

Effects of Vegetation Arrangement and Floodplain-main Channel Interaction on the Longitudinal Dispersion Coefficient in Compound Channels

HOSSEIN HAMIDIFAR^{1*}, MOHAMMAD HOSSEIN OMID²

1. Water Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

2. Department of Irrigation and Reclamation Eng., Campus of Agriculture and Natural Resources, College of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: July. 30, 2019- Revised: Sep. 23, 2019- Accepted: Sep. 30, 2019)

ABSTRACT

Several factors affecting pollutant transport in rivers. Among those, vegetation is less studied by researchers. Due to the appropriate conditions in floodplains, such as adequate moisture and fertile sediments, it is possible to develop and grow different types of vegetation in these areas. Depending on the type of vegetation, their effect on the flow and subsequently on mass transfer is different. In this paper, the effects of flow depth, vegetation arrangement, and the interaction between the floodplain and the main channel on the longitudinal dispersion coefficient, K , in a compound channel has been studied. The results show that K is greater in the main channel rather than the floodplain. In addition, the interaction of the main channel and floodplain increases the K values up to 30 and 88% for non-vegetated and vegetated conditions, respectively, which are statistically significant. Similarly, the effect of vegetation arrangement on the K values are statistically significant, and K/U_*H_i is greater for the staggered arrangement rather than tandem arrangement.

Keywords: Floodplain, Vegetation, Dispersion coefficient, Pollution, Statistical analysis.

* Corresponding Author's Email: hamidifar@shirazu.ac.ir

تأثیر چیدمان پوشش گیاهی و اندرکنش کانال اصلی و سیلابدشت بر تغییرات ضریب انتشار طولی در کانال‌های مرکب

حسین حمیدی فر^{۱*}، محمدحسین امید^۲

۱. بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
 ۲. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۵/۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۷/۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۷/۸)

چکیده

عوامل زیادی در فرآیند انتقال آلاینده‌ها در رودخانه‌ها تأثیرگذار هستند. از بین این پارامترها، پوشش گیاهی کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. به دلیل شرایط مناسب در سیلابدشت‌ها از جمله رطوبت کافی و رسوبات حاصلخیز، امکان توسعه و رشد انواع مختلفی از پوشش‌های گیاهی در این مناطق وجود دارد که با توجه به نوع پوشش، اثرگذاری آن‌ها بر انتقال جرم متفاوت است. در این پژوهش به بررسی آزمایشگاهی تأثیر عمق جریان، چیدمان پوشش گیاهی و همچنین اندرکنش جریان بین کانال اصلی و سیلابدشت بر ضریب انتشار طولی، K ، در یک کانال مرکب پرداخته شده است. نتایج حاکی از آن است که مقدار ضریب K در کانال اصلی از مقدار مربوطه روی سیلابدشت بزرگتر است. به طور کلی، با افزایش عمق نسبی از ۰/۱۵ به ۰/۳۵، ضریب انتشار طولی نیز روند افزایشی را دنبال می‌کند. همچنین، اندرکنش جریان بین کانال اصلی و سیلابدشت، ضریب انتشار طولی را در حالت بدون پوشش گیاهی تا ۳۰٪ و در حالت با پوشش گیاهی تا ۸۸٪ افزایش می‌دهد که آنالیزهای آماری نیز حاکی از معنی‌دار بودن این تفاوت‌هاست. همچنین تأثیر چیدمان پوشش گیاهی بر ضریب انتشار طولی در سیلابدشت و کانال اصلی معنی‌دار است. مقدار پارامتر K/U^*H_i در چیدمان یک در میان نسبت به چیدمان ردیفی بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: سیلابدشت، پوشش گیاهی، ضریب انتشار، آلودگی، آنالیز آماری.

مقدمه

انتقال آلاینده‌ها در آبراه‌ها، مانند مدل‌های جابجایی-پخش، مدل‌های ذخیره موقت و مدل‌های نواحی ساکن ضرورت دارد. در اغلب موارد، این ضرایب بر اساس روابط تجربی و یا آزمایش ردیابی تعیین می‌شوند. بررسی‌ها نشان داده است که روابط تجربی دارای خطای زیادی در برآورد این ضرایب هستند (Rutherford, 1994). روش‌های مبتنی بر تزریق ردیاب نیز در عین حال که نتایج نسبتاً دقیقی ارائه می‌کنند اما نیازمند صرف هزینه، زمان و نیروی انسانی زیادی است و صرفاً برای همان بازه‌ای که آزمایش در آن انجام شده است معتبر بوده و با تغییر شرایط جریان و یا ریخت‌شناسی آبراه، اعتبار نتایج آن کاهش می‌یابد. با این تفاسیر در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی که تا حدی کمبودهای سایر روش‌های ذکر شده را پوشش می‌دهند به عنوان یک روش مقرون‌به‌صرفه و نسبتاً دقیق برای تعیین ضرایب پخش و انتشار آلودگی در آبراه‌ها توسط پژوهشگران دنبال شده است.

با توسعه شهرنشینی و تسریع روند صنعتی شدن جوامع بشری و به دنبال آن افزایش میزان محصولات تولید شده به وسیله صنایع، مشکلات بسیار جدی مرتبط با کیفیت آب رودخانه‌ها، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب مورد نیاز بخش‌های مختلف، به‌وجود آمده است و عملاً بسیاری از رودخانه‌ها به مجرای برای انتقال فاضلاب تبدیل شده‌اند. یکی از موضوعات مهم در مباحث مدیریت کیفی منابع آب سطحی آگاهی از چگونگی پخش و انتقال آلاینده‌ها در رودخانه‌ها می‌باشد. با وجود آن که تا کنون حل تحلیلی برای معادله‌ی جابجایی-پخش برای یک آبراه طبیعی با شرایط مرزی دلخواه ارائه نشده است (Chatila and Townsend, 1998)، راه‌حلی برای برخی مسائل با شرایط ایده‌آل ارائه شده‌اند که می‌توان از آن‌ها برای به‌دست آوردن پاسخ‌های تقریبی استفاده کرد. تعیین ضرایب پخش آلاینده‌ها برای بکارگیری بسیاری از مدل‌های پخش و

