

ارائه یک حل صریح معادلات مدل اینرسی - صفر با تأثیر محیط خیس شده جهت شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای

سید محمدرضا امینی‌زاده^۱، عبدالمجید لیاقت^۲، محمد محمودیان شوشتری^۳ و صلاح کوچک‌زاده^۴

چکیده

یک مدل اینرسی - صفر برای شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای با تأثیر محیط خیس شده متغیر در محاسبه نفوذ (Zero-Inertia, Wetted Perimeter Variable model-ZIWPV) بر اساس شمای صریح بسط داده شد. در این مدل، محاسبات از بالادست با مرز معلوم شروع شده گام به گام به سمت پایین دست ادامه می‌یابد. بنابراین نیاز به تشکیل دستگاه معادلات و حل آن نمی‌باشد. استفاده از راه حل صریح باعث می‌شود که کد برنامه کامپیوتری ساده باقی بماند و آموزش و یادگیری آن آسان باشد. در این تحقیق محیط خیس شده به عنوان تابعی از سطح مقطع جریان فرض گردید. در مدل‌های قبلی که از الگوریتم‌های حل صریح استفاده نموده‌اند مرحله تخلیه شبیه‌سازی نشده؛ ولی در این مدل مرحله تخلیه با انجام فرضیاتی شبیه‌سازی گردید. نتایج حاصل از مدل پیشنهادی پس از مقایسه با دو سری داده مزرعه‌ای تأیید گردید و پس از آن تأثیر انتخاب اندازه گام مکانی بر شبیه‌سازی مرحله پیشروی مدل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مدل نشان می‌دهد که با انتخاب گام‌های مکانی بزرگ نیز مرحله پیشروی با دقت مطلوبی شبیه‌سازی می‌شود. با کاهش اندازه گام‌های مکانی، نتایج حاصل از مدل به داده‌های واقعی نزدیک‌تر می‌شوند ولی احتمال ناپایدار شدن مدل در مرحله پیشروی افزایش می‌یابد. بنابراین استفاده از راه‌حل‌های صریح حل معادلات اینرسی - صفر به خوبی می‌تواند در مدل‌های شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، مدل اینرسی - صفر، محیط خیس شده، حل صریح، مرحله تخلیه

۱. دانش‌آموخته رشته آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران

۲. دانشیار گروه آبیاری، دانشگاه تهران

۳. استاد گروه عمران، دانشگاه شهید چمران

۴. دانشیار گروه آبیاری، دانشگاه تهران

مقدمه

مدل‌های آبیاری سطحی، وسیله‌ای جهت طراحی و ارزیابی روش‌های آبیاری سطحی می‌باشند. با استفاده از این مدل‌ها، می‌توان یک آبیاری کامل را شبیه‌سازی نموده و با تغییر عوامل ورودی که در حقیقت عوامل طراحی نیز می‌باشند، به بازدهی و یکنواختی بالایی در اجرای آبیاری دست یافت. البته شبیه‌سازی جریان آب روی سطح خاک کار تازه‌ای نیست ولی همزمان با پیشرفت تکنولوژی کامپیوتر در سه دهه اخیر، موضوع به طور گسترده پیگیری شده و می‌شود. در این راستا، تا کنون مدل‌های بسیاری نوشته شده که هر کدام فرضیات، محاسن و محدودیت‌های خود را دارا می‌باشند. دقت نتایج حاصل از هر مدل بستگی به دقت پارامترهای ورودی و شبیه‌سازی درست پدیده مورد نظر دارد. هر قدر که فرضیات ساده‌کننده یک مدل کمتر باشد می‌توان اطمینان بیشتری به نتایج حاصل از آن داشت. استرلکف و کاتاپودز (۱۹۷۷) با صرف نظر از جملات شتاب و اینرسی در معادله مومنتم، به علت سرعت ناچیز جریان در آبیاری سطحی، مدل اینرسی-صفر را ارائه نمودند. الیوت و همکاران (۱۹۷۸) با تعریف تجربی هندسه جویچه به صورت توابع نمایی، مدل اینرسی-صفر را برای شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای توسعه دادند. واکر و هامفریز (۱۹۸۳) معادلات موج کینماتیک را با روش انتگرالی (استرلکف و کاتاپودز، ۱۹۷۷) جهت شبیه‌سازی تمام مراحل آبیاری جویچه‌ای به کار بردند.

نفوذ آب به خاک در آبیاری جویچه‌ای دو بعدی بوده و اثر شکل هندسی مقطع عرضی جویچه باید به گونه‌ای در شبیه‌سازی جریان و محاسبه میزان نفوذ در جویچه‌ها لحاظ گردد (بهزاد و محمودیان شوشتری، ۱۳۷۵؛ فارمینگر و رامزی، ۱۹۷۸؛ ایزدی و والندر، ۱۹۸۵). بهترین متغیری که تاکنون جهت محاسبه نفوذ دو بعدی در مدل‌های آبیاری جویچه‌ای پیشنهاد شده است محیط خیس شده می‌باشد (بهزاد و محمودیان شوشتری، ۱۳۷۵؛ استرلکف و سوزا،

۱۹۸۴). در بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای، حالت‌های مختلفی جهت داخل کردن اثر محیط خیس شده در محاسبه نفوذ، مورد بررسی قرار گرفته است (باتیستا و والندر، ۱۹۹۳؛ اسچوانکل و والندر، ۱۹۸۸؛ استرلکف و سوزا، ۱۹۸۴).

بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای از گام‌های زمانی ثابت جهت شبیه‌سازی مرحله پیشروی استفاده می‌نمایند و بنابراین گام‌های مکانی در این مدل‌ها مشخص و برابر نمی‌باشند. با توجه به اینکه، داده‌های مزرعه‌ای مانند خصوصیات نفوذ، زبری سطح، هندسه جویچه و منحنی‌های پیشروی و پسروی در مکان‌های مشخصی در طول جویچه اندازه‌گیری می‌شوند، استفاده از گام‌های مکانی مشخص با شرایط مزرعه‌ای منطبق‌تر است. در این راستا مدل‌های موازنه حجم (بالی و والندر، ۱۹۸۷)، مدل‌های موج کینماتیک (رایچ و والندر، ۱۹۸۸) و یک مدل اینرسی-صفر ساده شده (اسچوانکل و والندر، ۱۹۸۸)، توسط محققین مختلف ارائه شد. اسچوانکل و والندر (۱۹۸۸) عبارت گرادیان عمق در مرحله پیشروی را به صورت اختلاف عمق آب بین ابتدا و انتهای جبهه پیشروی تقسیم بر مسافت پیشروی در نظر گرفتند و در مرحله ذخیره، $\frac{\partial y}{\partial x}$ را برابر با صفر فرض کردند. همچنین از شبیه‌سازی مراحل تخلیه و پسروی صرف نظر نمودند.

