

تعیین حداکثر طول پخشیدگی املاح در کانال سهمی شکل با بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر

سونیا زبردست^{۱*} - سیدحسن طباطبائی^۲ - فریرز عباسی^۳ - منوچهر حیدرپور^۴ - کارلو گالتیری^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۱۹

چکیده

مطالعه فرآیندهای پخش و انتقال املاح در کانال‌های روباز و جویچه‌ها به دلیل نقش آن‌ها در انتشار آلودگی‌ها از جمله فعالیت‌های مهم در برنامه‌های مدیریتی محیط زیست و توسعه پایدار بشمار می‌آید. در این پژوهش تأثیر دبی و ضریب زبری‌های مختلف بر ضریب پخشیدگی عرضی و حداکثر طول پخشیدگی در یک کانال با مقطع سهمی در دو بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر بررسی شد. سه سطح دبی تقریبی ۵، ۱۰ و ۱۵ لیتر بر ثانیه و سه سطح ضریب زبری مانینگ تقریبی ۰/۰۲، ۰/۰۴ و ۰/۰۶ در نظر گرفته شد. نمک کلرید سدیم محلول در آب به غلظت حدود ۲۵ گرم در لیتر به عنوان ماده ردیاب در بالادست جریان تزریق شده و نیمرخ غلظت ماده ردیاب پخش شده در آب به همراه نیمرخ سرعت در ۸ مقطع به فاصله ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۹/۵ متری از بالادست اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که مقادیر طول پخشیدگی در سطوح مختلف ضریب زبری و دبی در بستر نفوذناپذیر ۱۰۸ تا ۱۷۰ متر و در بستر نفوذپذیر (مشابه جویچه) ۹۱ تا ۱۲۹ متر بدست آمده است. آزمون t-test نشان داد که اختلاف بین مقادیر طول پخشیدگی در دو بستر در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها و مقدار دبی و زبری رایج در جویچه‌ها نشان داده شد که طول پخشیدگی برای جویچه‌ها کمتر از ۷۰ متر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، فرآیند پخشیدگی، ضریب انتشار عرضی، نفوذپذیری

مقدمه

این معادلات برای پیش‌بینی پدیده‌های پخش، بستگی کامل به در اختیار داشتن مقادیر صحیح ضریب پخشیدگی که از مشخصه‌های جریان روباز است، دارد (۱۴). ضریب پخشیدگی به واسطه تفاوت در نیمرخ‌های سرعت در سه راستای اصلی، دارای سه مقدار متفاوت در جهت‌های مذکور است. با این وجود مهمترین راستا، راستای عرضی می‌باشد. چرا که در این راستا، نیمرخ سرعت عرضی به صورت مشخص وجود نداشته و از آنجا که ماهیت این ضریب به نیمرخ سرعت بستگی دارد، در نتیجه برای تعیین آن باید به داده‌های آزمایشگاهی و صحرایی روی آورد (۲۶). برای تخمین ضرایب پخشیدگی عرضی با استفاده از روش‌های موجود، لازم است که نیمرخ‌های کاملی از سرعت و غلظت جریان در چند مقطع در طول کانال در پایین دست محل تزریق را بدست آورد (۵).

گالتیری (۱۱) یک مدل عددی برپایه روابط متوسط رینولدز ناویر استوکس برای تعیین ضریب پخشیدگی عرضی در کانال مستطیلی را توسعه داده و با نتایج تجربی مقایسه و بیان کرده که مدل عددی نتایج ۳۰ درصد بیشتر از نتایج تجربی را بدست می‌دهد و این نتایج تطابق مناسبی با نتایج تجربی نداشته است، و در صورتی که فقط خصوصیات پخشیدگی لازم باشد می‌توان از این مدل‌های عددی بعنوان یک ابزار مناسب استفاده کرد. پیریا و همکاران (۱۸) یک مدل

فرآیند پخش آلاینده‌ها در کانال‌های روباز به دلیل نقش آن‌ها در انتشار آلودگی زیست محیطی بسیار حائز اهمیت است. در بخش کشاورزی کودآبیاری جویچه‌ها باعث کاهش تلفات آب و کود شده و همچنین پتانسیل بالایی در کاهش خطرات زیست محیطی کشاورزی دارد (۹). حرکت مواد شیمیایی (کود) از مکان تزریق، تحت تأثیر دو فرآیند انتقال و پخش قرار می‌گیرد. در کودآبیاری جویچه‌ای، طول پخشیدگی، طولی از جویچه است که باید طی شود تا پس از آن کود (املاح) بطور کامل در آب حل شده و بتواند به مصرف برسد. محاسبه نرخ پخش مواد شیمیایی و غلظت آن‌ها در کانال‌های روباز مانند جویچه‌ها معمولاً بر پایه حل معادلات بقای جرم استوار است. دقت

۱ و ۲- دانش آموخته دکتری و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد

(*)-نویسنده مسئول: (Email: Sonia_Zebardast@yahoo.com)

۳- عضو هیأت علمی (استاد) مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۴- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان

۵- استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه ناپولی فدریکو، ناپولی، ایتالیا

ورودی ثابت نیز با افزایش ضریب زبری، ضریب پخشیدگی عرضی افزایش یافته است.

براساس بررسی‌های انجام شده در بالا نشان داده شد که طول پخشیدگی به خصوصیات هیدرولیکی، مشخصات جریان در کانال و شرایط پوشش گیاهی وابسته است (۷ و ۲۵) و بحث اصلی در هیدرولیک جریان نیز مشخص کردن نیمرخ سرعت در کانال روباز در شرایط متفاوت است (۱۹). در حالیکه نیمرخ سرعت در مقاطع سهمی شکل بدلیل شکل مقطع سهمی، متفاوت از نیمرخ سرعت مقاطع رودخانه و کانال‌هایی که در پژوهش‌های قبلی انجام گرفته‌اند، می‌باشد و همچنین پژوهش‌های قبلی همه در کانال‌های نفوذناپذیر انجام گرفته است، بنابراین نیمرخ سرعت و نفوذپذیری سطح مقطع کانال در سایر معادلات مربوط به طول و ضرایب پخشیدگی تاثیرگذار خواهد بود. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی و تعیین طول پخشیدگی املاح در یک مقطع سهمی شکل نفوذپذیر (مانند آنچه در جویچه رخ می‌دهد) در دبی‌های ورودی مختلف و ضریب زبری‌های متفاوت است.