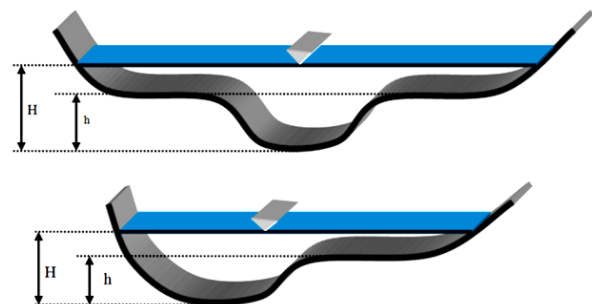
فرآیند انتشار طولی در رودخانه‌ها بسیار با اهمیت است. با استفاده از آزمایش تزیق ردياب، (Ahsan, 2008) چندین رابطه تجربی ارائه شده برای تعیین ضریب K را مورد مقایسه قرار داد و نتیجه گرفت که رابطه ارائه شده توسط (Deng *et al.*, 2001) نتیجه بهتری به دست می‌دهد.

با ارائه یک رابطه تجربی و مقایسه آن با برخی روابط ارائه شده از سوی محققین مختلف، (Jael *et al.*, 2008) گزارش دادند که رابطه پیشنهادی از دقت بالاتری برخوردار است. در تحقیقی که توسط (Kim, 2012) در مورد ضریب انتشار طولی در رودخانه‌ها صورت گرفت، استفاده از روش ADCP (سرعت‌سنجی در شرایط میدانی) به عنوان یک رویکرد قابل اطمینان در برآورد ضریب K پیشنهاد شده است.

بررسی انتقال آلودگی در یک مقطع مرکب با استفاده از مدل‌های خطی و غیرخطی $k-\varepsilon$ توسط (Lin and Shiono, 1995) انجام شد. این محققین نتیجه گرفتند که توزیع غلظت در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن جریان‌های ثانویه بسیار متفاوت است. همچنین (Pourmoghadam, 2008) نتیجه گرفت با افزایش زبری بستر، زاویه پخشیدگی افزایش و در نتیجه طول اختلاط کامل کاهش می‌یابد. با مقایسه مدل‌های مختلف برآورد ضریب انتشار طولی، (Hamidifar *et al.*, 2015) آلاینده‌ها نتیجه گرفتند که مدل ارائه شده توسط (Elder, 1959) نتایج بهتری در مقایسه با سایر مدل‌ها به دست می‌دهد. فرزادخو و همکاران (۱۳۹۶) تأثیر دو ردیف درخت کاشته شده روی سیلابدشت روی ضریب انتشار طولی توسط (Farzadkhoo *et al.*, 2017)، این محققین با مقایسه نتایج آزمایشگاهی خود با نتایج حاصل از مدل‌های تجربی موجود گزارش کردند که مدل‌های (Elder, 1959) و (Deng *et al.*, 2001) در حالت دو ردیف درخت روی سیلابدشت عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها دارند. همچنین (Farzadkhoo *et al.*, 2018a) مشاهده کردند که در یک عمق نسبی ثابت ضریب انتشار طولی در چیدمان تکه‌ای پوشش گیاهی بزرگتر از مقدار متناظر در چیدمان ردیفی است. تأثیر پوشش گیاهی سیلابدشت بر انتشار طولی در آبراهه‌های مرکب پیچانرودی توسط (Farzadkhoo *et al.*, 2018b) بررسی شد. این محققین نتیجه گرفتند که در حضور پوشش گیاهی در مقایسه با حالت بدون پوشش گیاهی، مدت زمان انتقال آلودگی حدود ۲۰٪ کمتر می‌شود.

با توجه به موارد فوق، چنین به نظر می‌رسد که جنبه‌های زیادی از چگونگی تأثیر پوشش گیاهی بر انتقال آلاینده‌ها در مقاطع مرکب همچنان ناشناخته باقی مانده است. هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی تغییرات ضریب انتشار طولی در عمق‌های مختلف جریان در یک آبراهه مرکب با سیلابدشت پوشیده از گیاه

در مواقع سیلابی، جریان از مقطع معمول رودخانه خارج شده و وارد زمین‌های مجاور شده، که این زمین‌ها اصطلاحاً سیلابدشت نامیده می‌شوند. این پدیده منجر به وقوع نوع خاصی از جریان می‌شود که به آن جریان در کانال‌های مرکب گفته می‌شود. کانال‌های مرکب شامل دو بخش کانال اصلی و سیلابدشت است. سیلابدشت که دارای تراز کف بالاتر و ضریب زبری بیشتری نسبت به کانال اصلی است در شرایط معمول در انتقال جریان نقشی ندارد بلکه در شرایط سیلابی وارد عمل شده و در اغلب موارد به دلیل حاصلخیز بودن و رطوبت کافی، انواع پوشش‌های گیاهی روی سطح آن استقرار می‌یابد. حضور پوشش گیاهی با تغییر در مقاومت جریان و همچنین ایجاد نواحی ماندابی، تأثیر زیادی روی انتقال آلاینده‌ها در مقاطع مرکب می‌گذارد. افزایش قابل توجه محیط خیس شده پس از ورود جریان به سیلابدشت و اختلاف عمق جریان در کانال اصلی و روی سیلابدشت، منجر به ایجاد گردابه‌های قوی در مرز مشترک این دو قسمت می‌شود (Hamidifar *et al.*, 2013). این گردابه‌ها نیز با تأثیرگذاری بر توزیع سرعت و همچنین تنش برشی اضافی که به جریان تحمیل می‌کنند، ساز و کار انتقال آلاینده‌ها در مقاطع مرکب را پیچیده‌تر می‌نمایند.



