

بررسی ضریب اختلاط عرضی در آبراهه‌های با مقطع مرکب و پوشش گیاهی غیرمستغرق در سیلابدشت

حسین حمیدی فر^{۱*} - محمدحسین امید^۲ - مهدی بهرامی^۳ - محمدجواد امیری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۱۶

چکیده

قابلیت پیش‌بینی سازوکار پخش و انتقال آلاینده‌ها، اهمیت زیادی در مباحث مدیریت کیفی و سلامت آبراهه‌ها دارد. در این تحقیق، با استفاده از یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۸، عرض ۰/۹ و ارتفاع ۰/۶ متر به بررسی آزمایشگاهی تأثیر پوشش گیاهی صلب سیلابدشت بر ضریب اختلاط عرضی در یک کانال با مقطع مرکب پرداخته شده است. با تصویربرداری از ابر آلودگی و استفاده از روش پردازش تصویر، تغییرات غلظت ردیاب مشخص گردید. نتایج نشان داد که موقعیت تزریق ردیاب بر ضریب اختلاط عرضی تأثیرگذار است. ضریب اختلاط عرضی در کانال اصلی همواره از سیلابدشت بیشتر می‌باشد و مقدار آن نیز با افزایش عمق نسبی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش تراکم پوشش گیاهی بر روی سیلابدشت، مقدار ضریب اختلاط عرضی بدون بعد هم در کانال اصلی و هم در سیلابدشت افزایش می‌یابد. در نهایت چنین نتیجه گرفته شد که پوشش گیاهی با تراکم ۰/۸۸ درصد می‌تواند منجر به افزایش ۸۰ درصدی ضریب اختلاط عرضی در سیلابدشت و افزایش ۱۰۷ درصدی این پارامتر در کانال اصلی در مقایسه با حالت بدون پوشش گیاهی گردد.

واژه‌های کلیدی: انتشار آلودگی، رودخانه، عمق نسبی، کیفیت آب، پردازش تصویر

مقدمه

از جمله انتشار آلاینده‌ها در مقاطع مرکب می‌تواند بسیار قابل توجه باشد. زیرا این جریان‌های ثانویه می‌توانند علاوه بر انتقال جرم آلاینده، بر انتقال مومنتوم نیز تأثیرگذار باشند (۲، ۴ و ۱۶). این شرایط خاص جریان، منجر به پیچیده‌تر شدن مباحث مدل‌سازی کیفی آب در مقاطع مرکب می‌گردد. از طرف دیگر، حضور پوشش گیاهی بر روی دشت سیلابی می‌تواند بر این پیچیدگی‌ها بیافزاید.

بسیاری از مدل‌هایی که برای پیش‌بینی چگونگی پخش و انتقال آلاینده‌ها در مجاری روباز به کار می‌روند، از قبیل مدل‌های جابجایی-پخش^۵، مدل‌های ذخیره موقت^۶ (۱) و مدل‌های نواحی ساکن^۷ (۱۰)، نیازمند تعیین ضرایب پخش عرضی و طولی آلاینده می‌باشند. به طور معمول، ضرایب پخش با استفاده از روابط تجربی و یا آزمایش‌های میدانی و تزریق ردیاب^۸ که نیازمند صرف وقت و هزینه بسیار می‌باشند، تخمین زده می‌شوند. ثابت شده است که روابط تجربی ممکن است موجب خطای قابل توجه در نتایج حاصله از مدل‌های

کانال‌های مرکب که در طبیعت بسیار متداول هستند، شامل یک کانال اصلی برای انتقال جریان در مواقع عادی و یک یا دو سیلابدشت در طرفین است که سیلابدشت‌ها همان‌طور که از نام آن‌ها پیداست در مواقع سیلابی و برای عبور جریان سرریزی از کانال اصلی وارد عمل می‌شوند. انتقال جانبی مومنتوم بین کانال اصلی و دشت(های) سیلابی منجر به وقوع شرایط هیدرولیکی خاص جریان در مقاطع مرکب می‌شود که توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است. همچنین، تحقیقات نشان داده است که جریان‌های گردابی قوی در مرز مشترک کانال اصلی و دشت سیلابی شکل می‌گیرد. هر چند این جریان‌های ثانویه در مقایسه با سرعت جریان در راستای اصلی چندان زیاد نیست، اما تأثیر آن‌ها بر پدیده‌های مختلف

۱- استادیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*- نویسنده مسئول: (Email: hamidifar@shirazu.ac.ir)

۲- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۳ و ۴- استادیاران گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا

5- Advection-dispersion models

6- Transient storage models

7- Dead zone models

8- Tracer

ضریب پخش عرضی آلودگی را در یک کانال آزمایشگاهی با مقطع ساده مورد مطالعه قرار دادند. این محققین با استفاده از محلول نمک خوراکی به عنوان ماده ردیاب مشاهده کردند که با افزایش تراکم پوشش گیاهی، با فرض ثابت بودن دبی و عمق جریان، ضریب اختلاط عرضی ابتدا کاهش یافته و سپس از یک تراکم خاص به بعد، ضریب اختلاط عرضی افزایش می‌یابد. شعاعی و جمالی (۱۵) به بررسی آزمایشگاهی فرآیند پخش عرضی جریان در عرصه های کم تراکم گیاهی پرداختند. این محققین مشاهده کردند که ضریب پخش عرضی در اعداد رینولدز کمتر از ۲۰۰ به عدد رینولدز و تراکم ساقه ها بستگی دارد اما به ازای $Re_d > 200$ ضریب پخش عرضی مستقل از عدد رینولدز و همچنین تراکم ساقه‌هاست.