مدل‌های شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای که تا این زمان با گام‌های مکانی مشخص توسعه داده شده بودند، به علت فرضیات ساده‌کننده‌ای که در معادلات حاکم آنها به کار رفته بود، نمی‌توانستند برای همه دامنه‌های ممکن داده‌های ورودی یا شرایط مرزی به کار روند. بنابراین توسعه این مدل‌ها باید بر اساس معادلات اینرسی-صفر با قابلیت انعطاف بیشتر و یا مدل‌های هیدرودینامیک جریان انجام می‌گرفت (باتیستا و والندر، ۱۹۹۲). مدل‌های هیدرودینامیک آبیاری جویچه‌ای با گام‌های مکانی ثابت و تأثیر

مدل‌ها مشخص نمی‌باشد (عباسی و محمودیان شوشتری، ۱۳۷۵؛ عباسی و همکاران، ۱۳۷۸؛ سهرابی و همکاران، ۱۳۷۸؛ ملک پور، ۱۳۷۳). هدف از این تحقیق، کاربرد یک الگوریتم حل صریح جهت بسط یک مدل اینرسی-صفر باگام‌های مکانی ثابت جهت شبیه‌سازی تمام مراحل آبیاری جویچه‌ای است. در این مدل فرضیات ساده‌کننده مدل اسپوانکل و والندر (۱۹۸۸) و سایر مدل‌های اینرسی-صفر به کارگرفته نشده تا مدل بتواند دامنه وسیع‌تری از اطلاعات ورودی را شبیه‌سازی نماید. در این مدل اثر محیط خیس شده بر نفوذ با این فرض که محیط خیس شده تابعی از سطح مقطع جریان است لحاظ گردیده است.

معادلات حاکم

معادلات حاکم بر مدل اینرسی-صفر عبارتند از:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Z}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad (2)$$

که در آنها، y = عمق جریان (m)، A = سطح مقطع جریان (m^2)، Q = شدت جریان ورودی (m^3/s)، Z = حجم آب نفوذ یافته در واحد طول (m^2)، S_0 = شیب کف مزرعه (m/m)، S_f = شیب خط انرژی (m/m)، t = زمان (s)، و x = فاصله از ابتدای جویچه (m) است. معادلات ۱ و ۲ به ترتیب، قوانین پیوستگی و اندازه حرکت را پس از حذف جملات اینرسی نشان می‌دهند. عمق آب در جویچه‌ها را می‌توان با سطح مقطع عرضی ارتباط داد:

$$y = \sigma_1 A^{\sigma_2} \quad (3)$$

محیط خیس شده بر نفوذ، توسط والندر و رایج (۱۹۹۰) و باتیستا و والندر (۱۹۹۲) ارائه شده است. بسیاری از مدل‌ها جهت حل معادلات حاکم بر جریان آبیاری جویچه‌ای از راه‌حل‌های غیر صریح استفاده می‌نمایند که می‌توان به مدل‌های اینرسی-صفر عباسی و محمودیان شوشتری (۱۳۷۵)، عباسی و همکاران (۱۳۷۸)، سهرابی و همکاران (۱۳۷۸)، الیوت و همکاران (۱۹۸۲) و زریهان و همکاران (۱۹۹۶)؛ مدل موج کنیما تیک واکر و هامفریز (۱۹۸۳) و مدل هیدرودینامیک سوزا (۱۹۸۱) اشاره نمود. این مدل‌ها مبتنی بر روش‌های عددی پیچیده و حل دستگاه‌های بزرگ معادلات می‌باشند و نیاز به برنامه‌نویسی سنگین و پرهزینه دارند. استفاده از راه‌حل‌های صریح جهت حل معادلات حاکم بر جریان به علت عدم نیاز به حل دستگاه معادلات می‌تواند سودمند باشد (امینی زاده، ۱۳۸۱). تا کنون چندین مدل نیز با کاربرد راه‌حل‌های صریح بسط داده شده‌اند که می‌توان به مدل‌های اینرسی-صفر عباسی و محمودیان شوشتری (۱۳۷۵) و اسپوانکل و والندر (۱۹۸۸)، مدل‌های موج کنیما تیک ملک پور (۱۳۷۳) و والندر و یوکوکورا (۱۹۹۰) و مدل‌های هیدرودینامیک والندر و رایج (۱۹۹۰) و باتیستا و والندر (۱۹۹۲) اشاره نمود.

اسپوانکی و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از مدل اینرسی صفر اسپوانکل و والندر (۱۹۸۸)، اثر تغییر در میزان جریان ورودی و تغییرات مکانی نفوذ را بر مدت زمان پیشروی و عمق متوسط نفوذ مورد بررسی قرار دادند. زاپاتا و پلایان (۲۰۰۱) یک مدل دو بعدی شبیه‌سازی آبیاری کرتی را جهت بررسی تأثیرات تغییرات ارتفاع و نفوذ در سطح کرت، به کار بردند.

در مدل‌های شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای نیز که تا کنون در ایران توسعه داده شده اند، اثر محیط خیس شده و تأثیرات آن بر میزان و توزیع نفوذ آب در جویچه‌ها دیده نشده و گام‌های مکانی در این

تغییر می‌کند. با توجه به معادلات ۳ تا ۵، معادله ۲ به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\sigma_1 \frac{\partial(A^{\sigma_2})}{\partial x} = S_o - \frac{Q^2 \cdot n^2}{\rho_1 A^{\rho_2}} \quad (۸)$$

که از رابطه اخیر می‌توان دبی را برحسب متغیرهای دیگر به صورت زیر محاسبه نمود:

$$Q = C A^m \quad (۹)$$

که در آن:

$$C = (S_o - \sigma_1 \frac{\partial(A^{\sigma_2})}{\partial x})^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{\rho_1^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (۱۰)$$

$$m = \frac{\rho_2}{2} \quad (۱۱)$$

با جایگزینی رابطه ۹ در رابطه ۱ خواهیم داشت:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(CA^m)}{\partial x} + \frac{\partial Z}{\partial t} = 0 \quad (۱۲)$$

رابطه ۱۲ هم ارز روابط ۱ و ۲ می‌باشد. این رابطه فقط دارای یک مجهول، سطح مقطع عرضی جریان در هر گره محاسباتی (A) می‌باشد. با حل معادله ۱۲ می‌توان مراحل مختلف آبیاری جویچه‌ای را شبیه‌سازی نمود. البته همان گونه که نشان داده شد، Z و C نیز ثابت نبوده و تابعی از سطح مقطع جریان (A) می‌باشند. بنابراین با اعمال محیط خیس شده متغیر نسبت به زمان و مکان، درجه غیر خطی بودن مدل افزایش یافته است.