مواد و روش‌ها

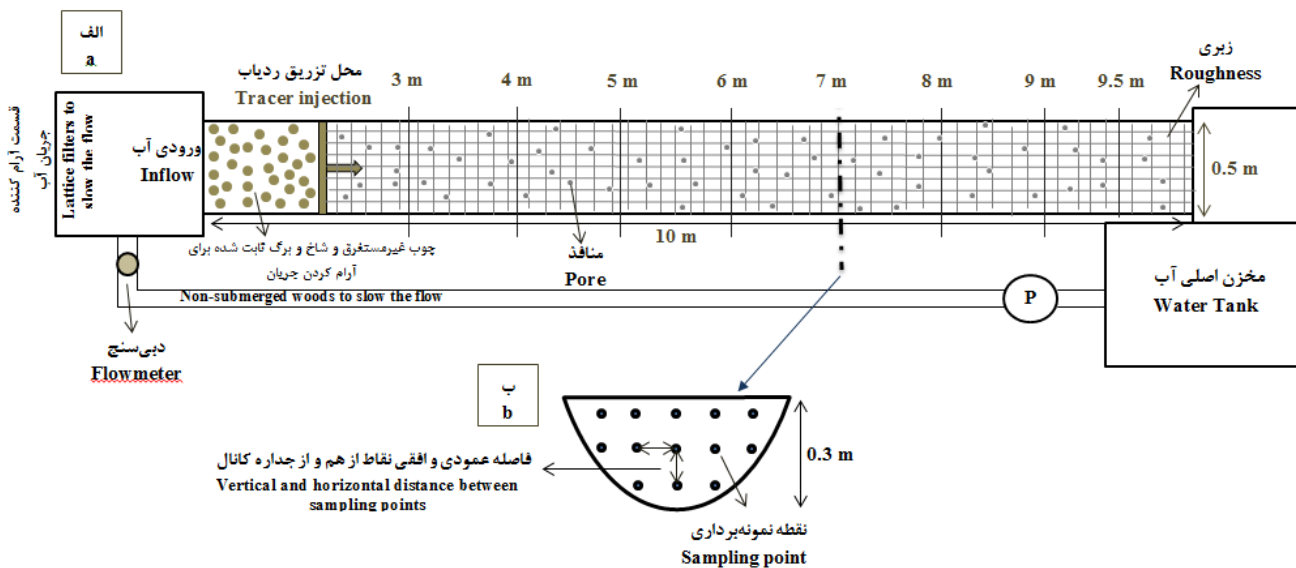
در این پژوهش از کانال آزمایشگاهی با مقطع سهمی به طول ۱۰، عرض ۰/۵ و عمق ۰/۳ متر واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد استفاده شد. مقطع فلوم آزمایشگاهی مستطیلی شکل بود لذا مقطع سهمی شکل موردنظر با میلگردهای جوش داده شده به شکل سهمی آماده و بر روی کانال مستطیلی شکل آزمایشگاه سوار شده و با پهن کردن صفحه پلی‌اتیلن ۲ میلیمتری بر روی میلگردها مقطع سهمی شکل کانال (جویچه) آماده شد. شماتیک کانال آزمایشگاهی در شکل ۱ آمده است.

برای آرام کردن جریان و سرعت بخشیدن به توسعه یافتگی جریان، نیم متر از ابتدای کانال در کف، به ضخامت حداکثر ۵ سانتی-متر سنگ ریزه ریخته و چوب‌های غیر مستغرق و شاخ و برگ قرار داده شد. تنظیم مقدار جریان ورودی به کانال توسط شیر تنظیم تعبیه شده روی لوله رانش پمپ صورت گرفت. برای ماده ردیاب از محلول نمک کلرید سدیم، برای بدست آوردن ضریب پخشیدگی استفاده شد که در فاصله حدود ۲/۵ متری از ابتدای کانال (در این مکان، جریان کاملاً توسعه یافته و نوسانات در سطح آب به حد تعادل رسیده بود). در ترازوی بالاتر از لبه کانال تزریق میشد و یک لوله انعطاف‌پذیر L شکل ماده ردیاب را از مخزن حاوی ماده ردیاب دریافت کرده و در مرکز سطح جریان ورودی به صورت دائمی تزریق می‌کرد. در ۸ مقطع به فواصل ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۹/۵ متری از ابتدای کانال، نیمرخ سرعت با استفاده از لوله پیبتوت بدست آمد. در هر مقطع از چندین نقطه عمود بر سه تراز عمقی سطح، مرکز و کف کانال نمونه‌برداری

انتقال-انتشار مقطع عرضی متوسط برای شبیه‌سازی انتقال کود در آبیاری جویچه‌ای را توسعه دادند و از معادله پخشیدگی طولی فیشر در شرایط جریان ناپایدار غیریکنواخت در جویچه و از پارامترهای آماری در ارزیابی کاربرد مدل استفاده شده است. همچنین در سال ۲۰۱۱، آزمایش‌ها و روش‌های واسنجی پارامترهای نفوذ و زبری مدل هیدرولیکی را توصیف کردند و حساسیت پارامترهای نفوذ برآورد شده در فرضیات فرآیند واسنجی و عدم قطعیت داده‌های مزرعه را بررسی کرده و از آنها برای تایید نتایج مدل استفاده و بیان کردند که با وجود عدم قطعیت مدل هیدرولیکی، مدل انتقال-انتشار پیشنهادی و معادله پخشیدگی طولی فیشر می‌تواند فرآیند انتقال املاح را با دقت بالایی محاسبه کند (۱۷).

زبری کانال از مواردی است که بر ضریب پخشیدگی عرضی و طول پخشیدگی مؤثر است. زبردست و همکاران (۲۹) در یک پژوهش آزمایشگاهی با بررسی تاثیر دبی‌های ۵ تا ۱۵ لیتر در ثانیه و زبری‌های ۰/۰۲ تا ۰/۰۶ در کانال سهمی شکل نشان دادند که با افزایش ضریب زبری، طول پخشیدگی کاهش و با افزایش دبی ورودی، طول پخشیدگی افزایش یافته است و این نتایج تجربی در پیش‌بینی انتقال املاح در آبیاری جویچه‌ای کاربردی هستند. میلر و ریچاردسون (۱۵) آزمایش‌هایی شامل بستر زبر با استفاده از گوه‌های چوبی و بلوک‌های مستطیلی در سرتاسر بستر کانال به عنوان زبری انجام و نشان دادند که با افزایش زبری، ضریب پخشیدگی عرضی نیز افزایش می‌یابد. شیرازی‌علیان (۲۲) پخشیدگی کامل را در فلوم آزمایشگاهی با ایجاد زبری‌های مختلف و در نسبت‌های مختلف عرض به عمق جریان بررسی کرده و نشان داده است که هرچه عمق آب کمتر و زبری بیشتر باشد، طول پخشیدگی کاهش می‌یابد. عزیزپور (۴) نشان داد که با افزایش فاکتور اصطکاک ضریب پخشیدگی عرضی افزایش یافته و در نتیجه طول پخشیدگی کامل کاهش یافته و در فاصله کمتری رقیق‌سازی به انجام می‌رسد. سعادت‌پور و همکاران (۲۱) با انجام آزمایش و استفاده از معادلات حاکم بر هیدرولیک جریان، اقدام به بررسی حالت‌های مختلف جریان برای افزایش قابلیت پخشیدگی جریان کرده و با مقایسه آن‌ها، بیان داشتند که در سرعت ثابت جریان ۰/۳۳ متر بر ثانیه، مقدار ضریب بی‌بعد پخشیدگی عرضی با افزایش عمق جریان از ۵/۶۲ به ۱۱/۴ سانتیمتر در کانال بررسی شده، از ۰/۴۹۴۵ به ۰/۱۲۱ کاهش می‌یابد و برای کاهش طول پخشیدگی و افزایش راندمان کاهش غلظت در جریان‌های آشفته، بهترین روش را معرفی نمودند. طباطبائی و همکاران (۲۳) نشان دادند که ضریب پخشیدگی عرضی با افزایش عمق جریان بدلیل کاهش سرعت برشی و جریان‌های ثانویه در هر دو حالت با و بدون پوشش گیاهی در سرعت ثابت حدود ۲۴ سانتیمتر بر ثانیه افزایش یافته است. زبردست و همکاران (۲۷ و ۲۸) نیز در یک کانال سهمی شکل نشان دادند که در ضریب زبری‌های ثابت با افزایش دبی، همچنین در دبی‌های

انجام گرفت (شکل ۱-ب).