شکل ۱- مقطع عرضی کانال مرکب (بالا: کانال مرکب متقارن، پایین: کانال مرکب نامتقارن)

بررسی‌ها نشان می‌دهد که گیاهان می‌توانند با مصرف مواد مغذی موجود در آب، تولید اکسیژن و جذب و ذخیره فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها در ریشه و شاخساره، کیفیت آب را بهبود بخشیده و باعث کاهش غلظت فسفر و نیتروژن شوند (Windham *et al.*, 2003). صرف نظر از بهبود کیفیت آب از طریق حذف مواد آلاینده از جریان، گیاهان آبری با ایجاد یک محیط آبی غیرهمگن منجر به بهبود تنوع زیستی در آبراهه و همچنین افزایش پایداری مکانیکی آبراهه و سواحل می‌شوند (Crowder and Diplas, 2002; Simon and Collison, 2002).

اگر چه انتقال آلاینده یک پدیده چند-بعدی است، می‌توان فرض کرد که پس از گذشت مدت زمان مشخصی به یک پدیده دو-بعدی و در ادامه یک-بعدی تبدیل می‌شود. بنابراین نقش

است. علاوه بر این، تأثیر اندرکنش جریان بین کانال اصلی و سیلابدشت و همچنین تأثیر چیدمان پوشش گیاهی بر ضریب انتشار طولی نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

جهت حصول به اهداف این تحقیق که بررسی انتقال آلاینده در مقاطع مرکب تحت تأثیر پوشش گیاهی سیلابدشت می‌باشد، به یک فلوم آزمایشگاهی نسبتاً طولانی و با عرض مناسب نیاز می‌باشد. بدین منظور از یک فلوم مستطیلی از جنس پلاستیک فشرده شفاف که دارای ۱۸ متر طول، ۰/۹ متر عرض، و ۰/۶ متر ارتفاع می‌باشد، استفاده شد. درون کانال یک پله به ارتفاع ۰/۳ متر و عرض ۰/۴۵ متر قرار داده شد تا مقطع کانال به مقطع مرکب نامتقارن تبدیل شود. شیب کانال ثابت و برابر ۰/۰۰۸۸/۰ اندازه‌گیری شد. دو دستگاه پمپ گریز از مرکز با دبی اسمی ۱۵۰ (۷۵×۲) لیتر بر ثانیه وظیفه‌ی تأمین جریان مورد نظر را بر عهده دارند. با نصب شیر فلکه‌های تنظیم بر روی لوله‌ی رانش پمپ‌ها، امکان تنظیم دبی جریان فراهم گردید. لازم به ذکر است که گردش آب در این مجموعه به صورت چرخشی می‌باشد. شدت جریان عبوری از فلوم به وسیله یک سرریز مثلثی لبه‌تیز واسنجی شده که در ابتدای کانال قرار دارد، اندازه‌گیری می‌شد. به منظور برقراری جریان یکنواخت در آزمایش‌های این تحقیق از یک دریچه پروانه‌ای انتهایی استفاده گردید. همچنین به منظور حذف گردابه‌های بزرگ ناشی از ریزش آب از سرریز اندازه‌گیری جریان، از دو ردیف شبکه‌ی فلزی مشبک که در ابتدای فلوم تعبیه شده‌اند استفاده گردید. اندازه‌گیری عمق جریان با استفاده از یک عمق-سنج با دقت $\pm 0/1$ میلی‌متر انجام شد. این عمق‌سنج بر روی یک ارابه نصب گردیده است که قابلیت جابجایی در سه راستای طولی، عرضی و عمقی را دارد. استوانه‌های صلب از جنس پلاستیک با قطر خارجی ده میلی‌متر برای مدل‌سازی پوشش گیاهی بکار گرفته شدند. چیدمان در نظر گرفته شده برای پوشش‌های گیاهی به دو صورت یک‌درمیان (متناوب) و ردیفی می‌باشد. فواصل بین المان‌های پوشش گیاهی ۱۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. بر این اساس تراکم موردنظر برابر $0/88\%$ می‌باشد که معادل با ۱۱۱ المان در مترمربع است. میزان تراکم انتخاب شده با مقادیر به‌کار رفته توسط محققین پیشین از قبیل *Nepf et al. (1997)* همخوانی داشته و به‌خوبی می‌تواند دامنه‌ی وسیعی از تراکم پوشش گیاهی در طبیعت را شامل شود. از پرمنگنات پتاسیم به عنوان ردیاب استفاده شد. تغییرات غلظت نیز با استفاده از روش پردازش تصویر در سه ایستگاه A، B و C که به ترتیب در فواصل ۴/۰، ۶/۴۴ و ۸/۸۸ متری از محل تزریق قرار داشتند، ثبت

گردید. توضیحات کامل در خصوص چگونگی استفاده از روش پردازش تصویر در تعیین غلظت توسط *Hamidifar et al. (2016)* ارائه شده است.

به منظور بررسی اثر اندرکنش بین کانال اصلی و سیلابدشت بر شرایط جریان و انتقال آلودگی، پس از انجام آزمایش در کانال با مقطع مرکب، با قرار دادن صفحات پی‌وی‌سی در مرز کانال اصلی و سیلابدشت، مقطع مرکب به دو قسمت مجزا تقسیم و تزریق ردیاب نیز در این حالت انجام شد. امروزه نرم-افزارهای مختلف آماری موجودند که قادرند انواع تحلیل‌های آماری را بر روی داده‌های مشاهده‌ای انجام دهند که از جمله آن‌ها می‌توان به نرم‌افزارهای SPSS، MINITAB، SAS، SIGMAPLOT و M-STATC اشاره کرد. در این تحقیق به جهت دقت زیاد در تجزیه و تحلیل داده‌ها، در دسترس بودن و سهولت کار با نرم‌افزارهای SIGMAPLOT و M-STATC از این دو نرم-افزار به منظور انجام آنالیز آماری بر روی نتایج اندازه‌گیری شده استفاده گردید.