با وجود تحقیقات زیادی که در زمینه‌ی هیدرولیک جریان در آبراهه‌های با مقطع مرکب، اندرکنش پوشش گیاهی و انتقال آلاینده‌ها توسط جریان صورت گرفته است، هنوز هم آگاهی کافی از چگونگی تأثیر پوشش گیاهی سیلابدشت بر انتقال آلاینده‌ها در مقاطع مرکب به دست نیامده است. به همین منظور، تحقیق حاضر به عنوان تلاشی برای کسب آگاهی کلی از اندرکنش پوشش گیاهی سیلابدشت و ضریب اختلاط عرضی انجام شده است.

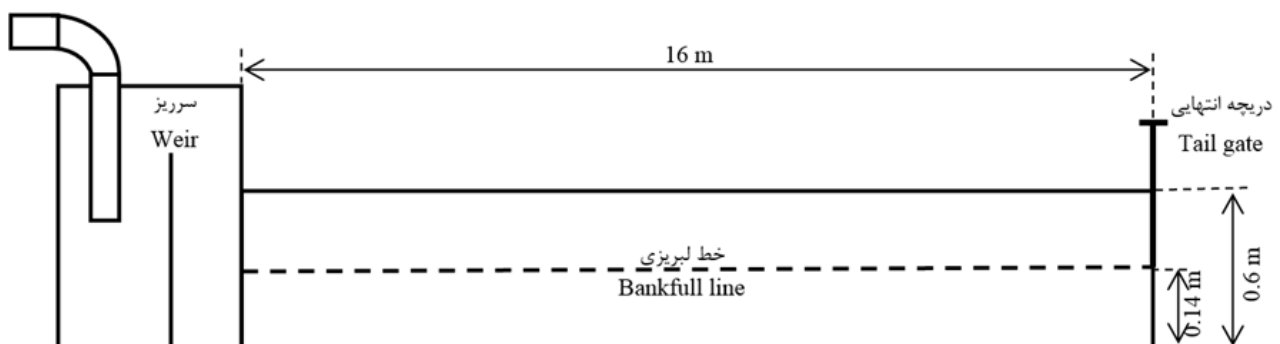
مواد و روش‌ها

آزمایش‌های تحقیق حاضر با استفاده از یک فلوم مستطیلی از جنس پلاستیک فشرده شفاف به طول ۱۸ متر، عرض ۰/۹ متر و ارتفاع ۰/۶ متر انجام شدند. شیب طولی بستر کانال اصلی و سیلابدشت برابر ۰/۰۰۸۸ تنظیم گردید (شکل ۱). نسبت عرض دشت سیلابی به عرض آبراهه اصلی ثابت و برابر ۱/۰ در نظر گرفته شد (شکل ۲).

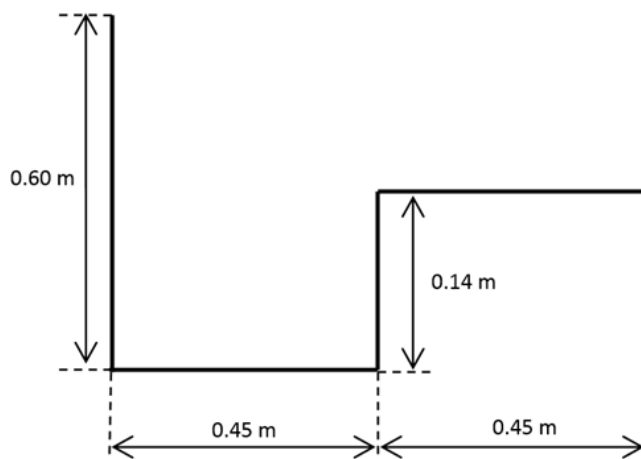
پخش و انتشار گردد (۱۱). اگرچه تعیین ضریب انتشار با استفاده از تزریق ردیاب، در صورت دقت کافی در انجام آزمایش، نتایج دقیق‌تری به دست می‌دهد، اما این نتایج فقط در بازه‌ای از رودخانه که آزمایش تزریق ردیاب در آن انجام گرفته است قابل کاربرد است. حتی در آن بازه خاص از رودخانه نیز با تغییر شرایط جریان و مورفولوژی بستر، این نتایج ممکن است نسبت به مقدار واقعی تا حد زیادی متفاوت باشد. از طرفی دیگر، آزمایش میدانی تزریق ردیاب نیازمند صرف هزینه، زمان و نیروی انسانی زیادی می‌باشد که استفاده از این روش را برای تخمین ضریب انتشار در شرایط مختلف جریان با محدودیت جدی روبرو می‌سازد. از این‌رو، مطالعات آزمایشگاهی که به هزینه و نیروی انسانی کمتری نیاز دارند و می‌توان در آن‌ها پارامترهای مورد نظر را در شرایط مختلف جریان مورد بررسی قرار داد، می‌تواند به عنوان یک گزینه مناسب از سوی پژوهشگران برای مطالعه‌ی ساز و کار انتقال و انتشار آلاینده‌ها در مجاری روباز مورد توجه استفاده قرار گیرد.

در سال‌های اخیر برخی از گیاهان موجود در مسیر آبراهه‌ها بدلیل توانایی بالا در بهبود کیفیت آب مورد توجه قرار گرفته‌اند (۵، ۹ و ۱۸). این توانایی طبیعی به شکل‌های متفاوتی از قبیل جذب، رقیق‌سازی و تجزیه آلاینده‌ها خود را نشان می‌دهد (۳، ۶ و ۱۷). سیلابدشت‌ها عمدتاً پوشیده از پوشش گیاهی است که منجر به پیچیده‌تر شدن شرایط جریان و انتقال آلاینده‌ها می‌شود (۸ و ۱۸). بدلیل همین پیچیدگی‌هاست که این موضوع تا کنون چندان توسط محققین مورد بررسی قرار نگرفته است.