شکل ۱- شماتیک کانال آزمایشگاهی مورد استفاده (الف) نما از بالای کانال و (ب) مقطع عرضی نمونه در یکی از مقاطع نمونه برداری
Figure 1- a) Plan of experimental Channel and b) Sampling points in a cross section

پخش عرضی ردیاب در مسیر جریان بدست آورده شد. هیچ‌کدام از آزمایش‌ها برای سه دی‌ورودی متفاوت و سه ضریب زبری مختلف در دو سطح نفوذپذیر و بدون نفوذ مقطع کانال انجام گرفت. نفوذپذیری با ایجاد سوراخ‌های ریزی در نقاط مختلف مقطع کانال ایجاد شد و برای اندازه‌گیری مقدار نفوذ در آزمایش‌هایی که بستر کانال نفوذپذیر بوده است، حجم آب خارج شده از منافذ کانال در زمانهای مشخص اندازه‌گیری شده و مقدار نفوذ (مترمکعب در ثانیه در طول کانال) بدست آمد. تیمارهای دی، شامل دی‌های حدود ۵، ۱۰ و ۱۵ لیتر بر ثانیه و تیمارهای ضریب زبری، شامل ضریب زبری‌های حدود ۰/۰۲، ۰/۰۴ و ۰/۰۶ در نظر گرفته شد. زبری‌های مختلف استفاده شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

برای نمونه‌گیری نیاز به استفاده از وسیله‌ای بود که در راستای عمق و عرض کانال حرکت کرده و بتوان با آن نمونه‌برداری کرد به گونه‌ای که باعث تغییر مسیر ردیاب و آشفتگی در جریان نشود. به این منظور با الهام از ساختار لوله پیتوت، از لوله آلومینیومی توخالی L شکل مدرج به قطر ۵ میلی‌متر که حدود ۵ سانتیمتر از آن به صورت افقی در قاعده قرار دارد و قابلیت جابجایی عمودی را نیز دارا بود استفاده شد و روی فلوم نصب گردید. به انتهای هر کدام از لوله‌ها یک لوله پلاستیکی متصل شد که نمونه برداشته شده از جریان را به درون ظروف نمونه برداری هدایت می‌کرد. نمونه توسط یک سرنگ بزرگ از انتهای لوله پلاستیکی کشیده می‌شد. برای تعیین غلظت ماده ردیاب محلول نمک نمونه‌ها، از دستگاه EC متر استفاده و مقدار



شکل ۲- زبری‌های مختلف (الف) کف کانال با ضریب زبری ۰/۰۲، (ب) پهن کردن دو توری روی هم با ضریب زبری ۰/۰۴ و (ج) پوشش گیاهی بین توری‌ها با ضریب زبری ۰/۰۶

Figure 2- Manning roughness coefficient a) 0.02, b) 0.04 and c) 0.06

که در آن، U ضریب گرانروی سینماتیکی (1.007×10^{-6} مترمربع بر ثانیه) و u^* سرعت برشی (متر بر ثانیه) می‌باشند. کانال مستقیم با مقطع سهمی شکل بوده، بنابراین ضرایب هندسی شکل مقطع در کلیه آزمایش‌ها یکی است. همچنین ضریب پخشیدگی عرضی خود وابسته به عمق و سرعت برشی است (۲۸) و در نتیجه معادله زیر بدست می‌آید:

$$L = F_2 [v, h, u, w, u^*, \delta_1, \delta_2, h, u^*] \quad (۶)$$

$$L = F_3 [v, h, u, w, u^*] \quad (۷)$$

برای آنالیز ابعادی طول پخشیدگی کمیت یا مقیاس طول و زمان موردنیاز است که در اینجا از عرض جریان استفاده شده است:

$$\frac{L}{w} = F_4 \left[\frac{v}{wu^*}, \frac{h}{w}, \frac{u}{u^*} \right] \quad (۸)$$

و در نتیجه ساده شدن معادله زیر به دست می‌آید:

$$\frac{L}{w} = F_5 \left[\frac{1}{Re^*}, \frac{1}{w/h}, \frac{1}{f} \right] \quad (۹)$$

که در آن، Re^* عدد رینولدز برشی و f ضریب دارسی ویسباخ می‌باشند. عدد رینولدز برشی از معادله ۱۰ بدست آمد (۱۳):

$$Re^* = \frac{u^* K_s}{\nu} \quad (۱۰)$$

K_s ارتفاع مطلق زبری (متر) می‌باشد که براساس اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی، ارتفاع مطلق زبری برای ضریب زبری‌های ۰/۰۲، ۰/۰۴ و ۰/۰۶ به ترتیب ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۶ و ۰/۰۱۵ متر بدست آمده است. ضریب دارسی ویسباخ نیز از معادله زیر بدست می‌آید (۱۲):

$$f = 8 \left(\frac{u^*}{u} \right)^2 \quad (۱۱)$$

در این پژوهش برای تعیین سرعت برشی از روش ویژگی‌های لایه مرزی و روش برآزش قانون لگاریتمی بر داده‌های سرعت استفاده شده که در این روش از تمام سرعت‌های نقطه‌ای نیمرخ سرعت جهت محاسبه سرعت برشی استفاده شد. معادله آن در زیر آمده است (۱):

$$u^* = \frac{(\delta_* - \theta) u_{\max}}{4.4 \delta_*} \quad (۱۲)$$

$$\delta_* = \int_0^h \left(1 - \frac{u}{u_{\max}} \right) dy \quad (۱۳)$$

$$\theta = \int_0^h \frac{u}{u_{\max}} \left(1 - \frac{u}{u_{\max}} \right) dy \quad (۱۴)$$

مقدار ضریب زبری اول توسط کف کانال ایجاد شد. برای ایجاد ضریب زبری دوم دو توری با سوراخ‌ها و ضخامت متفاوت در کانال روی هم پهن شدند و با استفاده از گیره‌هایی در روی دیواره کانال محکم گردیدند. و برای ایجاد ضریب زبری سوم در بین دو توری پهن شده شاخه‌های شمشاد نرم بعنوان پوشش گیاهی قرار داده شدند. مقدار ضریب زبری با استفاده از معادله مانینگ بدست آمد. برای محاسبه سطح مقطع در یک مقطع سهمی معادله ۱ بکار گرفته شد (۲۴):

$$A = \sigma_1 h^{\sigma_2} \quad (۱)$$

که در آن، A سطح مقطع کانال، h عمق جریان و σ_1 و σ_2 ضرایب هندسی شکل مقطع هستند. شعاع هیدرولیکی برای مقطع سهمی شکل از معادله ۲ بدست می‌آید (۲). که در آن، w عرض جریان است.

$$R_h = \frac{2w^2 h}{3w^2 + 8h^2} \quad (۲)$$

طول پخشیدگی محاسباتی براساس معادله ارائه شده توسط پژوهش‌های قبلی با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد (۲۰):

$$L = 0.1 \frac{uw^2}{e_y} \quad (۳)$$

که در آن، u سرعت در راستای جریان، e_y ضریب پخشیدگی عرضی و L طول پخشیدگی کامل می‌باشند. برای تعیین ضریب پخشیدگی عرضی نیز از معادله ۴ استفاده شد (۱۰):

$$e_y = \frac{1}{2} u \frac{d\sigma^2}{dx} \quad (۴)$$

که در آن، σ^2 واریانس توزیع غلظت و x طول انتشار ماده می‌باشد. با ترسیم واریانس‌های مقاطع غلظت‌های نمونه‌برداری شده روی یک محور طولی، شیب واریانس‌ها ($\frac{d\sigma^2}{dx}$) بدست آمد و با