که در آن σ_1 و σ_2 ، ضرایب ثابتی هستند که با توجه به اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای شکل مقطع عرضی به دست می‌آیند. از معادله مانینگ نیز، جهت محاسبه شیب اصطکاک (S_f)، استفاده می‌شود:

$$S_f = \frac{Q^2 \cdot n^2}{A^2 \cdot R^{\frac{4}{3}}} \quad (۴)$$

که در آن R شعاع هیدرولیکی است. مخرج کسر سمت راست معادله ۴ را نیز می‌توان با یک تابع توانی برحسب سطح مقطع جریان تقریب زد (الیوت و همکاران، ۱۹۸۲):

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

که در آن ρ_1 و ρ_2 پارامترهای تجربی هستند که با تطبیق بر اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای مقطع عرضی جویچه به دست می‌آیند. شعاع هیدرولیکی R نیز برابر است با:

$$R = \frac{A}{WP} \quad (۶)$$

که در آن WP ، محیط خیس شده (m) است. معادله ۶ را می‌توان در معادله ۵ جایگزین نمود تا بتوان WP را به صورت تابعی از سطح مقطع جریان بیان کرد:

$$WP = \left(\frac{1}{\rho_1}\right)^{0.75} \cdot A^{(2.5 - 0.75 \rho_2)} \quad (۷)$$

ملاحظه می‌شود که در رابطه ۷، محیط خیس شده با تغییر سطح مقطع نسبت به زمان و مکان

منفصل نمودن معادلات در مراحل پیشروی و ذخیره

به منظور حل عددی معادله ۱۲، هر یک از عبارت‌های دیفرانسیلی آن باید با عبارتی به روش اختلافات محدود جایگزین شوند. برای این منظور، عبارت زمانی رابطه فوق به صورت چهار نقطه‌ای، عبارت مکانی آن به صورت پسرونده غیرصریح، و عبارت نفوذ آن نیز به صورت پسرونده جایگزین شده‌اند (رابطه ۱۳).

که در آن، Δx ، طول گام مکانی (m) و Δt_j ، گام زمانی فعلی (s) می‌باشد. بالانویس n به مقدار متغیرها در شروع گام زمانی و بالانویس $n+1$ به مقدار متغیرها در انتهای گام زمانی اشاره دارد. در

معادله ۱۳، مقادیر C_{i-1}^{n+1} و C_i^{n+1} به ترتیب از روابط ۱۴ و ۱۵ به دست می‌آیند.

برای اولین سلول محاسباتی (اولین گام محاسباتی در بالادست)، با توجه به اینکه A_{i-2} خارج از مرز محاسباتی قرار می‌گیرد، می‌توان فرض نمود که:

$$C_1^{n+1} = C_2^{n+1} \quad (16)$$

از حل معادله ۱۳ برای A_i^{n+1} نتیجه می‌شود (رابطه ۱۷):

$$\frac{A_{i-1}^{n+1} + A_i^{n+1} - A_{i-1}^n - A_i^n}{2\Delta t_j} + \frac{C_i^{n+1} (A_i^{n+1})^{\frac{\rho_2}{2}} - C_{i-1}^{n+1} (A_{i-1}^{n+1})^{\frac{\rho_2}{2}}}{\Delta x} - \frac{Z_i^{n+1} - Z_i^n}{\Delta t_j} = 0 \quad (13)$$

$$C_{i-1}^{n+1} = \left\{ S_0 - \sigma_1 \left[\frac{(A_{i-1}^{n+1})^{\sigma_2} - (A_{i-2}^{n+1})^{\sigma_2}}{\Delta x} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{\rho_1^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (14)$$

$$C_i^{n+1} = \left\{ S_0 - \sigma_1 \left[\frac{(A_i^{n+1})^{\sigma_2} - (A_{i-1}^{n+1})^{\sigma_2}}{\Delta x} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{\rho_1^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (15)$$

$$A_i^{n+1} = \frac{2 \Delta t C_{i-1}^{n+1} (A_{i-1}^{n+1})^{\frac{\rho_2}{2}} + \Delta x (A_{i-1}^n + A_i^{n+1} - A_{i-1}^{n+1}) + 2 \Delta x (-Z_i^{n+1} + Z_i^n)}{\Delta x + 2 \Delta t C_i^{n+1} (A_i^{n+1})^{\left[\frac{\rho_2}{2}-1\right]}} \quad (17)$$

منفصل کردن معادلات، جهت به دست آوردن شکلی از معادلات که به بهترین وجه، جریان را شبیه‌سازی نماید، صورت گرفته است.

در جمله دوم از قسمت سوم صورت کسر این معادله، A_i^{n+1} به جای A_i^n جایگزین شده است (اسچوانکل و والندر، ۱۹۸۸). این جایگزینی پس از آزمایشات عددی متعدد و بررسی‌های حالات مختلف

که این تابع، تفاوت بین Δx محاسبه شده و گام مکانی از پیش تعیین شده، (Δx_s) می‌باشد. در این تحقیق روش تکراری نیوتن-رافسون، برای محاسبه و تصحیح Δt به کار گرفته می‌شود تا اندازه تفاوت بین دو تکرار متوالی از حد مشخصی کمتر گردد.

$$\Delta t_C = \Delta t_P - \frac{f(\Delta t_P)}{f'(\Delta t_P)} \quad (20)$$

که در آن

$$f'(\Delta t_P) = \frac{2 C_{i-1}^{n+1} (A_{i-1}^{n+1})^{\frac{\rho_2}{2}}}{A_{i-1}^{n+1} + 2 Z_{i-1}^{n+1}} \quad (21)$$

