, Wetted Perimeter, Zero-Inertia Model.