استفاده از این شیب و معادله شماره ۴ میزان ضریب پخشیدگی عرضی در هر آزمایش بدست آمد. معادلات ذکر شده برای طول و ضریب پخشیدگی عرضی تجربی می‌باشند و بنابراین از آنجا که معادله تئوری مشخصی برای ضریب پخشیدگی عرضی و طول پخشیدگی کامل وجود ندارد، نیاز است که متغیرهای مهم و تأثیرگذار بر آنها مشخص شوند، برای این منظور از تحلیل ابعادی استفاده شد. طول پخشیدگی در جریان درون یک کانال سهمی شکل نفوذپذیر پارامترهایی مانند ضریب پخشیدگی، سرعت متوسط جریان، سرعت برشی جریان، عمق و عرض جریان، ضریب گرانروی و شکل مقطع جریان وابسته است (۴ و ۲۲). در این صورت می‌توان نوشت:

$$L = F_1 [v, h, u, w, u^*, \delta_1, \delta_2, e_y] \quad (۵)$$

و نیمرخ‌های غلظت بدست آمده در مقاطع مختلف کانال با روندیابی توزیع غلظت در طول کانال بدست آمد. برای بدست آوردن طول پخشیدگی در روندیابی از تعریف تئوری آن (پخشیدگی کامل زمانی صورت خواهد گرفت که مواد آلاینده به طور کامل در عرض و عمق کانال پخش گردیده تا جایی که تمام سطح مقطع جریان دارای غلظتی معادل ۱٪ غلظت اولیه شوند). استفاده شد و در قسمت نمونه‌برداری از آب برای تعیین غلظت، نمونه‌ها در هر مقطع از نقاطی با فواصل عمودی و افقی مشخص نسبت به سطح و عمق آب برداشت شدند. که فواصل عمودی و افقی این نقاط از مبدا مشخص (جداره کانال در سطح جریان در هر مقطع) برای همه نقاط نمونه‌برداری از ۸ مقطع طولی یکسان بودند. در نتیجه روندیابی (Routing) با وصل کردن مقدار غلظت نقاط همه ۸ مقطع در طول کانال با استفاده از نرم‌افزار اکسل انجام گرفت (۲۷).

که در آن، u^* سرعت برشی، u_{max} حداکثر سرعت نقطه‌ای در راستای قائم، δ_* ضخامت جابجایی لایه مرزی و θ ضخامت اندازه حرکت لایه مرزی و u سرعت در راستای قائم y از عمق آب h هستند. در این روابط با استفاده از سرعت لحظه‌ای در عمق‌های اندازه‌گیری شده سرعت و حداکثر سرعت نقطه‌ای در این مقطع، پارامترهای ضخامت جابجایی و اندازه حرکت لایه مرزی و همچنین سرعت برشی بدست آمدند.

در این پژوهش، ضریب پخشیدگی عرضی و طول پخشیدگی محاسباتی با استفاده از معادله‌هایی که در بالا ذکر شد، محاسبه شده و طول پخشیدگی مشاهده‌ای نیز با روندیابی با استفاده از نرم‌افزار اکسل بدست آمد. همچنین با استفاده از رگرسیون مرحله‌ای در نرم‌افزار آماری SAS معادله‌ای برای طول پخشیدگی مشاهده‌ای بر حسب پارامترهای تاثیرگذار بر آن ارائه شد. در معادله ۹ از طول پخشیدگی مشاهده‌ای استفاده شده، که این طول براساس داده‌های آزمایشگاهی

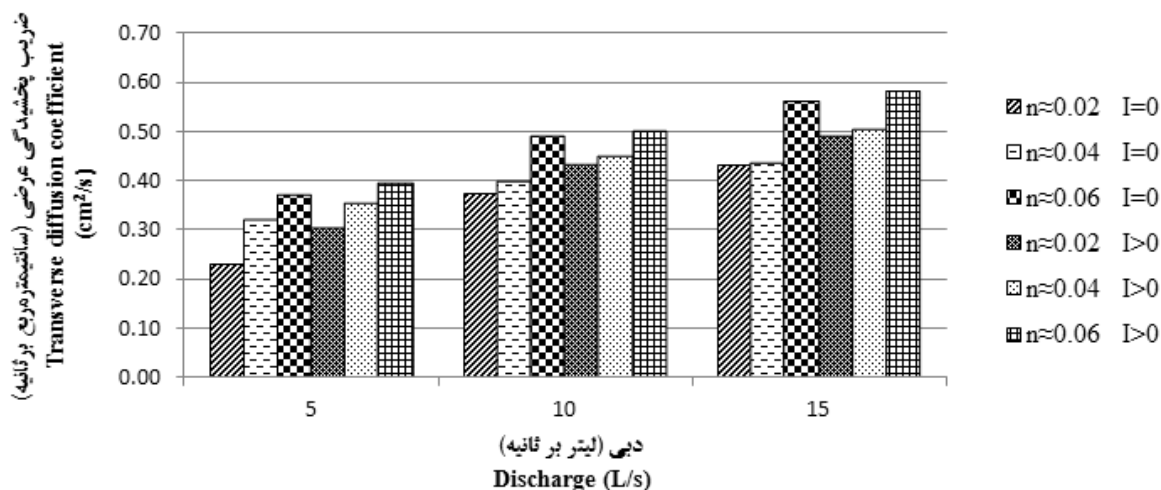
جدول ۱- عرض و عمق جریان و شعاع هیدرولیکی در سطوح مختلف ضریب زبری و دبی در دو بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر
Table 1- Width and depth of flow and hydraulic radius in different bed roughness and discharge in permeable and impermeable channel

رد یف	ضریب زبری	دبی	مقدار نفوذ	نفوذپذیری بستر	عرض سطح آزاد جریان	عمق جریان	شعاع هیدرولیکی
Set	Roughness coefficient (n)	Discharge (L/s)	Infiltration value (L/s/m)	Bed permeabilit y	Width of flow (cm)	Depth of flow (cm)	Hydraulic radius (m)
1	0.024	5.88	0.0000	خیر None	35.63	11.09	5.88
2	0.020	10.31	0.0000	خیر None	36.75	11.30	6.02
3	0.025	15.63	0.0000	خیر None	38.63	13.95	6.90
4	0.042	5.92	0.0000	خیر None	35.50	9.90	5.47
5	0.044	10.00	0.0000	خیر None	37.63	12.10	6.32
6	0.041	15.51	0.0000	خیر None	39.88	15.95	7.45
7	0.063	5.37	0.0000	خیر None	36.88	11.50	6.09
8	0.060	10.75	0.0000	خیر None	38.75	13.60	6.82
9	0.061	15.08	0.0000	خیر None	40.88	16.49	7.67
10	0.021	5.18	0.0045	کم Low	35.38	10.40	5.63
11	0.020	10.53	0.0070	متوسط Medium	36.00	11.05	5.89
12	0.022	15.63	0.0108	زیاد High	37.50	13.10	6.59
13	0.040	5.15	0.0047	کم Low	35.25	10.90	5.79
14	0.042	10.00	0.0073	متوسط Medium	36.88	12.00	6.24
15	0.041	15.15	0.0111	زیاد High	38.25	14.80	7.05
16	0.062	5.29	0.0053	کم Low	36.00	11.20	5.93
17	0.063	10.20	0.0110	متوسط Medium	37.88	13.10	6.62
18	0.064	15.15	0.0196	زیاد High	39.50	15.70	7.36