زنگ و همکاران (۱۹) ضریب اختلاط عرضی را در یک کانال مرکب با مقطع دوزنقه‌ای مورد بررسی قرار دادند و مشاهده کردند که مقدار این ضریب در عرض کانال متغیر است. به عبارت دیگر مقدار ضریب اختلاط عرضی برای سیلابدشت و کانال اصلی یکسان نیست. شیرازی و همکاران (۱۴) تأثیر تراکم پوشش گیاهی مستغرق بر



شکل ۱- طرحواره‌ای از فلوم مورد استفاده در آزمایش‌های تحقیق حاضر
Figure 1- A schematic view of the laboratory flume used in the present study



شکل ۲- مقطع عرضی کانال مرکب در آزمایش‌های تحقیق حاضر (ابعاد بر حسب سانتی‌متر)
Figure 2- Cross sectional view of the compound channel (dimensions are in cm)

پوشش گیاهی مربوط به آن آزمایش است نامگذاری شده است. بر این اساس، اعداد ۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵ برای نشان دادن عمق نسبی، حرف N برای آزمایش‌های بدون پوشش گیاهی و حروف L و M به ترتیب برای نشان دادن آزمایش‌های با پوشش گیاهی کم تراکم (۰/۲۶ درصد) و تراکم متوسط (۰/۸۸ درصد) بکار رفته‌اند.

نتایج و بحث

اثر عمق نسبی جریان بر اختلاط عرضی در مقاطع مرکب

به منظور بررسی تاثیر عمق جریان بر اختلاط عرضی، تزریق ردیاب به صورت نقطه‌ای در دو محل، در وسط کانال اصلی و وسط سیلابدشت، بصورت مجزا انجام شده است. لازم به ذکر است که نمودارهای مربوط به تغییرات عرضی غلظت ردیاب، که در ادامه این بخش آورده شده‌اند، نشان‌دهنده مقادیر متوسط در یک بازه زمانی ۳۰ ثانیه‌ای هستند که توسط تصویربرداری از ابر آلودگی در هر کدام از ایستگاه‌های اندازه‌گیری بدست آمده‌اند. بدیهی است که مقادیر لحظه‌ای غلظت در هر کدام از این ایستگاه‌ها تا حدی متفاوت از مقدار متوسط است. بنابراین روش پردازش تصویر این امکان را بدست می‌دهد که بتوان با استفاده از فریم‌های زیادی که در یک بازه زمانی (بطور مثال ۳۰ ثانیه) برداشت می‌شود تخمین دقیقی از تغییرات غلظت ارائه داد. این قابلیت، یکی از مزیت‌های روش پردازش تصویر در استخراج غلظت در مقایسه با روش‌های قدیمی مانند نمونه‌گیری مستقیم می‌باشد. مشاهده می‌شود که در بیشتر موارد، ابر آلودگی در حرکت به سمت پایین‌دست، یک مسیر مستقیم را دنبال نمی‌کند و به تناوب به سمت دیواره‌های جانبی و یا مرز مشترک سیلابدشت و کانال اصلی جابجا می‌شود.

به منظور افزایش دقت در برآورد ضریب اختلاط عرضی، منحنی

شدت جریان عبوری از فلوم بوسیله یک سرریز مثلثی لبه‌تیز واسنجی شده که در ابتدای کانال قرار دارد، اندازه‌گیری می‌شود. به منظور افزایش دقت در تنظیم شیب سطح آب و برقراری جریان یکنواخت در آزمایش‌های این تحقیق از یک دریچه پروانه‌ای انتهایی هم عرض فلوم استفاده گردید. از استوانه‌های از جنس پی‌وی‌سی با قطر خارجی یک سانتی‌متر به عنوان پوشش گیاهی استفاده گردید. از محلول پرمنگنات پتاسیم به عنوان ردیاب برای استفاده در آزمایش‌های تحقیق حاضر استفاده گردید. به منظور تزریق ردیاب، از یک نازل L-شکل به قطر داخلی ۲ میلی‌متر، که در دو میلی‌متری زیر سطح آب قرار می‌گرفت، استفاده شد. غلظت ردیاب در سه ایستگاه مختلف به فواصل ۴/۰۰، ۶/۴۴ و ۸/۸۸ متر در پایین دست محل تزریق با تصویربرداری از ابر آلودگی و کمک گرفتن از تکنیک پردازش تصویر در نرم‌افزار متلب تعیین گردید.

جدول ۱- فهرست آزمایش‌های انجام شده در تحقیق حاضر

Code	H (m)	H-h (m)	D _r (-)	φ (%)
0.15-N	0.165	0.025	0.1515	-
0.25-N	0.187	0.047	0.2513	-
0.35-N	0.215	0.075	0.3488	-
0.15-L-T-E	0.165	0.025	0.1515	%0.26
0.25-L-T-E	0.187	0.047	0.2513	%0.26
0.35-L-T-E	0.215	0.075	0.3488	%0.26
0.15-M-T-E	0.165	0.025	0.1515	%0.88
0.25-M-T-E	0.187	0.047	0.2513	%0.88
0.35-M-T-E	0.215	0.075	0.3488	%0.88

فهرست کلی آزمایش‌های تحقیق حاضر در جدول ۱ ارائه شده است به منظور سهولت در ارجاع به هر آزمایش در بخش نتایج و بحث، هر آزمایش به وسیله یک کد که در برگزیده شرایط جریان و

تراکم ۰/۲۶ درصد

جریان‌های ثانویه در کانال اصلی شدیدتر بوده و رفتار تناوبی ابر آلودگی هم بیشتر در کانال اصلی مشاهده می‌شود. ضریب اختلاط عرضی محاسبه شده و به تفکیک سیلابدشت و کانال اصلی در جدول ۲ آورده شده است. مشاهده می‌شود که بطور کلی مقدار ضریب اختلاط عرضی در کانال اصلی نسبت به مقدار متناظر در سیلابدشت بزرگ‌تر می‌باشد. همچنین با افزایش عمق نسبی، مقدار ضریب اختلاط عرضی هم در کانال اصلی و هم در سیلابدشت افزایش می‌یابد.