که Δt_P اندازه گام زمانی در تکرار قبلی و Δt_C اندازه تصحیح شده گام زمانی برای تکرار فعلی می‌باشد. روش محاسبات در مرحله پیشروی و در هر تکرار به این صورت است که یک گام زمانی فرض گردیده و سطح مقطع جریان در ورودی با استفاده از معادله مانینگ و حجم آب نفوذ یافته در واحد طول جویچه در شروع هر تکرار، با توجه به گام مکانی فرض شده و اندازه محیط خیس شده محاسبه می‌گردد. سپس با کاربرد معادله ۱۷ و گام زمانی فرض شده سطح مقطع جریان و مقدار آب نفوذ یافته در هر یک از گره‌های محاسباتی به دست می‌آید تا به مرز بالادست سلول پیشانی می‌رسیم. مقدار Δx با استفاده از معادله ۱۸ به دست می‌آید و تفاوت آن با مقدار واقعی، از معادله ۱۹ محاسبه می‌گردد. اگر مقدار تفاوت، معادله ۱۹، از یک حد خطای قابل گذشت کوچک‌تر باشد، پس گام زمانی به درستی گام مکانی مورد نظر را به دست می‌دهد. و اگر این گونه نبود، باید مقدار تفاوت، معادله ۱۹ و مشتق آن، معادله ۲۱، در معادله ۲۰ قرار داده شود تا تخمین بعدی برای گام زمانی به دست آید و این مراحل تا رسیدن به دو جواب متوالی برابر برای Δt تکرار می‌شوند.

در مراحل پیشروی و ذخیره، مشخصات مرز بالادست در ورودی برای ما معلوم می‌باشد. جهت انجام محاسبات در مرحله پیشروی و ذخیره، معادله ۱۷ به روش تکراری و به طور صریح جهت محاسبه A_i^{n+1} به کار گرفته می‌شود و محاسبات از سلول بالادست انتهایی با مشخصات معلوم شروع شده و سلول به سلول به سمت پایین دست ادامه می‌یابد. جهت محاسبه مسافت پیشروی در هر سلول انتهایی در جلوی جبهه پیشروی، مقادیر A_i^n, A_i^{n+1} ، $Z_{i-1}^n, Z_i^n, Z_i^{n+1}, A_{i-1}^n$ جایگزین نمودن این مقادیر در معادله ۱۷، می‌توان Δx را برای هر گام زمانی در نظر گرفته شده به صورت صریح محاسبه نمود. بنابراین برای هر سلول پیشانی در مرحله پیشروی داریم:

$$\Delta x = \frac{2 \Delta t C_{N-1}^{n+1} (A_{N-1}^{n+1})^{\frac{\rho_2}{2}}}{A_{N-1}^{n+1} + 2 W P_A Z_{N-1}^{n+1}(\Delta t)} \quad (18)$$

که در آن، Δx ، گام مکانی تعریف شده برای مدل Δt_j ، زمان پیشروی در نظر گرفته شده برای هر گام مکانی مشخص؛ A_{i-1}^{n+1} ، سطح مقطع جریان در مرز بالادست سلول انتهایی و Z_{i-1}^{n+1} ، حجم آب نفوذ یافته در مرز بالادست سلول انتهایی است که تابعی از زمان استغراق و محیط خیس شده می‌باشد.

در این مدل گام مکانی در مرحله پیشروی ثابت در نظر گرفته شده است و اندازه گام زمانی که در هر مرحله از پیشروی، گام مکانی مورد نظر را به دست دهد مجهول می‌باشد. بنابراین اکنون هدف از محاسبه زمان پیشروی، یافتن یک Δt مناسب در معادله ۱۸ است به طوری که Δx از پیش تعیین شده را به دست دهد. جهت انجام این کار، یک تابع جدید بر حسب Δt به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f(\Delta t) = \Delta x - \Delta x_s \quad (19)$$

شرط مرزی بالادست در مرحله تخلیه (مساحت جریان در ورودی)، برای شروع محاسبات مشخص نمی‌باشد. 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 گردیده است. برای این تقریب، پس از سعی و خطا، ضریب 0.7 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 اولین گره محاسباتی واقع در مرز بالادست مزرعه بر اساس رابطه ۲۳ محاسبه می‌شود.

همچنین با توجه به اینکه برای اولین سلول محاسباتی، دبی ورودی از بالادست برابر با صفر می‌باشد رابطه پیوستگی در اولین سلول اصلاح شده و سطح مقطع عرضی جریان در اولین مرحله شبیه‌سازی ($i=2$) برابر خواهد بود با (رابطه ۲۴):

هنگامی که آب به انتهای مزرعه برسد مرحله ذخیره شروع شده و رواناب از انتهای مزرعه خارج می‌گردد. گام زمانی در این مرحله مشخص است. تنها مجهول در این مرحله، سطح مقطع عرضی جریان در هر گره است که شامل گره انتهایی نیز می‌گردد. در هر مرحله سطح مقطع جریان در مرز سمت راست (A_i^{n+1})، با استفاده از معادله ۱۷ محاسبه می‌شود. رواناب نیز با استفاده از معادله مانینگ به عنوان تابعی از سطح مقطع جریان با فرض عمق نرمال آب در گره انتهایی محاسبه می‌گردد. پس از محاسبه تمام مجهولات در هر خط زمانی، به مرحله زمانی بالاتر رفته و این مراحل تا زمان قطع آب در ابتدای جویچه ادامه می‌یابد. همچنین در صورت ناپایدار شدن مدل در این مرحله، می‌توان با قرار دادن C_{i-1} به جای C_i در معادله ۱۷، پایداری مدل را افزایش داد (امینی زاده، ۱۳۸۱).

حل عددی معادلات در مراحل تخلیه و پسروی
شرط مرزی بالادست در مرحله تخلیه مشخص نبوده و این مدل تحت فرضیاتی قادر به محاسبه آن خواهد بود. در این مرحله از آبیاری، معادله ۱۷ همچنان صادق است با این تفاوت که در این مرحله مانند معادله ۱۷، A_i^{n+1} به جای A_i^n جایگزین نمی‌شود (رابطه ۲۲).

$$A_i^{n+1} = \frac{2 \Delta t C_{i-1}^{n+1} (A_{i-1}^{n+1})^{\frac{\rho_2}{2}} + 2 \Delta x (-Z_i^{n+1} + Z_i^n) + \Delta x (A_{i-1}^n + A_i^n - A_{i-1}^{n+1})}{\Delta x + 2 \Delta t C_i^{n+1} (A_i^{n+1})^{\left[\frac{\rho_2}{2}-1\right]}} \quad (22)$$

$$A_1^{n+1} = \frac{7}{10} A_2^n \quad (23)$$

$$A_i^{n+1} = \frac{2 \Delta x (-Z_i^{n+1} + Z_i^n) + \Delta x (A_{i-1}^n + A_i^n - 0.7 A_i^n)}{\Delta x + 2 \Delta t C_i^{n+1} (A_i^{n+1})^{\left[\frac{\rho_2}{2}-1\right]}} \quad , \quad i = 2 \quad (24)$$