نتایج و بحث

به منظور تعیین ضریب انتشار طولی، تغییرات زمانی غلظت ردیاب در چند موقعیت مختلف اندازه‌گیری و بر اساس آن، منحنی غلظت ردیاب در برابر زمان برای هر یک از آزمایش‌ها به‌دست آمد. سپس با استفاده از روش تبادل ممان استاندارد و پس از تقریب منحنی تغییرات غلظت در برابر زمان با منحنی زنگوله‌ای، مقدار ضریب انتشار طولی محاسبه گردید. با توجه به تفاوت بودن شرایط جریان در کانال اصلی و سیلابدشت، غلظت ردیاب برای سیلابدشت و کانال اصلی به صورت جداگانه محاسبه شده و با میانگین‌گیری از مقادیر بدست آمده، ضریب انتشار طولی کل مقطع مرکب (K) در هر آزمایش ارائه گردیده است تا به عنوان معیاری برای مقایسه بین آزمایش‌های با شرایط مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری ضریب انتشار طولی در کانال اصلی و بر روی سیلابدشت در هر کدام از سه ایستگاه اندازه‌گیری A، B و C برای آزمایش‌های بدون پوشش گیاهی در جدول (۱) ارائه شده است. با توجه به جدول (۱) مشاهده می‌شود که ضریب انتشار طولی در راستای پایین‌دست روند افزایشی دارد. همچنین مقدار ضریب K در کانال اصلی از مقدار مربوطه بر روی سیلابدشت بزرگتر است. بررسی مقادیر میانگین ضریب انتشار طولی برای مقطع مرکب نیز نشان می‌دهد که بطور کلی، با افزایش عمق نسبی از ۰/۱۵ به ۰/۳۵، ضریب انتشار طولی نیز روند افزایشی را دنبال می‌کند. به‌منظور مقایسه بهتر تغییرات

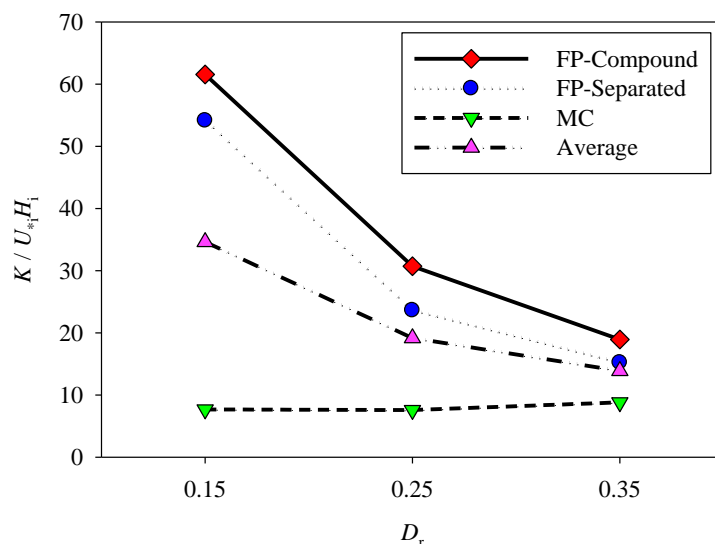
جداکننده از یکدیگر مجزا شده‌اند در جدول (۲) آورده شده‌اند که به منظور مقایسه با حالت مقطع مرکب، تغییرات پارامتر K/U_*H_i مربوط به آن در شکل (۲) نشان داده شده است. با نگاهی به شکل (۲) این نکته دریافت می‌شود که روند تغییرات پارامتر K/U_*H_i بر روی سیلابدشت در حالتی که سیلابدشت و کانال اصلی از یکدیگر مجزا شده‌اند، مشابه تغییرات مربوط به K/U_*H_i در سیلابدشت در حالت مرکب بودن کانال است؛ اما مقدار K/U_*H_i در حالت مرکب بودن مقطع بزرگتر از مقدار متناظر در حالت مقطع تفکیک شده می‌باشد این امر نشان‌دهنده اثرگذار بودن اندرکنش بین سیلابدشت و کانال اصلی بر انتقال آلاینده‌ها در مقاطع مرکب می‌باشد. با توجه به جدول (۱) ملاحظه می‌شود که اندرکنش جریان بین کانال اصلی و سیلابدشت در حالت بدون پوشش گیاهی، ضریب انتشار طولی را تا ۳۰٪ افزایش می‌دهد.

ضریب انتشار طولی در کانال اصلی و دشت سیلابی، تغییرات شکل بدون بعد این پارامتر در شکل (۲) ترسیم شده است. با توجه به این شکل، مشاهده می‌شود با افزایش عمق نسبی مقدار پارامتر K/U_*H_i هم در کانال اصلی و هم در سیلابدشت کاهش می‌یابد. اندیس ۱ نشان‌دهنده آن است که برای تعیین این پارامتر در کانال اصلی و سیلابدشت، بایستی از مقادیر عمق جریان و سرعت برشی مربوطه استفاده کرد.