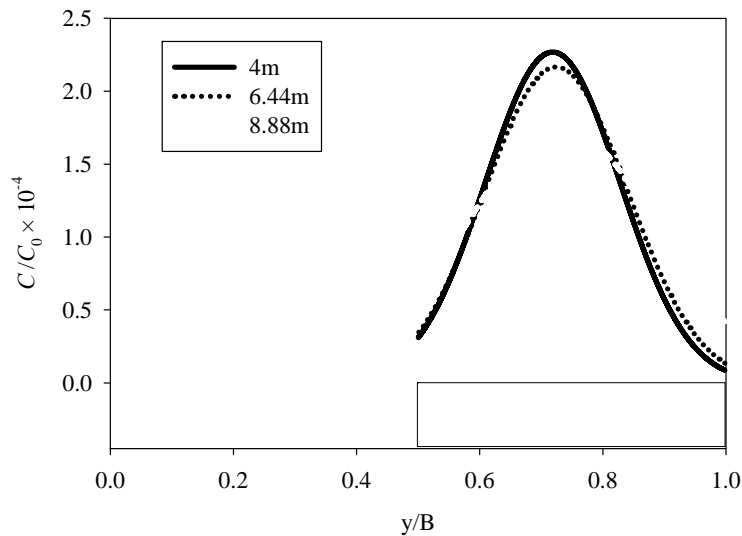
تغییرات غلظت با استفاده از یک منحنی گاوسی شکل تقریب زده شده و بر اساس این منحنی گاوسی، ضریب اختلاط عرضی برای آن آزمایش خاص محاسبه شده است.

در جدول ۲ ضرایب اختلاط عرضی در سیلابدشت و کانال اصلی برای آزمایش‌های بدون پوشش گیاهی برای اعماق نسبی مختلف محاسبه شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که با افزایش عمق نسبی از ۰/۱۵ تا ۰/۳۵، ضریب اختلاط عرضی در کانال اصلی و در سیلابدشت افزایش می‌یابد. همچنین مقدار این ضریب در کانال اصلی همواره از سیلابدشت بیشتر می‌باشد.

جدول ۲- مقادیر ضرایب اختلاط عرضی در سیلابدشت و کانال اصلی

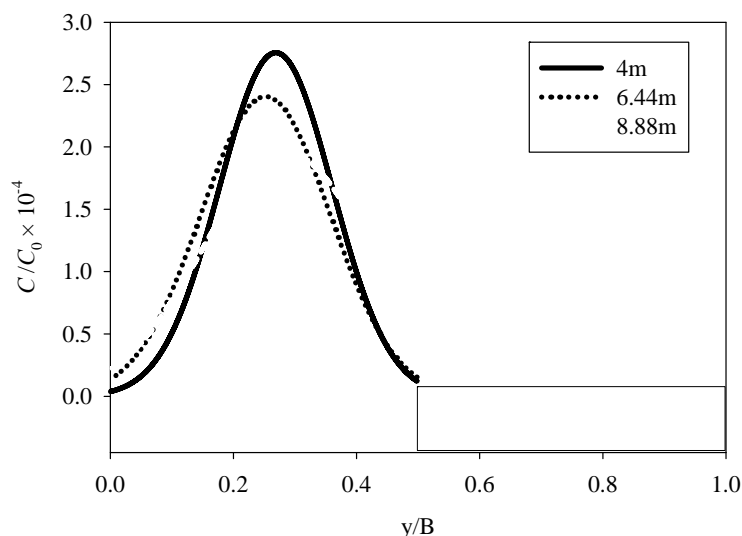
Table 2- Values of the transverse mixing coefficient in the floodplain (FP) and main channel (MC)

Code	ε_t (cm ² /s)	
	FP	MC
0.15-N	27.45	65.23
0.25-N	57.46	96.03
0.35-N	73.29	141.31
0.15-L-T-E	35.45	85.84
0.25-L-T-E	67.85	121.82
0.35-L-T-E	78.37	170.76
0.15-M-T-E	49.45	135.64
0.25-M-T-E	79.44	174.65
0.35-M-T-E	94.29	233.43



شکل ۳- تغییرات عرضی غلظت ردیاب در سیلابدشت (0.25-N)

Figure 3- Transverse variations of the tracer concentration in the floodplain



شکل ۴- تغییرات عرضی غلظت ردیاب در کانال اصلی (0.25-N)

Figure 4- Transverse variations of the tracer concentration in the main channel

عمق جریان و سرعت برشی مربوطه (در کانال اصلی و یا سیلابدشت) استفاده کرد. مقدار افزایش ضریب اختلاط عرضی در سیلابدشت بسیار بیشتر از کانال اصلی می‌باشد؛ به طوری که با افزایش تراکم از ۰/۲۶ درصد به ۰/۸۸ درصد، مقدار بدون بعد ضریب اختلاط عرضی در سیلابدشت در آزمایش با عمق نسبی ۰/۱۵ تا ۴۰ درصد افزایش می‌یابد. این در حالی است در تراکم ۰/۸۸ درصد نسبت به آزمایش بدون پوشش گیاهی، مقدار پارامتر ε_i/U_*H_i در سیلابدشت ۷۵ درصد افزایش یافته است که نشان‌دهنده تأثیر زیاد پوشش گیاهی بر ضریب اختلاط عرضی در مقاطع مرکب می‌باشد.