جدول ۲- سرعت متوسط، سرعت برشی و رینولدز برشی و ضریب دارسی ویسباخ در سطوح مختلف ضریب زبری و دبی در دو بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر

Table 2- Average and shear velocity, shear Reynolds and Darcy Weisbach coefficient in different bed roughness and discharge in permeable and impermeable channel

ردیف	ضریب زبری	دبی	مقدار نفوذ	نفوذپذیری بستر	سرعت متوسط	سرعت برشی	رینولدز برشی	ضریب دارسی ویسباخ
Set	Roughness coefficient (n)	Discharge (L/s)	Infiltration value (L/s/m)	Bed permeability	Average velocity of flow (m/s)	Shear velocity (m/s)	Shear Reynolds	Darcy Weisbach coefficient (f)
1	0.024	5.88	0.0000	None	0.2077	0.0233	23.15	0.1135
2	0.020	10.31	0.0000	None	0.3685	0.0628	62.40	0.2384
3	0.025	15.63	0.0000	None	0.4240	0.0410	40.70	0.0749
4	0.042	5.92	0.0000	None	0.2533	0.0420	250.49	0.2285
5	0.044	10.00	0.0000	None	0.3296	0.0449	267.46	0.1505
6	0.041	15.51	0.0000	None	0.3573	0.0455	271.18	0.1317
7	0.063	5.37	0.0000	None	0.2559	0.0603	897.53	0.455
8	0.060	10.75	0.0000	None	0.3524	0.0660	983.36	0.2859
9	0.061	15.08	0.0000	None	0.4123	0.0761	1133.79	0.2833
10	0.021	5.18	0.0045	Low	0.1974	0.0267	26.55	0.146
11	0.020	10.53	0.0070	Medium	0.3387	0.0441	43.76	0.1361
12	0.022	15.63	0.0108	High	0.4141	0.0475	47.13	0.1085
13	0.040	5.15	0.0047	Low	0.2302	0.0344	204.86	0.1778
14	0.042	10.00	0.0073	Medium	0.3033	0.0502	299.18	0.2276
15	0.041	15.15	0.0111	High	0.3550	0.0541	322.24	0.1858
16	0.062	5.29	0.0053	Low	0.2340	0.0620	923.56	0.5874
17	0.063	10.20	0.0110	Medium	0.2974	0.0717	1067.58	0.4744
18	0.064	15.15	0.0196	High	0.3668	0.0793	1181.85	0.3969



شکل ۳- ضریب پخشیدگی عرضی در ضریب زبری ها و دبی های مختلف در دو بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر

Figure 3- Transverse diffusion coefficient in different bed roughness and discharge in permeable and impermeable channel

نتایج و بحث

ضریب زبری و دبی در دو بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر آزمایش های این پژوهش در جدول ۱ ارایه شده است. همانگونه که این جدول نشان

عرض و عمق جریان و شعاع هیدرولیکی در سطوح مختلف

چون با افزایش دبی و ضریب زبری سرعت برشی نیز افزایش یافته است. مقادیر ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که با افزایش دبی و ضریب زبری مقادیر عدد رینولدز برشی و ضریب دارسی ویسباخ نیز افزایش یافته‌اند. تاثیر مقادیر مختلف ضریب زبری بر عدد رینولدز برشی و ضریب دارسی ویسباخ بیشتر از تاثیر مقادیر دبی بر این اعداد بوده است. متوسط مقادیر سرعت متوسط و سرعت برشی در کانال با بستر نفوذپذیر کمتر از کانال با بستر نفوذناپذیر بدست آمده است. ضریب پخشیدگی عرضی در ضریب زبری‌ها و دبی‌های مختلف در دو بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر در شکل ۳ ارائه شده است.

شکل ۳ نشان می‌دهد که مقادیر ضریب پخشیدگی عرضی بین $0.23/0$ تا $0.56/0$ سانتیمتر مربع بر ثانیه برای سطوح مختلف دبی و ضریب زبری در کانال نفوذناپذیر و بین $0.30/0$ تا $0.58/0$ سانتیمتر مربع بر ثانیه در کانال نفوذپذیر بدست آمده است. در هر دو حالت بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر در ضریب زبری‌های ثابت با افزایش دبی و همچنین در دبی‌های ورودی ثابت با افزایش ضریب زبری نیز ضریب پخشیدگی عرضی افزایش یافته است. آزمون T نشان داد که اختلاف بین مقادیر ضریب پخشیدگی در دو بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۳).

میدهد در حالت بستر نفوذناپذیر با افزایش دبی عمق جریان افزایش یافته است و بدلیل غیرمستطیلی (سه‌موی) بودن مقطع کانال، با افزایش دبی عرض جریان نیز افزایش پیدا کرده است. همچنین با افزایش دبی و ضریب زبری، شعاع هیدرولیکی نیز نسبتاً روند افزایشی داشته است. در حالت بستر نفوذپذیر نیز با افزایش دبی عرض و عمق جریان و شعاع هیدرولیکی افزایش یافته‌اند.

در کانال نفوذپذیر بدلیل خارج شدن مقداری از آب جاری شده در کانال از منافذ سطح مقطع کانال، بطور متوسط عرض جریان ۹ میلی‌متر، عمق جریان ۴ میلی‌متر و شعاع هیدرولیکی ۲ میلی‌متر کمتر از مقادیر متوسط این پارامترها در کانال نفوذناپذیر هستند. همچنین معادله سطح مقطع در کانال سهمی این پژوهش بصورت معادله ۱۵ بدست آمده است:

$$A = 0.44h^{1.27} \quad (15)$$

سرعت متوسط، سرعت برشی و رینولدز برشی در سطوح مختلف ضریب زبری و دبی در دو بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر آزمایش‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

افزایش دبی باعث افزایش سرعت متوسط بوده است. همچنین دبی و ضریب زبری هر دو رابطه مستقیمی با سرعت برشی داشته‌اند،

جدول ۳- مقایسه ضریب و طول پخشیدگی در دوبستر نفوذناپذیر و نفوذپذیر با آزمون آماری t

Table 3- Comparison diffusion coefficient and length in permeable and impermeable channel with statistical test of t

مقدار P	آزمون t	درجه آزادی	
P value	T-test	Degree of freedom	
0.0004	*5.90	8	ضریب پخشیدگی عرضی Transverse diffusion coefficient
0.0001	*9.07	8	طول پخشیدگی Diffusion length