با میانگین‌گیری از پارامتر K/U_*H_i در کانال اصلی و سیلابدشت، مشاهده می‌شود که با افزایش عمق نسبی، مقدار پارامتر K/U_*H_i مربوط به مقطع مرکب روند کاهشی را دنبال می‌کند. به منظور بررسی تاثیر اندرکنش بین کانال اصلی و دشت سیلابی بر ضریب K در سیلابدشت، مقادیر K مربوط به آزمایش‌هایی که در آنها سیلابدشت و کانال اصلی بوسیله دیواره

جدول ۱- ضریب انتشار طولی (m^2/s) در شرایط بدون حضور پوشش گیاهی

عمق نسبی	دیواره جداکننده	سیلابدشت				کانال اصلی			مقطع مرکب	
		A	B	C	متوسط	A	B	C		
۰/۱۵	با دیواره	۰/۱۰۰۶	۰/۲۰۴۸	۰/۳۶۴۵	۰/۲۲۳۳	۰/۱۶۸۱	۰/۴۶۵۸	۰/۴۷۳۱	۰/۳۶۹۰	۰/۲۹۶۱
۰/۲۵	با دیواره	۰/۱۴۷۲	۰/۲۹۸۷	۰/۴۰۶۸	۰/۲۸۴۲	۰/۱۹۴۸	۰/۵۷۹۱	۰/۵۲۴۸	۰/۴۳۲۹	۰/۳۵۸۶
۰/۳۵	با دیواره	۰/۲۳۵۹	۰/۳۱۲۵	۰/۴۷۸۳	۰/۳۴۸۲	۰/۲۴۴۵	۰/۷۶۰۶	۰/۸۲۳۴	۰/۶۰۹۵	۰/۴۷۸۹
۰/۱۵	بدون دیواره	۰/۱۱۷۷	۰/۱۷۵۱	۰/۲۹۶۲	۰/۱۹۶۴					
۰/۲۵	بدون دیواره	۰/۱۴۰۹	۰/۱۸۴۰	۰/۳۳۰۲	۰/۲۱۸۴					
۰/۳۵	بدون دیواره	۰/۱۶۳۳	۰/۲۸۸۴	۰/۳۸۸۷	۰/۲۸۰۱					



شکل ۲- تغییرات پارامتر K/U_*H_i در اعماق نسبی مختلف بدون حضور پوشش گیاهی

است. همچنین برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون Shapiro-Wilk استفاده گردید. لازم به ذکر است که در صورت نرمال نبودن داده‌ها بایستی از آزمون‌های ناپارامتری از قبیل

از آزمون t جفت شده برای بررسی معنی‌دار بودن تاثیر اندرکنش بین کانال اصلی و سیلابدشت بر ضریب انتشار طولی در سیلابدشت استفاده گردید که نتایج آن در جدول (۲) آورده شده

گیاهی تاثیرگذار است. همچنین با توجه به مقادیر میانگین ذکر شده در جدول (۲) می‌توان گفت که اندرکنش بین کانال اصلی و سیلابدشت منجر به افزایش مقدار ضریب انتشار طولی در سیلابدشت می‌گردد.

Wilcoxon استفاده کرد. با توجه به جدول (۲) مشاهده می‌شود که اختلاف نتایج بین دو حالت مرکب بودن و ساده بودن مقطع در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده و با اطمینان ۹۹ درصد می‌توان گفت که اندرکنش بین کانال اصلی و سیلابدشت بر ضریب انتشار طولی در دو حالت با پوشش گیاهی و بدون پوشش

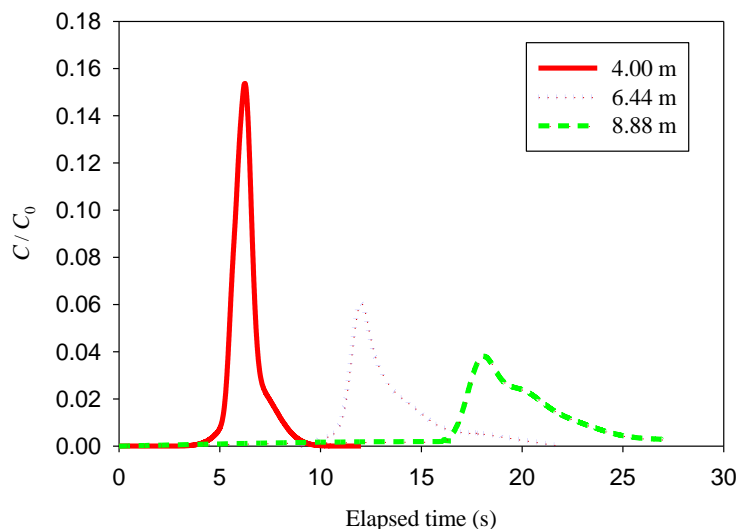
جدول ۲- نتایج آزمون t برای بررسی تاثیر اندرکنش سیلابدشت و کانال اصلی بر انتشار طولی

متغیر	درجه آزادی	میانگین	t	احتمال خطا
ضریب انتشار طولی سیلابدشت بدون دیواره جداکننده	۴۴	۲۲۴/۶۳۷	۴/۱۷	۰/۰۰۰۱۴۱
ضریب انتشار طولی سیلابدشت با دیواره جداکننده	۴۴	۱۶۴/۰۸۴		