جریان در هر محل، جهت تخمین نفوذ تجمعی استفاده گردیده است. نفوذ تجمعی را به صورت زیر نیز می‌توان محاسبه نمود (باتیستا و والندر، ۱۹۹۳؛ اسچوانکل و والندر، ۱۹۸۸؛ استرلکف و سوزا، ۱۹۸۴):

$$Z = z(t) \cdot WP \quad (25)$$

که در آن:

$$z(t) = kt^a + f_0 t \quad (26)$$

$$WP = \alpha_1 A^{\alpha_2} \quad (27)$$

معادله کوستیاکوف-لوئیس است که ضرایب k و f_0 برای طول واحد محیط خیس شده تعیین شده‌اند و در معادله ۲۶، t ، فرصت نفوذ بر حسب دقیقه است که تفاوت بین زمان انجام محاسبات و زمان رسیدن جبهه پیشروی به نقطه موردنظر می‌باشد. متوسط حسابی اندازه محیط خیس شده در شروع و انتهای هر گام زمانی Δt به عنوان اندازه محیط خیس شده‌ای که نفوذ در زمان Δt از آن انجام می‌گیرد، در نظر گرفته شده است. این کار روشی ساده با دقتی قابل قبول است، به شرط اینکه Δt به اندازه کافی کوچک باشد (زریهان و همکاران، ۱۹۹۶).

باتیستا و والندر (۱۹۹۲) دو معادله جهت محاسبه نفوذ ارائه دادند. یکی برای حالتی که سطح آب در جویچه افزایش می‌یافت و دیگری برای حالتی که سطح آب پایین می‌افتاد. در این مدل نیز برای مراحل تخلیه و پسروری که سطح آب کاهش پیدا می‌کند از رابطه باتیستا و والندر (۱۹۹۲) جهت محاسبه نفوذ استفاده شده است (رابطه ۲۸).

در این مرحله نیز محاسبات از بالادست شروع گردیده و به سمت پایین دست ادامه می‌یابد. با گذشت زمان، سطح مقطع در ورودی کاهش می‌یابد و با رسیدن به صفر و یا یک مقدار قابل اغماض مرحله تخلیه پایان می‌یابد.

در مرحله پسروری، سطح مقطع جریان در بالادست برابر با یک اندازه قابل گذشت می‌باشد و سطح مقطع جریان در نقاط پایین دست به کمک رابطه ۲۲ محاسبه می‌گردد. در این مدل، هنگامی که سطح مقطع جریان در یک گره به پنج یا کم‌تر از ده درصد سطح مقطع جریان اصلی ورودی برسد، پسروری در آن نقطه اتفاق افتاده است. در یک گام زمانی خاص ممکن است که پسروری به طور همزمان در چند نقطه رخ دهد. با توجه به اینکه مدت زمان مراحل تخلیه و پسروری کوتاه می‌باشد، هنگامی که گام زمانی تعریف شده جهت شبیه‌سازی مرحله ذخیره بزرگ‌تر از سه دقیقه می‌باشد، بهتر است که گام زمانی متفاوتی (حدود یک تا سه دقیقه) جهت شبیه‌سازی مراحل تخلیه و پسروری به مدل معرفی نمود (امینی زاده، ۱۳۸۱).

تأثیر محیط خیس شده بر نفوذ

نفوذ آب در جویچه‌ها فقط تابع فرصت زمان نفوذ نمی‌باشد، بلکه به خصوصیات و اندازه سطحی که نفوذ از آنجا صورت می‌گیرد نیز بستگی دارد. استرلکف و سوزا (۱۹۸۴) نتیجه گرفتند که محیط خیس شده به عنوان تابعی از عمق در هر محل، دقیق‌ترین نتیجه را جهت برآورد اندازه سطح خیس شده جویچه که نفوذ از آن صورت می‌گیرد حاصل می‌نماید به شرط آنکه بتوان مقادیر مناسب پارامترهای نفوذ را به دست آورد (ضرایب k و f_0 در معادله کوستیاکوف-لوئیس به ازای واحد طول محیط خیس شده). در این مدل، معادله نفوذ کوستیاکوف-لوئیس با دخالت اثر محیط خیس شده (WP) به عنوان تابعی از سطح مقطع عرضی

$$Z_i = Z_{i-1} + [z(t_i) - z(t_{i-1})] \cdot WP_i ; WP_i \leq WP_{i-1} \quad (28)$$

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 می‌نماید، باید فرمول متفاوتی جهت تخمین محیط خیس شده به کار رود. استرلکف و کاتاپودز (۱۹۷۷) معادله زیر را جهت نشان دادن تغییرات پروفیل سطح آب در سلول پیشانی مرحله پیشروی ارائه نمودند.

$$\frac{A}{A_{N-1}} = \left(\frac{x_N - x}{x_N - x_{N-1}} \right)^\beta \quad (29)$$

که منظور از N سلول انتهایی در مرحله پیشروی است، و β نیز برابر است با:

$$\beta = \frac{1}{\sigma_2 + \rho_2 - 2} \quad (30)$$

با جایگزینی رابطه ۲۷ در رابطه ۲۹ و انتگرال‌گیری رابطه ۳۱ نتیجه می‌شود. بنابراین خواهیم داشت:

$$WP_A = \frac{WP_{N-1}}{\beta\alpha_2 + 1} \quad (32)$$

که WP_A متوسط محیط خیس شده برای سلول انتهایی و WP_{N-1} محیط خیس شده در x_{N-1} است.