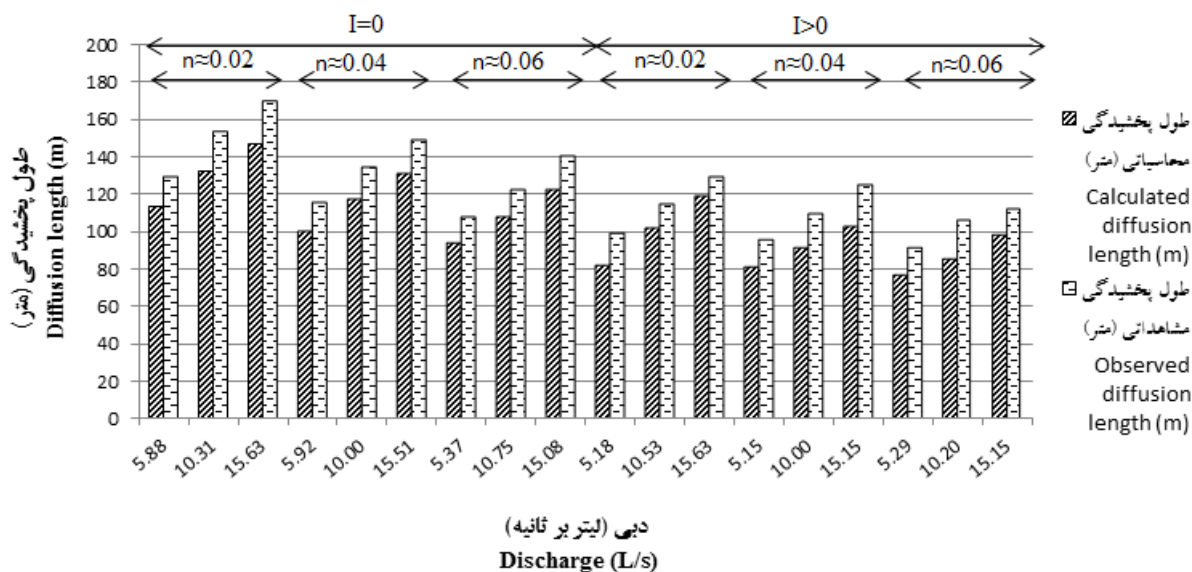
* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

* Significant at the level of 1%

عرضی افزایش می‌یابد. سعادت‌پور و همکاران (۲۱) با انجام آزمایشی بیان داشتند که در سرعت ثابت جریان، مقدار ضریب بی‌بعد پخشیدگی عرضی با افزایش عمق جریان در کانال بررسی شده کاهش می‌یابد. در این پژوهش افزایش دبی ورودی باعث افزایش سرعت جریان، عمق و عرض جریان (بدلیل مقطع سهمی شکل) شده است و در نتیجه افزایش سرعت باعث افزایش ضریب پخشیدگی عرضی شده است.

طول پخشیدگی محاسباتی بدست آمده از معادله ۳ و طول پخشیدگی مشاهداتی بدست آمده از داده‌های آزمایش و روندیابی در ضریب زبری‌ها و دبی‌های ورودی مختلف در دو بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر برای کانال سهمی شکل این آزمایش در شکل ۴ نشان داده شده است.

مقایسه نتایج بدست آمده نشان می‌دهد مقادیر مختلف ضریب زبری و دبی ورودی اعمال شده در این پژوهش در کانال نفوذناپذیر تا ۵۹ درصد تغییرات و در کانال نفوذپذیر تا ۴۸+ درصد تغییرات در مقادیر ضریب پخشیدگی عرضی ایجاد کرده‌اند. در بستر نفوذپذیر، در دبی‌های مختلف با ۲ برابر شدن ضریب زبری، بطور میانگین ضریب پخشیدگی تا ۷ درصد و با ۳ برابر شدن ضریب زبری، تا ۱۷ درصد افزایش یافته است. در ضریب زبری‌های مختلف با ۲ برابر شدن دبی، ضریب پخشیدگی بطور میانگین تا ۲۴ درصد و با ۳ برابر شدن دبی، تا ۳۲ درصد افزایش یافته است. نتایج پژوهش‌های چائو (۸)، میلر و ریچاردسون (۱۵) و طباطبائی و همکاران (۲۳) نتایج این پژوهش را تصدیق می‌کنند. عزیزپور (۴) نشان داد که فاکتور اصطکاک و عمق متوسط جریان، نقش مؤثری در ضریب پخشیدگی عرضی آلودگی ایفا می‌کنند به طوری که با افزایش فاکتور اصطکاک ضریب پخشیدگی



شکل ۴- طول پخشیدگی محاسباتی و مشاهده‌ای در ضریب زبری‌ها و دبی‌های ورودی مختلف در دو بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر
 Figure 4- Observed and calculated diffusion length in different bed roughness and discharge in permeable and impermeable channel

است. طول پخشیدگی رابطه یکنواختی با سرعت برشی ندارد. زیرا روند سرعت برشی افزایشی است در صورتیکه طول پخشیدگی با افزایش ضریب زبری، کاهش یافته است. افزایش دبی ورودی باعث افزایش سرعت جریان، عمق و عرض جریان شده و با توجه به معادله ۳ افزایش سرعت و عرض جریان باعث افزایش طول پخشیدگی شده است. طول پخشیدگی مشاهده‌ای متفاوت از طول پخشیدگی محاسباتی و در کانال با بستر نفوذناپذیر در حدود ۱۲ تا ۱۴ درصد و در کانال با بستر نفوذپذیر حدود ۸ تا ۲۰ درصد بوده است و بر این اساس معادله تجربی ۳ که برای مقاطع مستطیلی استفاده می‌شود برای مقاطع غیر مستطیلی بخصوص در کانال‌های با بستر نفوذپذیر قابل کاربرد نیست. بنابراین در این پژوهش برای شرایط گفته شده در یک کانال سهمی شکل براساس مقادیر عدد رینولدز برشی، ضریب دارسی ویسباخ و نسبت عرض به عمق جریان برای هر ۱۸ حالت مختلف، با استفاده از نرم افزار آماری SAS معادله ۱۶ برای طول پخشیدگی ارائه شد:

$$\frac{L}{w} = -364.27 \frac{1}{Re^*} + 183.44 \frac{1}{w/h} + 11.99 \frac{1}{f} + 202.99 \quad (16)$$

رگرسیون چندمرحله‌ای نشان داد که ضریب تبیین برای پارامترهای $\frac{1}{Re^*}$ ، $\frac{1}{w/h}$ و $\frac{1}{f}$ در معادله مربوط به طول پخشیدگی بترتیب برابر ۰/۴، ۳/۲ و ۴۴ درصد بدست آمدند. بنابراین ضریب دارسی ویسباخ مهمترین پارامتر در توجیه تغییرات طول پخشیدگی

طول پخشیدگی مشاهده‌ای در ضریب زبری‌ها و دبی‌های ورودی گفته شده ۱۰۸ تا ۱۷۰ متر در کانال نفوذناپذیر و ۹۱ تا ۱۲۹ متر در کانال نفوذپذیر، و طول پخشیدگی محاسباتی ۹۳ تا ۱۴۷ متر در کانال نفوذناپذیر و ۷۷ تا ۱۱۹ در کانال نفوذپذیر بدست آمده است. مقادیر مختلف ضریب زبری و دبی ورودی در این پژوهش در کانال نفوذناپذیر تا ۳۶ درصد و در کانال نفوذپذیر تا ۲۹ درصد بر طول پخشیدگی تاثیر گذارند. آزمون T نشان داد که اختلاف بین مقادیر طول پخشیدگی نیز در دو بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۳). در هر دو حالت کانال با بسترهای نفوذپذیر و نفوذناپذیر، در ضریب زبری‌های ثابت با افزایش دبی، طول پخشیدگی کامل افزایش یافته است. همچنین در دبی‌های ورودی ثابت با افزایش ضریب زبری طول پخشیدگی کامل در هر دو بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر کاهش یافته است. در بستر نفوذپذیر، در دبی‌های ورودی مختلف با ۲ برابر شدن زبری، بطور میانگین طول پخشیدگی تا ۴ درصد و با ۳ برابر شدن زبری، تا ۱۱ درصد کاهش یافته است، و در ضریب زبری‌های مختلف با ۲ برابر شدن دبی، بطور میانگین طول پخشیدگی تا ۱۳ درصد و با ۳ برابر شدن دبی، تا ۱۷ درصد افزایش یافته است. نتایج پژوهش شیرازی‌علیان (۲۲) در بستر نفوذناپذیر نتایج این پژوهش را تصدیق می‌کند. مورفی و همکاران (۱۶) نیز مدلی را برای پخش طولی در کانال‌های با پوشش گیاهی ارائه نمودند و نشان دادند که در مکانیسم تبادل در کانال‌های بدون پوشش با کانال‌های دارای پوشش، روش پخشیدگی تفاوت بسیار زیادی دارد و تراکم پوشش گیاهی (زبری‌های متفاوت) بسیار تأثیرگذار