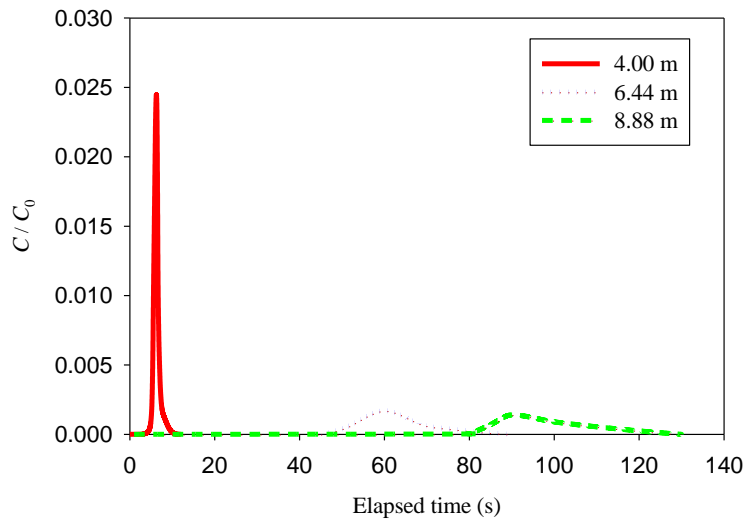
ضریب K هم در کانال اصلی و هم بر روی دشت سیلابی افزایش می‌یابد. با توجه به جدول (۳) ملاحظه می‌شود که اندرکنش جریان بین کانال اصلی و سیلابدشت، ضریب انتشار طولی را در حالت سیلابدشت پوشیده از گیاه تا ۸۸٪ افزایش می‌دهد. مقادیر پارامتر بدون بعد K/U_*H_i بر روی سیلابدشت، در حالتی که کانال اصلی و سیلابدشت به وسیله صفحه جداکننده از یکدیگر جدا شده‌اند (کانال با مقطع ساده) در مقایسه با مرکب بودن مقطع کانال کاهش یافته است (شکل ۵). همچنین در شکل (۵) تغییرات پارامتر بدون بعد K/U_*H_i برای سیلابدشت، کانال اصلی و مقدار متوسط برای مقطع مرکب برای اعماق نسبی مختلف نشان داده است که نشان‌دهنده روند کلی کاهش پارامتر بدون بعد K/U_*H_i در سیلابدشت و افزایش آن در کانال اصلی با افزایش عمق نسبی می‌باشد. لازم به ذکر است که به ازای عمق نسبی برابر ۰/۳۵، مقدار پارامتر بدون بعد K/U_*H_i در کانال اصلی بیشتر از مقدار متناظر در سیلابدشت می‌باشد.

تغییرات غلظت ردیاب در مقابل زمان سپری شده پس از تزریق آلاینده برای آزمایش‌های با پوشش گیاهی با تراکم متوسط (۰/۸۸٪) به ازای اعماق نسبی مختلف در شکل (۳) نشان داده شده است. نکته جالب توجه در شکل (۳) که مربوط به کمترین عمق نسبی در تحقیق حاضر می‌باشد نشان می‌دهد که در مقایسه با آزمایش‌های بدون پوشش گیاهی به علت کاهش سرعت جریان، مدت زمان عبور ابر آلودگی در آخرین ایستگاه اندازه‌گیری (ایستگاه C) بسیار طولانی‌تر شده است. این تأخیر زمانی باعث شده است که حداکثر غلظت ردیاب بر روی دشت سیلابی در مقاطع B و C در مقایسه با مقطع A بسیار کمتر باشد. لازم به ذکر است که با افزایش عمق نسبی و به تبع آن افزایش سرعت جریان بر روی سیلابدشت، این تأخیر زمانی کاهش می‌یابد.

مقادیر ضریب K برای سیلابدشت و کانال اصلی برای آزمایش‌های با پوشش گیاهی با تراکم متوسط در جدول (۳) آورده شده است. مشاهده می‌شود با افزایش عمق نسبی، مقدار



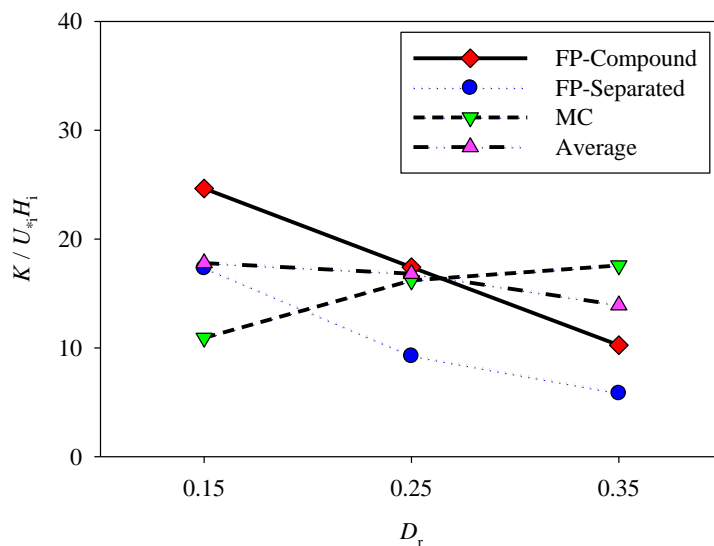
شکل ۳- تغییرات غلظت ردیاب با زمان در کانال اصلی در حضور پوشش گیاهی با تراکم ۰/۸۸٪ و عمق نسبی ۰/۱۵



شکل ۴- تغییرات غلظت ردیاب با زمان در سیلابدشت در حضور پوشش گیاهی با تراکم ۰/۸۸٪ و عمق نسبی ۰/۱۵

جدول ۳- ضریب انتشار طولی (m²/s) در حضور پوشش گیاهی با تراکم ۰/۸۸٪

عمق نسبی	دیواره جداکننده	سیلابدشت				کانال اصلی			مقطع مرکب	
		A	B	C	متوسط	A	B	C		
۰/۱۵	با دیواره	۰/۰۱۳۵۰	۰/۰۰۷۴۶	۰/۰۰۵۸۶	۰/۰۰۸۹۴	۰/۰۳۴۷۳	۰/۰۳۳۸۴	۰/۰۸۸۸۸	۰/۰۵۲۴۹	۰/۰۳۰۷۱
۰/۲۵	با دیواره	۰/۰۰۸۷۶	۰/۰۱۲۷۶	۰/۰۲۶۸۲	۰/۰۱۶۱۱	۰/۰۴۵۱۳	۰/۱۰۲۹۰	۰/۱۲۹۶۶	۰/۰۹۲۵۶	۰/۰۵۴۳۴
۰/۳۵	با دیواره	۰/۰۰۹۵۴	۰/۰۱۴۱۳	۰/۰۳۲۹۴	۰/۰۱۸۸۷	۰/۰۶۷۹۴	۰/۱۳۳۹۰	۰/۱۶۳۱۲	۰/۱۲۱۶۵	۰/۰۷۰۲۶
۰/۱۵	بدون دیواره	۰/۰۰۵۱۴	۰/۰۰۶۶۴	۰/۰۰۷۰۷	۰/۰۰۶۲۸					
۰/۲۵	بدون دیواره	۰/۰۰۷۹۸	۰/۰۰۸۶۰	۰/۰۰۹۱۱	۰/۰۰۸۵۶					
۰/۳۵	بدون دیواره	۰/۰۰۹۴	۰/۰۱۰۶۳	۰/۰۱۲۱۴	۰/۰۱۰۷۲					