در شکل‌های ۸ و ۹ میزان تغییر ضریب اختلاط عرضی به ترتیب در سیلابدشت و کانال اصلی در اثر حضور پوشش گیاهی در مقایسه با حالت بدون پوشش گیاهی بر حسب درصد آورده شده است. بر اساس این نمودارها، مشاهده می‌شود که با افزایش عمق نسبی، تأثیر پوشش گیاهی بر ضریب اختلاط عرضی هم بر روی سیلابدشت و هم در کانال اصلی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش تراکم پوشش گیاهی، میزان تغییر در ضریب اختلاط عرضی افزایش می‌یابد. از طرفی دیگر، تأثیر پوشش گیاهی بر ضریب اختلاط عرضی در کانال اصلی بیشتر از دشت سیلابی است. زیرا در اثر برخورد جریان با المان‌های گیاهی در ناحیه نزدیک به مرز مشترک کانال اصلی و سیلابدشت، امواج عرضی در کانال اصلی مشاهده می‌شدند. این امواج عرضی که بوضوح در سطح جریان قابل مشاهده بودند، منجر به ایجاد و تقویت جریان‌های ثانویه در کانال اصلی و در نتیجه بهبود اختلاط در عرض می‌شدند. لازم به ذکر است که با افزایش عمق نسبی، از شدت این امواج عرضی کاسته می‌شد.

تراکم ۰/۸۸ درصد

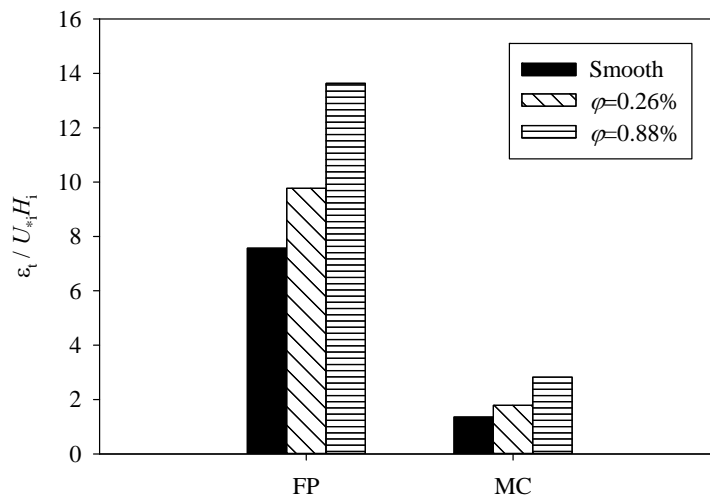
نکته قابل توجه در آزمایش‌های با عمق نسبی کم (۰/۲۶ درصد) و متوسط (۰/۸۸ درصد) آن است که در ایستگاه‌های اندازه‌گیری دوم و سوم (واقع در ۶/۴۴ و ۸/۸۸ متری پایین دست محل تزریق) تغییرات عرضی غلظت کاهش می‌یابد. البته با توجه به افزایش تراکم پوشش گیاهی انتظار می‌رود که در اثر برخورد بیشتر ذرات ردیاب با المان‌های پوشش گیاهی، پخش عرضی نیز تقویت یابد. این امر باعث گردید که در آزمایش‌های با تراکم زیاد پوشش گیاهی (تراکم ۳/۱۴ درصد) ماده ردیاب در فاصله کوتاهی در پایین دست محل تزریق در تمام عرض پخش شده و عملاً امکان محاسبه ضریب اختلاط عرضی بر اساس نمودار تغییرات عرضی غلظت در ایستگاه‌های اندازه‌گیری وجود نداشت. ضرایب اختلاط عرضی مربوط به آزمایش‌های با تراکم متوسط (۰/۸۸ درصد) در جدول ۲ آورده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش عمق نسبی، ضریب اختلاط عرضی هم بر روی سیلابدشت و هم در کانال اصلی، افزایش می‌یابد. همچنین مقدار ضریب اختلاط عرضی در کانال اصلی بزرگ‌تر از مقدار متناظر در سیلابدشت است.

اثر تراکم پوشش گیاهی بر اختلاط عرضی

برای هر سه عمق نسبی مورد بررسی در تحقیق حاضر، با افزایش تراکم پوشش گیاهی بر روی سیلابدشت، مقدار بدون بعد ضریب اختلاط عرضی (ε_i/U_*H_i) هم در کانال اصلی و هم در سیلابدشت افزایش می‌یابد (شکل‌های ۵ تا ۷). اندیس i نشان‌دهنده آن است که برای تعیین این پارامتر در کانال اصلی و سیلابدشت، بایستی از مقادیر

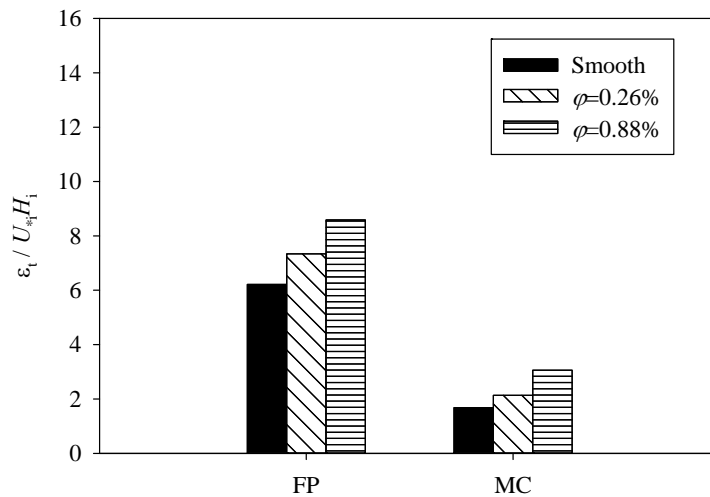
افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۹ مشاهده می‌شود که پوشش گیاهی با تراکم کم می‌تواند ضریب اختلاط عرضی در کانال اصلی و سیلابدشت را تا ۳۰ درصد افزایش دهد. همچنین پوشش گیاهی با تراکم ۰/۸۸ درصد می‌تواند منجر به افزایش ۸۰ درصدی ضریب اختلاط عرضی در سیلابدشت و افزایش ۱۰۷ درصدی این پارامتر در کانال اصلی گردد.