یک معادله زبری برپایه پارامتر زبری مطلق و یک معادله که برای تخمین پارامتر پخشیدگی طولی بکار برده می‌شد، بود.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش برای بررسی پخش املاح، ضریب و طول پخشیدگی در یک کانال سهمی شکل در دبی‌های ورودی مختلف و ضریب زبری‌های متفاوت در دو بستر نفوذناپذیر و نفوذپذیر (شبه‌سازی شرایط جویچه) مطالعه و نشان داده شده است که با افزایش مقادیر دبی ورودی و ضریب زبری، مقادیر شعاع هیدرولیکی، سرعت برشی و سرعت متوسط افزایش یافته‌اند و مقادیر مختلف ضریب زبری و دبی ورودی اعمال شده در این پژوهش در کانال با بستر نفوذناپذیر تغییراتی تا ۵۹ درصد و در کانال با بستر نفوذپذیر تا ۴۸ درصد تغییرات در مقادیر ضریب پخشیدگی عرضی ایجاد کرده‌اند و همچنین در کانال با بستر نفوذناپذیر تا ۳۶ درصد و در کانال با بستر نفوذپذیر تا ۲۹ درصد بر طول پخشیدگی نیز تاثیر گذارند. آزمون t-test نشان داد که اختلاف بین مقادیر ضریب و طول پخشیدگی در دو بستر نفوذپذیر و نفوذناپذیر در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است. در شرایط پژوهش معادله‌ای برای طول پخشیدگی کامل ارائه گردید که این معادله بیان می‌کند که ضریب دارسی و سیسباخ که وابسته به سرعت جریان است پارامتر بسیار تاثیرگذار در مقدار طول پخشیدگی می‌باشد.

بوده است که این پارامتر وابسته به سرعت جریان می‌باشد. سرعت نیز پارامتر وابسته به مقدار دبی و مقطع کانال است.

در آبیاری جویچه‌ای آب آبیاری مؤثرترین و کم هزینه‌ترین وسیله برای پخش کود (کودآبیاری) است. کودآبیاری در سامانه‌های آبیاری سطحی، به دلیل کافی نبودن طراحی و دستورالعمل‌های مدیریتی چندان گسترش نیافته است. یکنواختی توزیع کود (پخشیدگی املاح) به شدت تحت تاثیر معیارهای طراحی و مدیریت آبیاری، روش و رژیم آبیاری، دبی ورودی، بافت خاک، ویژگیهای نفوذپذیری، ضریب زبری، نوبت آبیاری و مدت زمان تزریق کود به سامانه آبیاری قرار می‌گیرد. در کودآبیاری در صورتی که عوامل طراحی آبیاری و کودآبیاری به درستی انتخاب شوند، دستیابی به یکنواختی توزیع کود بیشتر از یکنواختی توزیع آب است (۳). مقدار دبی در جویچه حدود یک لیتر در ثانیه و مقادیر زبری در دوره‌های مختلف رشد گیاه حدود ۰/۰۲، ۰/۰۴ و ۰/۰۶ می‌باشند. بنابراین باتوجه به نتایج بدست آمده طول پخشیدگی کودآبیاری در بستر نفوذپذیر با این مقادیر دبی و زبری کمتر از ۷۰ متر خواهد بود. معادله ۱۶ بدست آمده برای طول پخشیدگی املاح در مقطع سهمی شکل نفوذپذیر در اصل وابسته به پارامترهای دبی و زبری و نفوذ می‌باشد و تغییرات این پارامترها در عرض و عمق جریان، سرعت و عدد رینولدز برشی که وابسته به زبری است، دیده خواهد شد. بارگت و همکاران (۶) نیز یک مدل ریاضی شامل جریان آب کم عمق و انتقال املاح را ارائه دادند. این مدل برای کودآبیاری جویچه تطبیق داده شد و شامل یک معادله نفوذ (که بصورت اتوماتیک برای تغییرات در محیط مرطوب تنظیم می‌شد)،

منابع

- 1- Afzalimehr H., and Anctil F. 2000. Accelerating shear velocity in gravel bed channels. *Journal of Hydrology*, (45):113-124.
- 2- Afzalimehr H., and Heidarpour M. 2002. Fundamentals of open channel hydrodynamics. Arkan press, p. 383. (in Persian)
- 3- Alizadeh H., Abbasi F., and Liaghat A. 2010. Evaluation of distribution uniformity and nitrate losses in furrow fertigation. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 14(51):45-55. (in Persian)
- 4- Azizpour M. 2011. Empirical Study of the transverse diffusion coefficient of pollution in channel. Ms Thesis. Department of Irrigation & Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran. (in Persian with English abstract)
- 5- Boxall J.B., and Guymer I. 2000. Estimating transverse mixing coefficients. *Water and Maritime Engineering*, (4):263-275.
- 6- Burguete J., Zapata N., Navarro P.G., Maikaka M., Playán E., and Murillo J. 2009. Fertigation in Furrows and Level Furrow Systems. I: Model Description and Numerical Tests. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 135:401-412.
- 7- Buschmann M. H. 2005. New mixing-length approach for the mean velocity profile of turbulent boundary layers. *Journal of Fluids Engineering*, 127(2):393-396.
- 8- Chau K. 2000. Transverse mixing coefficient measurements in an open rectangular channel. *Advances in Environmental Research*, (4):287-294.
- 9- Ebrahimian H., Liaghat A., Parsinejad M., Abbasi F., and Navabian M. 2011. Study the water losses and nitrate and water use efficiency in alternate furrow fertigation. *Journal of Water Research in Agriculture*, 25(1):21-29. (in Persian)