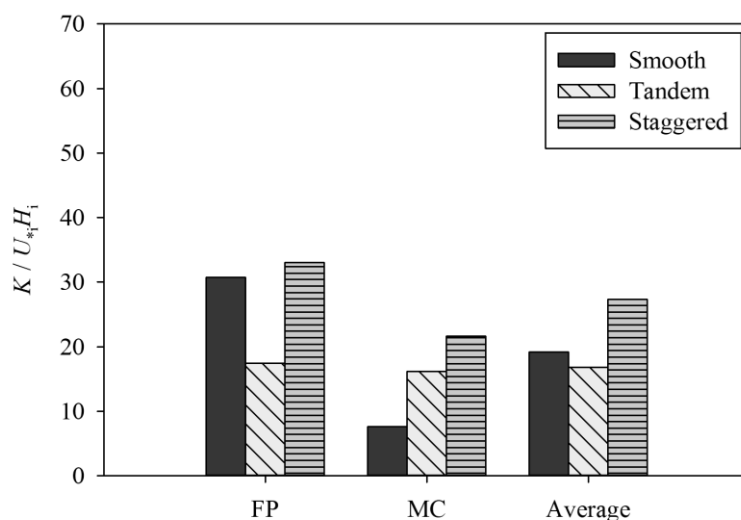
شکل ۵- تغییرات پارامتر K/U_*H_1 در اعماق نسبی مختلف در حضور پوشش گیاهی

است. بطور کلی مقدار پارامتر K/U_*H_1 در چیدمان یک در میان نسبت به چیدمان ردیفی بیشتر می‌باشد. در جدول (۴) نتایج حاصل از آزمون t برای بررسی تاثیر چیدمان پوشش گیاهی آورده

به منظور مقایسه نتایج چیدمان‌های ردیفی و یک در میان، نمودار تغییرات پارامتر K/U_*H_1 به تفکیک سیلابدشت، کانال اصلی و مقدار متوسط مقطع مرکب در شکل (۶) ترسیم شده

کانال اصلی به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی دار است.

شده است. با توجه به این جدول مشاهده می شود که تاثیر چیدمان پوشش گیاهی بر ضریب انتشار طولی در سیلابدشت و



شکل ۶- تأثیر چیدمان پوشش گیاهی بر تغییرات پارامتر $K/U_{*i}H_i$ (تراکم ۰/۸۸٪)

جدول ۴- نتایج آزمون t برای بررسی تاثیر چیدمان پوشش گیاهی بر ضریب انتشار طولی

متغیر	درجه آزادی	میانگین		t		احتمال خطا	
		MC	FP	MC	FP	MC	FP
چیدمان ردیفی	۸	۰/۰۸۷۶۳	۰/۰۱۸۳۸	-۳/۰	-۵/۵۷۷	۰/۰۰۰۵۲۴	۰/۰۲
چیدمان یک در میان	۸	۰/۱۴۹۹	۰/۰۳۱۹۴				

جدول ۵- مقایسه نتایج پژوهش حاضر با برخی از پژوهش های پیشین

NRMSE	مدل
۰/۵۴	Elder (1959)
۷۲۷۳/۳۲	Liu (1977)
۳/۶۷	Fischer <i>et al.</i> (1979)
۲۵۵/۱۹	Seo and Cheong (1998)
۰/۳۰	Iwasa and Aya (1991)
۱۰۲۵/۳۱	Kashefipour and Falconer (2002)

نتیجه گیری

یکی از پارامترهای بسیار مهم در مدلسازی انتقال آلاینده ها در مجاری روباز، ضریب انتشار طولی است. در این پژوهش، تأثیر عوامل عمق جریان و چیدمان پوشش گیاهی بر ضریب انتشار طولی در یک آبراهه مرکب با سیلابدشت پوشیده از گیاه به صورت آزمایشگاهی بررسی شده است. همچنین به دلیل تأثیر مهمی که اندرکنش بین سیلابدشت و کانال اصلی بر هیدرولیک جریان و متعاقب آن بر انتقال آلاینده ها می گذارد، چندین آزمایش نیز با حذف این اندرکنش و مقایسه آن با مقطع مرکب صورت گرفت.

با توجه به اینکه تا کنون مدلی برای محاسبه ضریب انتشار طولی در مقاطع مرکب در حضور پوشش گیاهی ارائه نشده است، تلاشی صورت گرفت تا نتایج مربوط به آزمایش های بدون پوشش گیاهی در پژوهش حاضر با برخی از مدل هایی که توسط محققین پیشین ارائه شده اند صورت پذیرد که نتایج آن در جدول (۵) آورده شده است. در این جدول NRMSE مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده است که از رابطه زیر به دست می آید:

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_{oi} - K_{pi})^2}{n(K_{omax} - K_{omin})}} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در این رابطه، n تعداد داده ها، K_{oi} و K_{pi} به ترتیب مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده ضریب انتشار طولی و K_{omax} و K_{omin} مقادیر بیشینه و کمینه اندازه گیری شده ضریب انتشار طولی می باشد. با توجه به جدول (۵) ملاحظه می شود که مدل پیشنهادی توسط Iwasa and Aya (1991) با حداقل مقدار NRMSE، در محدوده تغییرات پارامترهای تحقیق حاضر، دقت بیشتری در محاسبه ضریب K در کانال های مرکب بدون پوشش گیاهی دارد.