آزمون مدل

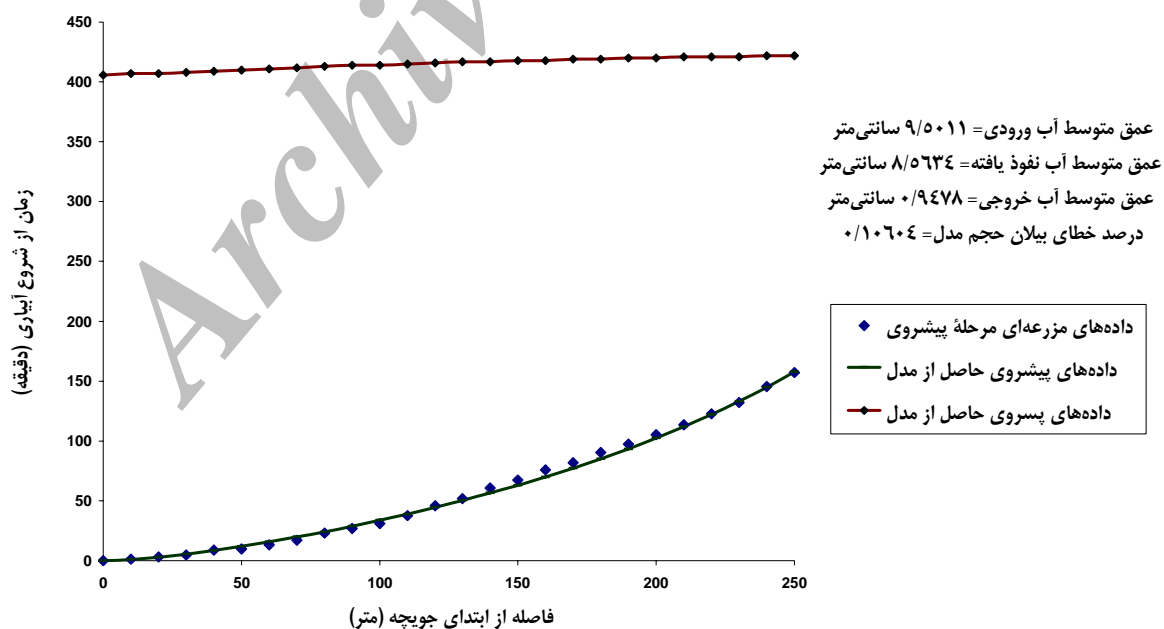
برای آزمون مدل ZIWPV از دو سری داده‌های مزرعه‌ای (رامزی، ۱۹۷۶؛ اسچوانکل، ۱۹۸۹) استفاده شده که در هر دوی این آزمایشات، نفوذ به روش جویچه مسدود برداشت گردیده است. مشخصات آزمایشات مزرعه‌ای و نتایج حاصل از انجام این آبیاری‌ها، از مقالات باتیستا و والندر (۱۹۹۲، ۱۹۹۳) به دست آمده‌اند. مشخصات آزمایشات مزرعه‌ای این آبیاری‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

نتایج حاصل از مدل و اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. این نمودارها شامل زمان‌های پیشروی و پسروی برای هر آبیاری می‌باشند. البته داده‌های مزرعه‌ای برای منحنی پسروی موجود نبوده است. لازم به ذکر است که مراحل تخلیه و پسروی اثر چندانی بر نتایج آبیاری جویچه‌ای نداشته و می‌توان بدون ایجاد خطای زیادی از شبیه‌سازی آنها صرف‌نظر نمود (اسچوانکل و والندر، ۱۹۸۸). همان‌طور که در شکل‌ها نشان داده شده هر دو مدل تطابق بسیار خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده دارند. به طور عمومی، با توجه به اینکه مطابقت خوبی بین منحنی‌های پیشروی و پسروی حاصل از مدل و منحنی‌های پیشروی به دست آمده از آزمایشات مزرعه‌ای وجود دارد می‌توان نتیجه گرفت که نتایج به دست آمده از اجرای مدل‌ها معتبر می‌باشد. بیان حجم آب مدل، که برای هر یک از شبیه‌سازی‌ها در کنار نمودار مربوط به منحنی‌های پیشروی و پسروی ذکر شده است، خطای بسیار اندکی را برای مدل ZIWPV نشان می‌دهد.

$$\int_{x_{N-1}}^{x_N} WP(x) dx = \alpha_1 A_{N-1}^{\alpha_2} \int_{x_{N-1}}^{x_N} \left(\frac{x_N - x}{x_N - x_{N-1}} \right)^{\beta\alpha_2} dx \quad (31)$$

جدول ۱: پارامترهای طراحی برای آبیاری‌های رامزی (۱۹۷۶) و اسپوانکل (۱۹۸۹).

میزان پارامترهای ورودی به مدل		پارامترهای ورودی به مدل
رامزی (۱۹۷۶)	اسپوانکل (۱۹۸۹)	
۰/۰۱۱۰۹	۰/۱۸۸۶۷۸	بدون بعد a:
۰/۴۹۷	۰/۰۲۱۴	$k: m^2/min^{-a}/m$
۰/۰	۰/۰۰۰۶۹۲	$f_0: m^2/min/m$
۱/۳۳	۱	میزان جریان ورودی Q_0 : Lit/s
۱۰۰	۲۵۰	طول جویچه L: m
۰/۰۰۱۳۳	۰/۰۰۲۳۲	شیب جویچه S_0 : m/m
۰/۰۲۲	۰/۰۶۵	ضریب مانینگ n: بدون بعد
۲۰۸	۳۹۰	زمان قطع جریان t_{co} : min
۱/۲۱۱	۱	σ_1
۰/۶۹۸	۰/۵۸۹۶	σ_2
۰/۵۳۴۳	۰/۲۳۱۱۲	ρ_1
۲/۸۷۱۳۳۳	۲/۶۷۷۲۹	ρ_2



شکل ۱: مقایسه نتایج مدل ZIWPV با داده‌های مزرعه‌ای اسپوانکل (۱۹۸۹)



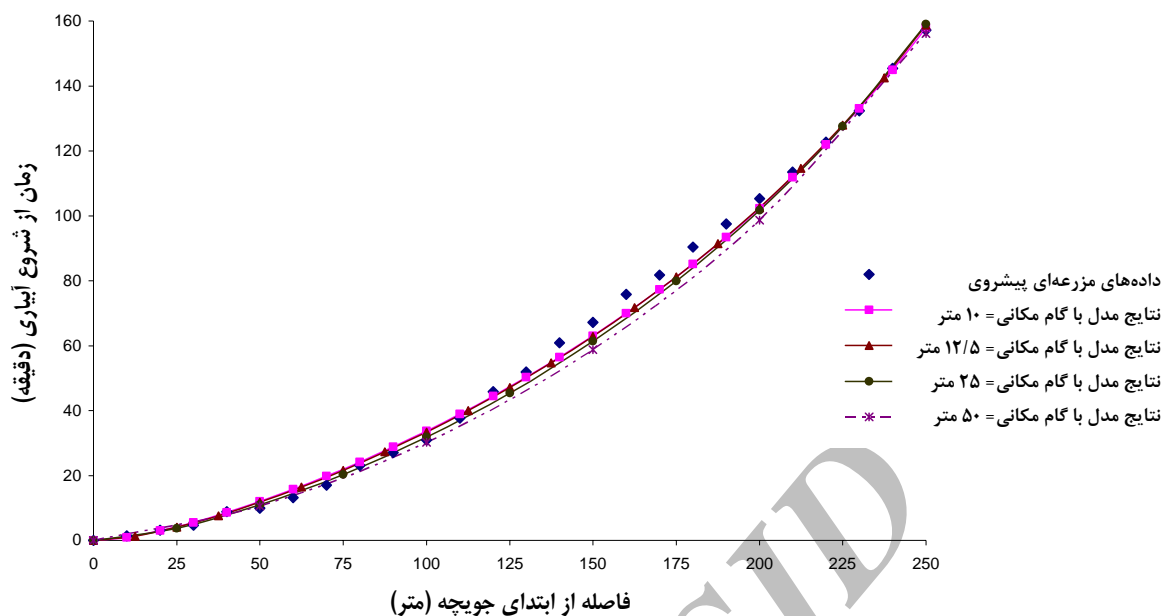
شکل ۲: مقایسه نتایج مدل ZIWPV با داده‌های مزرعه‌ای رامزی (۱۹۷۶).