- 10-Fischer H. 1979. Mixing in Inland and Coastal Waters. Academic press, pp. 302.
- 11-Gualtieri C. 2010. RANS-based simulation of transverse turbulent mixing in a 2D geometry. *Environ Fluid Mech*, 10:137-156. DOI 10.1007/s10652-009-9119-6.
- 12-Gualtieri C., and Mucherino C. 2007. Transverse turbulent diffusion in straight rectangular channels. 5th International Symposium on Environmental Hydraulics (ISEH 2007), Tempe (USA), December, pp 1-8.
- 13-Kouchakzadeh S., Akram M., and Bagheri F. 2006. Hydraulic performance of corrugated pipes and developing applied conveyance relations for corrugated pipes based on their hydraulic performance. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 27(7):1-18.
- 14-Lau Y., and Krishnappan B. 1977. Transverse dispersion in rectangular channels. *Journal of Hydraulic*, 103:1173-1189.
- 15-Miller A., and Richardson E. 1974. Diffusion and dispersion in open channel flow. *Journal of the Hydraulics Division*, 100:159-171.
- 16-Murphy E., Ghisalberti M., and Nepf H. 2007. Model and laboratory study of dispersion in flows with submerged vegetation. *Water Resources Research*, (43):15-27.
- 17-Perea H., Bautista E., Hunsaker D.J., Strelkoff T.S., Williams C., and Adamsen F.J. 2011. Nonuniform and Unsteady Solute Transport in Furrow Irrigation. II: Description of Field Experiments and Calibration of Infiltration and Roughness Coefficients. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, (137):315-326.
- 18-Perea H., Strelkoff T.S., Adamsen F.J., Hunsaker D.J., and Clemmens A.J. 2010. Nonuniform and unsteady solute transport in furrow irrigation I: Model development. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(6):365-375.
- 19-Rowinski P.M., and Kubrak J. 2002. A mixing-length model for predicting vertical velocity distribution in flows through emergent vegetation. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 47(6):893-904.
- 20-Rutherford J. 1994. River mixing. John Wiley and Sons, Ltd. England, pp. 347.
- 21-Saadatpour A., Heidarpor M., and Tabatabaei S.H. 2011. Determination of complete mixing length in a rectangular flume. *Iranian Water Research Journal*, 5(9):11-18. (In Persian)
- 22-Shirazialiyan P. 2009. The Effect of Vegetation on Process of Dispersion of Pollution in a Rectangular channel. Ms Thesis. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. (In Persian with English abstract).
- 23-Tabatabaei S.H., Heidarpour M., Ghasemi M., and Hoseinipour E.Z. 2013. Transverse Mixing Coefficient on Dunes with Vegetation on a Channel Wall. *World Environmental & Water Resources Congress*. MAY 19-23, 2013.Cincinnati. OHIO. USA.
- 24-Walker W.R., and Skogerboe G.V. 1987. *Surface Irrigation: Theory and Practice*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs. New Jersey.
- 25-Wang C. 2003. Experimental Research on Channel Flow with Vegetation. Ph. D dissertation. HoHai University, Nanjing, pp. 150. (in Chinese)
- 26-West J.R., and Cotton A.P. 1980. Transverse diffusion for unidirectional flow in wide open channels. *Proceedings Institution of Civil Engineers*, (2):491-498.
- 27-Zebardast S., Tabatabaei S.H., Abbasi F., Heidarpour M., and Gaultieri C. 2015. Study the effect of discharge and bed roughness on the maximum solute diffusion length in a parabolic channel. *Iranian journal of soil and water research*. (Accepted for publication). (in Persian with English abstract).
- 28-Zebardast S., Tabatabaei S.H., Abbasi F., Heidarpour M., and Gaultieri C. 2015. Study the effect of inflow rate and bed roughness on transverse mixing coefficient in nonrectangular channel. 10th International Congress on Civil engineering. Tabriz, Iran. May 2015.
- 29-Zebardast S., Tabatabaei S.H., Abbasi F., Heidarpour M., Gaultieri C., Hosseinipour E.Z., and Asgari K. 2015. Analysis of Complete Mixing Length in a Non-Rectangular Channel. *World Environmental & Water Resources Congress*, Austin-Texas-. May 2015.

Maximum Length of Solute Diffusion in a Parabolic Channel under Permeable and Impermeable Bed Conditions

S. Zebardast^{1*} – S. H. Tabatabaei² – F. Abbasi³ – M. Heidarpour⁴ – C. Gualtieri⁵

Received: 05-04-2016

Accepted: 10-10-2016

Introduction: It is important to understand the processes of diffusion and transporting solute in the furrow irrigation system, because of their role in diffusion of pollutants in the environment. Movement pattern of fertilizer from the source of plants is usually under the effect of advection and turbulent diffusion processes. Maximum solute diffusion length (SDL) is the minimum distance which materials such as a fertilizer, could uniformly spread in the whole flow cross section. The SDL depends on hydraulic properties, condition of vegetation and channel specifications. Velocity profile of furrows as a result of parabolic shape of the cross-section is different than the rivers and rectangular channels. The main objectives of this study were to investigate SDL in a permeable parabolic channel and evaluate the effect of different discharges and bed roughness on diffusion length in a parabolic cross-section of a furrow.

Materials and Methods: In this research, the effect of different levels of discharge and the bed roughness coefficient was studied on transverse diffusion coefficient (TDC) and the maximum solute diffusion length (SDL) in a parabolic channel with permeable and impermeable beds. The channel had a 10 m length, 0.5 m width and 0.3 m depth with a parabolic shape (similar to the furrow irrigation system). Before entering the channel, the water flow passed the lattice filters to slow the flow. To increase the rate of flow development, the first half meter of the channel's bed covered with gravels (maximum 5 cm thickness) and non-submerged woods. Three levels of discharge about were conducted including 5, 10 and 15 L/s as well as three levels of bed roughness coefficient including 0.2, 0.04 and 0.06. Different rates of roughness were created using various thickness of net and vegetation cover on the furrow's bed and wall. This research was conducted in channels with beds of permeable and impermeable. In bed of with permeability, 15 holes with a diameter of 1.5 mm construct along the bed of channel. In this experiment, Sodium chloride as a tracer was injected to the water at the upstream cross section. The place of injection was 2.5 meters far from the channel inlet where flow was completely developed and water surface swings were constant. The tracer concentration in the water and the velocity profile were measured at eight cross sections along the channel including 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 9.5 m from upstream. The velocity profile was measured using Pitot tube. No specific equation is introduced to calculate the SDL. For this reason, dimensional analysis was used in this study.

Results and Discussion: The results show that, the values of TDC for different treatments ranged between 0.23 to 0.56 cm²/s in impermeable channel where it is 0.30 to 0.58 cm²/s in the permeable channel. Also the values of SDL ranged 108-170 m in impermeable channel and 91 -129 m in the permeable channel for different treatments. TDC has direct relation to discharge and bed roughness. In stationary bed roughness with increased discharge, and in stationary discharge with increasing bed roughness, TDC increased. Also In stationary bed roughness, discharge has positive and direct relation with SDL. However, in stationary discharge, roughness value has the negative relation with SDL. A statistical analysis of T-test indicated that the difference between the values of TDC and SDL in permeable and impermeable beds in the 1% level is significant. The Darcy Weisbach coefficient is the most important parameter in justifying changes SDL that this parameter depends on the velocity of flow, and the velocity of flow depends on discharge and shape of channel too. According to the results of the experiments and the regular values of discharge, infiltration and roughness coefficient in furrows, it was shown that the maximum solute diffusion length of furrows would be less than 70 meters.

Conclusions: The objective of this research was to develop an approach for the determination of solute

1 and 2- PhD Graduated and Associate Professor, Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord

(*- Corresponding Author Email: Sonia_Zebardast@yahoo.com)

3- Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

4- Professor, Department of Water Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan

5- Assistant Professor, Construction and Environmental Engineering Department, University of Napoli Federico II, Napoli, Italy

diffusion in a furrow irrigation system where the cross section is parabolic. For this reason, solute diffusion length, in different bed roughness and inflow rate was studied. Eventually, an equation was developed to explain SDL in a permeable parabolic channel and these experimental results could prove useful to predict the fertilizer transport in furrow irrigation method as well as other areas where mixing and contaminant decay is of interest.

Keywords: Diffusion process, Furrow irrigation, Infiltration, Transverse diffusion coefficient