بایستی توجه داشت که روند تغییرات مقدار مطلق ضریب اختلاط عرضی و مقدار بدون بعد آن با یکدیگر متفاوت است. بطوری که پوشش گیاهی منجر به تغییر قابل توجه پارامتر بدون بعد $\varepsilon_l / U_* H_l$ در سیلابدشت می‌شود؛ در حالی که تأثیر پوشش گیاهی بر ضریب ε در کانال اصلی بیشتر است. این تناقض ظاهری ناشی از تفاوت عمق و هیدرولیک جریان در کانال اصلی و سیلابدشت است. از آنجا که مقدار عمق جریان و سرعت برشی در سیلابدشت نسبت به کانال اصلی کمتر است، بنابراین با کاهش این پارامترها، مقدار پارامتر $\varepsilon_l / U_* H_l$



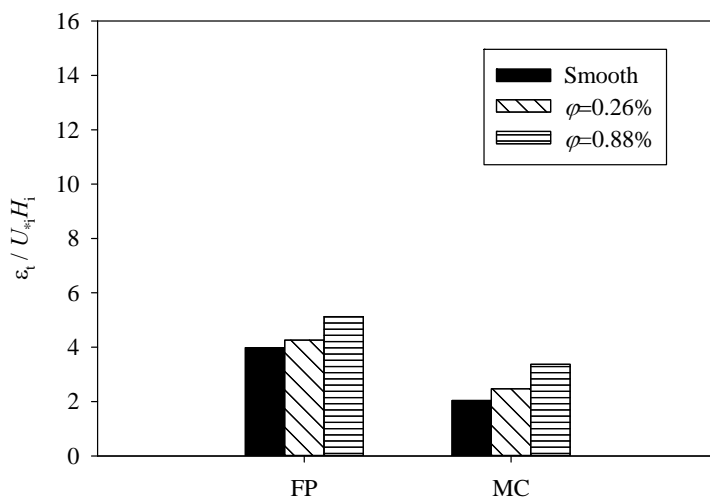
شکل ۵- اثر تراکم پوشش گیاهی بر ضریب اختلاط عرضی ($D_t=0.15$)

Figure 5- Effect of vegetation density on the transverse mixing coefficient ($D_t=0.15$)

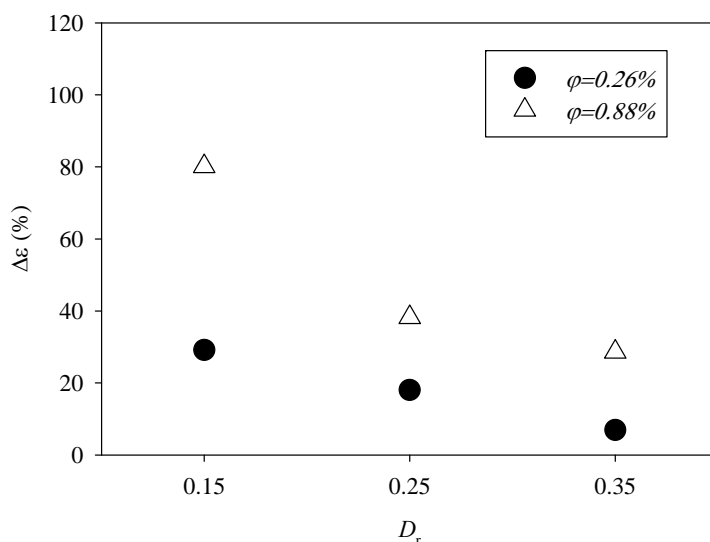


شکل ۶- اثر تراکم پوشش گیاهی بر ضریب اختلاط عرضی ($D_t=0.25$)

Figure 6- Effect of vegetation density on the transverse mixing coefficient ($D_t=0.25$)



شکل ۷- اثر تراکم پوشش گیاهی بر ضریب اختلاط عرضی ($D_r=0.35$)
 Figure 7- Effect of vegetation density on the transverse mixing coefficient ($D_r=0.35$)

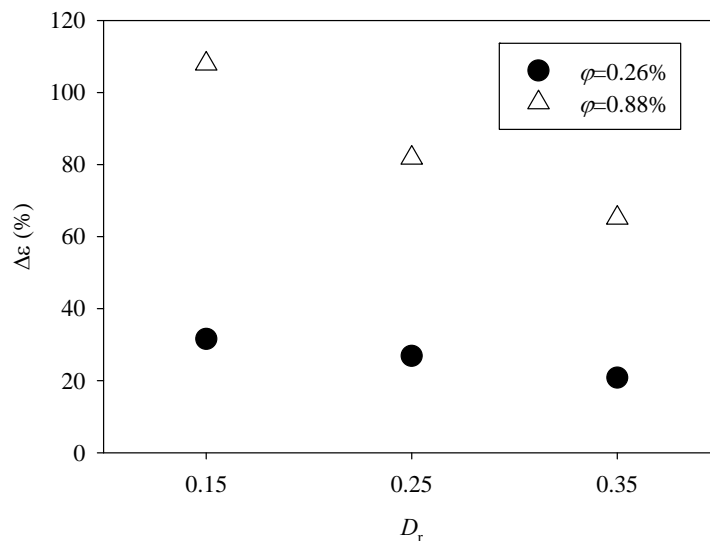


شکل ۸- تأثیر تراکم پوشش گیاهی بر ضریب اختلاط عرضی در سیلابدشت در اعماق نسبی مختلف
 Figure 8- Effect of vegetation density on the transverse mixing coefficient in the floodplain for different flow relative depths