حاکمی از معنی دار بودن این تفاوت است. در نهایت با مقایسه نتایج تحقیق حاضر با برخی مدل‌های پیشین، دقت این مدل‌ها در برآورد ضریب انتشار طولی مورد مقایسه قرار گرفت و مدل Iwasa and Aya (1991) با دارا بودن حداقل مقدار NRMSE دقت بهتری در بین مدل‌های مورد بررسی از خود نشان داد.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول می‌باشد که بدین وسیله از حمایت‌های قطب علمی ارزیابی و بهسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی و آزمایشگاه تحقیقات آب، خاک و هوا دانشگاه تهران تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

REFERENCES

- Ahsan, N. (2008). Estimating the Coefficient of Dispersion for a Natural Stream. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 44:131-135.
- Chatila, L. & Townsend, R. (1998). Modeling of pollutant transport in compound open channels. *Canadian Water Resources Journal*, 23, 259-271.
- Crowder, D. & Diplas, P. (2002). Vorticity and circulation: Spatial metrics for evaluating flow complexity in stream habitats. *Canadian Journal of Fish Aquatic Science*, 59: 633-645.
- Deng, Z., Singh, V. & Bengtsson, L. (2001). Longitudinal dispersion coefficient in straight rivers. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 127(11): 919-927.
- Elder, J.W. (1959). The dispersion of a marked fluid in turbulent shear flow. *Journal of Fluid Mechanics*, 5(4): 544-560.
- Farzadkhoo, M., Keshavarzi, A., Hamidifar, H. & Javan, M. (2018b) A comparative study of longitudinal dispersion models in rigid vegetated compound meandering channels, *Journal of Environmental Management*, 217:78-89
- Farzadkhoo, M., Keshavarzi, A. & Hamidifar, H. (2017). Estimation of Longitudinal Dispersion Coefficient in Compound Channels with Two Rows of Rigid Vegetation (tree) over Floodplain. *Journal of Hydraulics*, 12(1), 85-91. (In Farsi)
- Farzadkhoo, M., Keshavarzi, A., Hamidifar, H., & Ball, J. (2018a). Flow and longitudinal dispersion in channel with partly rigid floodplain vegetation. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management* (pp. 1-12). Thomas Telford Ltd.
- Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J. & Brooks, N.H. (1979). *Mixing in Inland and Coastal Waters*, Academic Press.
- Hamidifar, H., Omid, M.H. & Keshavarzi, A. (2013) Mean Flow and Turbulence in Compound Channels with Vegetated Floodplains, *Journal of Agricultural Engineering Research*. 14(3):51-66 (In Farsi)
- Hamidifar, H., Omid, M.H. & Keshavarzi, A. (2015). Longitudinal dispersion in waterways with vegetated floodplain. *Ecological Engineering*, 84:398-407
- Hamidifar, H., Omid, M.H., Bahrami, M. & Amiri, M. (2016). Application of digital image processing technique for prediction of longitudinal dispersion coefficient in compound channels. *Journal of Water and Soil Conservation*, Vol. 23(4), 281-293. (In Farsi)
- Iwasa, Y. & Aya, S., (1991). Predicting longitudinal dispersion coefficient in open channel flows. In: *Proceeding of International Symposium on Environmental Hydraulic*, Hong Kong, pp. 505-510.
- Jael, A., Mousavi-Jahromi, S.H., Kashefipour, S.M., Soltani-Mohammadi, A. & Ghane, A. (2008). Estimating longitudinal dispersion coefficient in irrigation canals. In: *Second Congress on Irrigation and Drainage Network Management*, 28-30 January, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. (In Farsi)
- Kashefipour, S.M. & Falconer, R.A. (2002). Longitudinal dispersion coefficients in natural channels. *Water Research*. 36: 1596-1608.
- Kim, D. (2012). Assessment of longitudinal dispersion coefficients using Acoustic Doppler Current Profilers in large river. *Journal of Hydro-environment Research*, 6: 29-39.
- Lin, B., & Shiono, K. (1995). Numerical modelling of solute transport in compound channel flows. *Journal of Hydraulic Research*, 33(6): 773-788.
- Liu, H. (1977). Predicting dispersion coefficient of stream. *Journal of Environment Engineering Division*, ASCE, 103(1): 59-69.
- Nepf, H. M., Sullivan, J. A., & Zavistoski, R. A. (1997). A model for diffusion within emergent vegetation. *Limnology and Oceanography*, 42(8), 1735-1745.
- Pourmoghadam, M. (2008). Spreading of nonreactive solutions in a compound channel. M.Sc. Thesis, Hydraulic Structures, Irrigation and Reclamation Engineering Department, University of Tehran.

به طور کلی نتایج نشان داد که مقدار ضریب انتشار طولی در کانال اصلی از مقدار مربوطه بر روی سیلابدشت بزرگ‌تر است. همچنین بررسی مقادیر میانگین ضریب انتشار طولی برای مقطع مرکب نیز نشان می‌دهد که به‌طور کلی، با افزایش عمق نسبی، ضریب انتشار طولی نیز افزایش می‌یابد. بررسی‌های آماری نیز نشان داد که اندرکنش بین سیلابدشت و کانال اصلی بر انتقال آلاینده‌ها در مقاطع مرکب در هر دو حالت با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی دارای تأثیر معنی‌داری است و این اندرکنش منجر به افزایش ضریب انتشار می‌شود. از طرفی، نتایج نشان داد که مقدار پارامتر بدون بعد K/U^*iHi در چیدمان یک در میان نسبت به چیدمان ردیفی پوشش گیاهی بیشتر می‌باشد که آنالیز آماری نیز

(In Farsi)

Rutherford, J.C. (1994). River mixing. New York: John Wiley & Sons, pp. 347.

Seo, I.W. & Cheong, T.S. (1998). Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams. *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(1): 25–32.

Simon, A. & Collison, A.J.C. (2002). Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27: 527–546.

Windham, L., Weis, J.S., & Weis, P. (2003). Uptake and distribution of metals in two dominant salt marsh macrophytes. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 56: 63–72.