طول جویچه، پیشروی را شبیه‌سازی می‌نماید اما پس از طی مسافتی در طول جویچه، مدل ناپایدار شده و ادامه مرحله پیشروی شبیه‌سازی نمی‌شود. البته این مسأله برای مدل‌های اینرسی-صفر اسپوانکل و والندر (۱۹۸۸) و هیدرودینامیک باتیستا و والندر (۱۹۹۲)، که در مدل‌های آنها نیز از راه‌حل صریح جهت شبیه‌سازی جریان استفاده شده است وجود دارد. این محققین بیان نموده‌اند که با کاهش گام مکانی، پیچیدگی حل به سرعت افزایش یافته و مدل‌های آنها قادر به شبیه‌سازی مرحله پیشروی با گام‌های مکانی کوچک نمی‌باشد.

در مرحله بعد، آبیاری اسپوانکل (۱۹۸۹) با چند گام مکانی و زمانی متفاوت شبیه‌سازی گردید که نسبت نفوذ عمقی، نسبت رواناب و میزان خطای بیلان حجم هر شبیه‌سازی در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به جدول ۲ مشخص می‌شود که در محدوده پایدار، نتایج به دست آمده از مدل به اندازه گام‌های مکانی و زمانی چندان حساس نمی‌باشند.

حساسیت مدل به اندازه گام‌های مکانی و زمانی
 در این بخش، ابتدا تأثیر انتخاب اندازه گام مکانی بر دقت شبیه‌سازی مرحله پیشروی مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. جهت این منظور، مرحله پیشروی با سری داده‌های مزرعه‌ای اسپوانکل (۱۹۸۹) برای گام‌های مکانی ۱۰، ۱۲/۵، ۲۵ و ۵۰ متر شبیه‌سازی گردید که نتایج این شبیه‌سازی‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۳ مشخص می‌شود که مدل حتی با افزایش اندازه گام‌های مکانی، با دقت بالایی مرحله پیشروی را شبیه‌سازی می‌نماید. اما با کاهش اندازه گام‌های مکانی، نتایج حاصل از مدل به داده‌های واقعی نزدیک‌تر شده‌اند که نشان می‌دهد مدل در شبیه‌سازی مرحله پیشروی همگرا می‌باشد.

البته با کاهش اندازه گام مکانی در شبیه‌سازی مرحله پیشروی، پیچیدگی حل به سرعت افزایش یافته و احتمال ناپایدار شدن مدل وجود دارد. به عنوان مثال، برای سری داده‌های اسپوانکل (۱۹۸۹) با گام مکانی کوچک‌تر از ۱۰ متر، مدل در قسمتی از



شکل ۳: تأثیر انتخاب اندازه گام مکانی بر دقت شبیه‌سازی مرحله پیشروی

جدول ۲: مقایسه نتایج مدل با گام‌های مکانی و زمانی متفاوت.

گام مکانی (متر)	گام زمانی - مرحله ذخیره (دقیقه)	گام زمانی - مرحله تخلیه و پسروی (دقیقه)	نسبت نفوذ عمقی	نسبت رواناب	درصد خطای بیان حجم
۱۰	۷	۱	۰/۹۰۱۳	۰/۰۹۹۷۶	۰/۱۰۶۰۴
۱۰	۱۰	۲	۰/۹۰۰۵۸	۰/۰۹۹۴۱	۰/۰۰۱۰۳
۱۲/۵	۱۰	۲	۰/۹۰۲۶۶	۰/۰۹۸۶۵	۰/۱۳۰۳۸
۲۵	۲۰	۱	۰/۹۰۷۲۱	۰/۰۹۴۱۳	۰/۱۳۳۶۴

فاصله بین دو نقطه زیاد باشد، جهت اینکه اثر تغییرات در یک مکان به مکان دیگر منتقل شده و در آنجا قابل مشاهده باشد باید گام زمانی نیز بزرگ باشد. یعنی با گام‌های مکانی بزرگ، تغییر در یک

در این مدل هر چه که گام مکانی بزرگ‌تر در نظر گرفته شود باید اندازه گام زمانی را در مرحله ذخیره، بزرگ‌تر در نظر گرفت تا مدل در مرحله ذخیره ناپایدار نگردد. علت این امر این است که اگر

مکان بعد از سپری شدن یک زمان کوتاه به مکان بعد نخواهد رسید.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک مدل اینرسی-صفر شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای با گام‌های مکانی ثابت و تأثیر محیط خیس شده در محاسبه نفوذ با این فرض که محیط خیس شده تابعی از سطح مقطع جریان می‌باشد با استفاده از یک راه‌حل صریح بسط داده شد (مدل ZIWPV). حل صریح معادلات مدل اینرسی-صفر باعث گردید که کد برنامه کامپیوتری ساده باقی بماند و آموزش و یادگیری آن آسان باشد. در بسط این مدل سعی گردید که فرضیات ساده‌کننده کمتری به کار برده شود تا مدل بتواند دامنه وسیع‌تری از اطلاعات ورودی را شبیه‌سازی نماید. در مدل‌های قبلی اینرسی-صفر که از الگوریتم‌های حل صریح استفاده نموده‌اند مرحله تخلیه شبیه‌سازی نشده، ولی در این مدل، با قبول فرضیاتی، این مرحله شبیه‌سازی گردید.