پخش شده و حداکثر غلظت ردیاب کاهش می‌یابد. از طرفی به علت جریان‌های ثانویه قوی و وضعیت غیرماندگار گردابه‌ها که در کانال‌های مرکب اتفاق می‌افتد، ابر آلودگی دارای رفتار پریودیک است و به تناوب در راستای عرضی جابجا می‌شود. این رفتار باعث می‌شود که چولگی نمودار توزیع عرضی غلظت در برخی موارد قابل توجه باشد. جریان‌های ثانویه در کانال اصلی شدیدتر بوده و رفتار تناوبی ابر آلودگی هم بیشتر در کانال اصلی مشاهده می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی ضریب اختلاط عرضی در آبراهه‌های با مقطع مرکب و پوشش گیاهی غیرمستغرق در سیلابدشت پرداخته شد. آزمایش‌ها در یک فلوم نسبتاً طولانی و با تزریق ردیاب در بالادست و اندازه‌گیری غلظت آن در سه ایستگاه مختلف در پایین‌دست انجام شدند. نتایج نشان داد که بطور کلی با حرکت به سمت پایین‌دست، ابر آلودگی در راستای عرضی جریان



شکل ۹- تأثیر تراکم پوشش گیاهی بر ضریب اختلاط عرضی در کانال اصلی در اعماق نسبی مختلف
 Figure 9- Effect of vegetation density on the transverse mixing coefficient in the main channel for different flow relative depths

ضریب اختلاط عرضی در عرض مقطع مرکب اذعان داشته‌اند. برای هر سه عمق نسبی مورد بررسی در تحقیق حاضر، با افزایش تراکم پوشش گیاهی بر روی سیلابدشت، مقدار بدون بعد ضریب اختلاط عرضی ($\epsilon_t/U_* H_i$) هم در کانال اصلی و هم در سیلابدشت افزایش می‌یابد که با مشاهدات ژانگ و همکاران (۲۰) مطابقت دارد. در تراکم ۰/۸۸ درصد نسبت به آزمایش بدون پوشش گیاهی، مقدار پارامتر $\epsilon_t/U_* H_i$ در سیلابدشت ۷۵ درصد افزایش یافته است که نشان‌دهنده تأثیر زیاد پوشش گیاهی بر ضریب اختلاط عرضی در مقاطع مرکب می‌باشد.

متماثل شدن ابر آلودگی به سمت کناره‌های کانال در مقاطع مرکب پیش از این توسط محققینی مانند لین و شیونو (۷)، شیونو و فنگ (۱۲) و شیونو و همکاران (۱۳) مشاهده شده بود. با افزایش عمق نسبی از ۰/۱۵ تا ۰/۳۵، ضریب اختلاط عرضی در کانال اصلی و در سیلابدشت افزایش می‌یابد. موقعیت تزریق ردیاب نیز بر ضرایب پخش آلودگی تأثیرگذار است. نتایج نشان داد که مقادیر ضرایب اختلاط عرضی در کانال اصلی و سیلابدشت با یکدیگر متفاوت می‌باشند. مقدار این ضریب در کانال اصلی همواره از سیلابدشت بیشتر می‌باشد. زنگ و همکاران (۱۹) نیز به تغییرات

فهرست نمادها

نماد	شرح
D_r	عمق نسبی
FP	نماد سیلابدشت
LT^2	شتاب ثقل
L	H عمق جریان در کانال اصلی
L	h عمق لبریزی
L	H_i عمق موضعی جریان در سیلابدشت یا کانال اصلی
MC	نماد کانال اصلی
L	R شعاع هیدرولیکی
LT^{-1}	U_* سرعت برشی
LT^{-1}	U_{*i} سرعت برشی موضعی در سیلابدشت یا کانال اصلی
$L^2 T^{-1}$	ϵ_t ضریب اختلاط عرضی
ϕ	تراکم پوشش گیاهی (مساحت پلان پوشش گیاهی در واحد سطح کف کانال)

- 1- Bencala K., and Walters R.A. 1983. Simulation of solute transport in a mountain pool-and-riffle stream: A transient storage model. *Water Resources Research*, 19(3): 718-724.
- 2- Bousmar D. 2002. Flow modeling in compound channels: momentum transfer between main channel and prismatic or non-prismatic floodplains. PhD thesis, Université Catholique de Louvain.
- 3- Chambers P.A., and Prepas E. 1994. Nutrient dynamics in riverbeds: the impact of sewage effluent and aquatic macrophytes. *Water Research*, 28:453-464.
- 4- Chatila G. 1997. Modeling of pollutant transport in compound open channels. PhD Dissertation. Ontario, Canada: University of Ottawa.
- 5- Choi S., and Lee J. 2012. Impact of vegetation on contaminant transport in partly-vegetated open-channel flows. Proceedings of the 9th International Symposium on Ecohydraulics. 17th to 21st September, Vienna, Austria
- 6- Kadlec R.H., and Knight R.L. 1996. *Treatment Wetlands*. CRC Press Boca Raton, Florida. 893p.
- 7- Lin B. and Shiono K. 1995. Numerical modelling of solute transport in compound channel flows. *Journal of Hydraulic Research*, 33(6): 773-788.
- 8- Musleh F.A., and Cruise J.F. 2007. Functional relationships of resistance in wide flood plains with rigid unsubmerged vegetation. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 132(2): 163-171.
- 9- Nepf H. 1999. Drag, turbulence, and diffusion in flow through emergent vegetation, *Water Resources Research*, 35(2): 479-489.
- 10- Nordin C.F., and Troutman B.M. 1980. Longitudinal dispersion in rivers: The persistence of skewness in observed data. *Water Resources Research*, 16(1): 123-128.
- 11- Rutherford J.C. 1994. River mixing. New York: John Wiley & Sons, pp. 347.
- 12- Shiono K., and Feng T. 2003. Turbulence Measurements of Dye Concentration and Effects of Secondary Flow on Distribution in Open Channel Flows. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 129(5): 373-384.
- 13- Shiono K., Scott C.F. and Kearney D. 2003. Predictions of solute transport in a compound channel using turbulence models, *Journal of Hydraulic Research*, 41(3): 247-258.
- 14- Shirazi P., Heidarpour M. and Lendi I. 2009. Study on the effect of vegetation density on lateral mixing in a laboratory flume. Proceedings of the 8th Iranian Hydraulic Conference, December 15-17, University of Tehran, Tehran, Iran. (In Persian)
- 15- Shoaee F., and Jamali M.M. 2009. Experimental investigation of lateral mixing in low density vegetation, Proceedings of the 5th national congress on civil engineering, May 8-10, Ferdowsi University, Mashhad, Iran. (In Persian)
- 16- Wang H., Yang K., Cao S., and Liu X. 2007. Computation of momentum transfer coefficient and conveyance capacity in compound channels. *Journal of Hydrodynamics Ser.B*, 19(2): 225-229.
- 17- Windham L., Weis J.S., and Weis P. 2003. Uptake and distribution of metals in two dominant salt marsh macrophytes. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 56: 63-72.
- 18- Yang K., Cao S., and Knight D.W. 2007. Flow patterns in compound channels with vegetated floodplains. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 133(2): 148-159.
- 19- Zeng Y.H., Huai W.X., and Guymier I. 2008. Transverse mixing in a trapezoidal compound open channel. *Journal of Hydrodynamics, Series B* (20): 645-649.
- 20- Zhang M.L., Li C.W., and Shen Y.M. 2010. A 3D non-linear k-e turbulent model for prediction of flow and mass transport in channel with vegetation. *Applied Mathematical Modelling*, 34: 1021-1031.