سپس تأثیر انتخاب اندازه گام مکانی بر نتایج شبیه‌سازی مرحله پیشروی مدل مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که با افزایش گام‌های مکانی

نیز مرحله پیشروی را با دقت مطلوبی شبیه‌سازی می‌گردد. با کاهش اندازه گام‌های مکانی، نتایج حاصل از مدل به داده‌های واقعی نزدیک‌تر شده‌اند که این امر همگرایی مدل را در شبیه‌سازی مرحله پیشروی نشان می‌دهد. البته با کاهش اندازه گام مکانی، پیچیدگی حل به سرعت افزایش یافته و احتمال ناپایدار شدن و واگرایی مدل در مرحله پیشروی وجود دارد. همچنین در محدوده پایدار مدل، نتایج نهایی به انتخاب اندازه گام‌های مکانی و زمانی چندان حساس نمی‌باشد.

نتیجه نهایی اینکه، استفاده از راه‌حل‌های عددی صریح به خوبی می‌تواند برای حل معادلات اینرسی-صفر در مدل‌های شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای با تأثیر محیط خیس شده در محاسبه نفوذ به کار رود و اگر بتوان پایداری این الگوریتم‌ها را بهتر نمود شاید در بسیاری از حالات، جایگزین سایر روش‌های حل عددی معادلات سنت-ونانت گردند. البته این مدل با فرض دبی ورودی ثابت و جریان خروجی آزاد بسط داده شده است و برای مدل کردن شیوه‌های مختلف اجرای آبیاری، نیاز به تحقیق و بررسی‌های بیشتری می‌باشد.

منابع

- امینی‌زاده، س. م. ر. ۱۳۸۱. تهیه مدل ریاضی جهت بررسی تأثیر محیط خیس شده و تغییرات مکانی نفوذ در و راندمان آبیاری جویچه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی. دانشگاه تهران. ۱۰۵ صفحه.
- 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.
- عباسی، ف. و محمودیان شوشتری، م. ۱۳۷۵. مطالعه پیشروی جریان در آبیاری جویچه‌ای با استفاده از مدل اینرسی - صفر. مجموعه مقالات دومین کنگره ملی مسائل آب و خاک کشور، ۲۷-۳۰ بهمن ماه، تهران.
- عباسی، ف.، جلینی، م.، معیری، م. و 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. ۶۶ صفحه.
- سهرابی، ت.، قویدل، م.، هورفر، ع. و میراب‌زاده، م. ۱۳۸۱. مدل ریاضی آبیاری موجی در شیار و ارزیابی مزرعه‌ای عملکرد آن. مجله فنی و مهندسی دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۲، پابیز: ۷۵-۹۶.
- ملک‌پور، ا. ۱۳۷۳. مدل ریاضی حرکت آب در فاروها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران. ۱۶۸ صفحه.
- Bali, K. and Wallender, W. W. 1987. Water application under varying soil and intake opportunity time. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 30(2): 442-448.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Izadi, B. and W. W. Wallender. 1985. Furrow hydraulic characteristics and infiltration. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 28(6):1901-1908.
- Ramsey, M. K., 1976. Intake characteristic and flow resistance in irrigation furrows. Thesis presented to the University of Arizona at Tucson, Ariz., In partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science.
- Rayej, M. and W. W. Wallender. 1988. Time solution of kinematic-wave model with stochastic infiltration. American Society of Civil Engineers, J. of Irrigation and Drainage Engineering 114(4):605-621. November.
- Schwankl, L. J. and W. W. Wallender. 1988. Zero inertia furrow modeling with variable infiltration and hydraulic characteristics. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 31(5):1470-1475.
- Schwankl, L. J., 1989. Stochastic furrow irrigation modelling. PhD thesis, University of California at Davis, Calif.
- Schwankl, L. J., Raghuvanshi, N. and W. W. Wallender. 2000. Furrow irrigation performance under spatially varying conditions. J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 126(6):355-361.
- Souza, F. (1981). Nonlinear hydrodynamic model of furrow irrigation. Ph.D. thesis, Univ. of California, Davis, Calif.
- Strelkoff, T., Katopodes, N.D., 1977. Border irrigation hydraulics with zero-inertia. J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 103(3), 325-342.

- Strelkoff T., and Souza F., 1984. Modelling effect of depth on furrow irrigation. *J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*. 110(4): 375-387.
- Walker W. R., and Humpherys A. S., 1983. Kinematic-wave furrow irrigation model. *J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*. 109(4): 377-392.
- Wallender, W. W. and M. Rayej. 1990. Shooting method for Saint Venant equations of furrow irrigation. *American Society of Civil Engineers, J. of Irrigation and Drainage Engineering* 116(1):114-122. February.
- Wallender, W. W. and J. Yokokura. 1991. Space solution of kinematic-wave model by time iteration. *J. of Irrigation and Drainage Engineering* 117(1):140-144.
- Zapata N. and Playan E., 2001. Simulation elevation and infiltration in level-basin irrigation. *J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*. 126(2): 78-84
- Zerihan, D., J., Feyen, and J. M. Reddy, 1996. Sensitivity analysis of furrow irrigation performance parameters. *J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, 122(1):49-57.

Archive of SID

An Explicit Scheme of Zero-Inertia Model Equations with Effectiveness of Wetted Perimeter for Furrow Irrigation Simulation

Aminizadeh¹, S. M. R., Liaghat², A., Mahmodian-Shoshtari³, M. and Kouchakzadeh⁴, S.

Abstract

A zero-inertia model was developed for furrow irrigation simulation with constant spatial intervals and effectiveness of wetted perimeter (Zero-Inertia Model, Wetted Perimeter Variable; ZIWPV model) using an explicit scheme. The code of the computer program remains simple and its teaching and learning will be easy, if the explicit scheme is used. The wetted perimeter is assumed as a function of flow section area. However, the depletion phase has not been simulated by previous models in which explicit schemes have been used, it has been simulated in this model. The model result were validated against the experimental field data and the spatial intervals size was investigated on simulation of advance phase of ZIWPV model. The advance phase was also simulated well with large spatial intervals. Applying the small sizes of spatial intervals make the results get closer to actual data. However, the model may behave unstable on advance phase. Also, it was found that the final results of model are not sensitive to time and space interval sizes. Therefore, the solution of zero-inertia models with explicit schemes can be used well to simulate furrow irrigation.

Keywords: furrow irrigation, zero-inertia model, wetted perimeter, explicit scheme, depletion phase

-
1. Graduated M.sc Student of Irrigation and Drainage, Tehran University
 2. Associate Professor, Department of Irrigation, Tehran University
 3. Professor, Department of Civil Engineering, Shahid Chamran University
 4. Associate Professor, Department of Irrigation, Tehran University