Investigating the Lateral Mixing Coefficient in a Compound Channel with Emergent Vegetation over the Floodplain

H. Hamidifar^{1*} - M.H. Omid² - M. Bahrami³ - M.J. Amiri⁴

Received: 28-10-2014

Accepted: 07-09-2015

Introduction: Water quality control is very important for people, animals and plants. Predicting the spread of contaminants is important for managing and protecting rivers and streams to the balance of the ecosystem. Pollutants are introduced into waterways, though a variety of sources such as point and non-point sources. Under steady state conditions, where longitudinal mixing is not significant, studying the lateral mixing is essential in evaluating the influence of pollutants on water quality. Lateral or transverse mixing is the hydraulic process by which a plume of contaminant spreads laterally and dilutes. In water quality management, the transverse mixing is more significant than either vertical or longitudinal dispersion, especially, when dealing with the release of wastes from point sources. Hence, a wide range of field, laboratory and numerical modelling approaches, including laboratory and field measurements, and analytical and numerical investigations have been developed, to quantify the lateral mixing coefficient. However, most of the researchers have ignored the effects of vegetation on the lateral mixing process in their studies. Many studies have shown that the flow characteristics through vegetation are different from those in non-vegetated waterways. For example, laboratory studies have revealed that flow velocity and large-scale turbulence tend to be greatly decreased within a plant canopy, because the resistance to flow by the vegetation. Also, vegetation affects the transport of dissolved and particulate material, such as sediment, nutrients and pollutants. In this study, the effect of the floodplain vegetation on lateral mixing coefficient in compound channels is investigated experimentally. Also, a comparison is made between the results of the present study with those obtained by previous researchers.

Materials and Methods: Experiments were carried out in a laboratory flume 18m long, 0.9m wide and 0.6m high with an asymmetric compound channel section. Three different densities of cylindrical PVC elements of 1 cm diameter were used in addition to the case without cylinders. Three-dimensional flow velocity measurements were taken using a down-looking four beam Acoustic Doppler Velcimeter (ADV). A highly concentrated solution ($C_0=10$ g/L) of red dye ($KMnO_4$, Potassium permanganate) was injected as a tracer sufficiently far downstream of the beginning of the flume such that the flow was fully developed determined by measuring velocity profiles. Variations of tracer concentration at three locations 4.00, 6.44 and 8.88 m downstream of the injection point were determined using image processing technique. In this technique, digital cameras are used at specified cross sections to capture the pixel intensity before and during the passage of the dye cloud. Using the Beer-Lambert Law, the pixel intensity is related to the dye concentration after a simple calibration. Afterward, the images could be used as input files for MATLAB's Image Processing Toolbox.

Results and Discussion: The results showed that due to the strong secondary currents and unstable vortexes in the compound channel, the tracer cloud is periodic. The transverse mixing coefficient in the main channel is also always greater than that in the floodplain and its value increases with relative depth. Another factor that was found to affect the lateral mixing coefficient was the vegetation density. The non- dimensioned transverse mixing coefficient increases with vegetation density in the main channel as well as the floodplain. As vegetation density increases from 0.26 to 0.88%, the non- dimensioned transverse mixing coefficient increased up to 40% of the flow relative depth of 0.15. For low density vegetation (0.26%), the lateral mixing coefficient in both the main channel and floodplain was increase upto 30%. Also, for the vegetation density of 0.88%, the lateral mixing coefficient increases up to 80 and 107% for the floodplain and main channel, respectively. As the flow relative depth increase, the effect of the vegetation on the transverse mixing coefficient decreases on both the main channel and floodplain.

Conclusion: It can be concluded that floodplain vegetation affects the transverse mixing coefficient in the main channel and floodplain, significantly. Also, the flow relative depth and vegetation density are two

1-Assistant Professor, Water Engineering Department, Shiraz University

(*-Corresponding Author Email: hamidifar@shirazu.ac.ir)

2-Professor, Irrigation and Reclamation Engineering Department, University of Tehran

3, 4- Assistant Professors, Water Engineering Department, Fasa University

important factors that control the mixing process in compound channels. The results of the present study were in good agreement with those obtained by Lin and Shiono (1995), Siono and Feng (2003), Shiono et al. (2003), Zeng et al. (2008) and Zhang et al. (2010). More researches are needed to extend the findings of the present study to the field applications.

Keywords: Contaminant transport, Compound channel, Lateral mixing coefficient, Vegetation