



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره چهارم، ۱۳۹۵
<http://jwsc.gau.ac.ir>

کاربرد روش پردازش تصویر دیجیتال در برآورد ضریب انتشار طولی در آبراهه‌های مرکب

* حسین حمیدی فر^۱، محمدحسین امید^۲، محمدجواد امیری^۳ و مهدی بهرامی^۳

^۱ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شیراز، استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، ^۲ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فسا
تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: پیش‌بینی چگونگی پخش آلاینده‌ها به‌منظور محافظت و مدیریت رودخانه‌ها ضرورت دارد و از لحاظ سلامتی انسان و بهداشت عمومی دارای اهمیت است. ضریب انتشار طولی در رودخانه‌ها معمولاً با روش‌های پرهزینه مطالعات میدانی یا فرمول‌های تجربی و راه‌حل‌های تحلیلی محاسبه می‌شود. بررسی‌ها نشان داده است که نتایج این روش‌ها فقط برای بازه‌ای از رودخانه که این روش‌ها در آن توسعه داده شده‌اند و یا شرایط جریان و هندسه مقطع که فرمول برای آن استخراج شده است معتبر می‌باشد. در این پژوهش کاربرد روش پردازش تصاویر دیجیتال به‌عنوان یک روش نوین در برآورد ضریب انتشار طولی آلاینده‌ها به‌صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها: بررسی‌ها در یک کانال آزمایشگاهی به طول ۱۸، عرض ۰/۹ و ارتفاع ۰/۶ متر با دیواره‌های از جنس پلکسی‌گلاس و سیستم بازچرخانی جریان انجام شدند. مقطع کانال از نوع مرکب بوده و عرض کانال اصلی برابر ۰/۴۵ متر و عمق لبریزی برای ۰/۱۴ متر در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری سرعت به‌وسیله دستگاه سرعت‌سنج سه‌بعدی صوتی انجام شد. سه ردیاب مختلف شامل محلول پودر رنگ، محلول رنگ خوراکی و محلول پرمنگنات پتاسیم بررسی شدند و بر اساس معیارهای موجود، محلول پرمنگنات پتاسیم به‌عنوان مناسب‌ترین ردیاب انتخاب شد. تزریق ردیاب به‌صورت عرضی - خطی انجام شد. با تصویربرداری از ابر آلودگی در سه مقطع مختلف در پایین‌دست محل تزریق و با استفاده از قانون جذب بیر-لامبرت، غلظت ردیاب متوسط‌گیری شده در عمق متناسب با شدت نور تصویر ثبت گردید و بر اساس آن ضریب انتشار طولی به کمک روش تبادل ممان استاندارد محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که روش پردازش تصویر دیجیتال می‌تواند بدون نیاز به نمونه‌گیری مستقیم، به‌عنوان یک روش با دقت بالا و مقرون به‌صرفه در مطالعات مربوط به انتشار آلودگی به‌ویژه در شرایط آزمایشگاهی مورد استفاده پژوهش‌گران قرار گیرد. از آنجا که آزمایش‌های پژوهش حاضر در یک کانال مرکب انجام شدند، تغییرات ضریب انتشار طولی نیز به‌ازای سه عمق نسبی ۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵ بررسی شد.

* مسئول مکاتبه: hamidifar@shirazu.ac.ir

نتیجه‌گیری: پس از انجام آنالیز ابعادی و تعیین پارامترهای بدون بعد مؤثر بر پدیده انتشار طولی در یک کانال مرکب، نتایج نشان داد که با افزایش عمق نسبی از ۰/۱۵ تا ۰/۳۵، مقدار بدون بعد ضریب انتشار طولی در کانال اصلی حدود ۶۵ درصد و در سیلابدشت حدود ۵۶ درصد افزایش می‌یابد. در نهایت، رابطه‌ای به‌منظور برآورد مقدار ضریب انتشار طولی در کانال‌های با مقطع مرکب ارائه گردید. پژوهش‌های بیشتری بایستی صورت پذیرد تا بتوان از قابلیت‌های این روش علاوه بر بررسی‌های آزمایشگاهی در مطالعات میدانی نیز بهره جست.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، ضریب انتشار طولی، کانال مرکب، کیفیت آب، ردیاب

مقدمه

آزمایش‌های میدانی و تزریق ردیاب که نیازمند صرف وقت و هزینه بسیار می‌باشند، تخمین زده می‌شوند. اگرچه استفاده از روابط تجربی آسان و سریع است اما ممکن است موجب خطای قابل توجه در نتایج حاصله از مدل‌های پخش و انتشار گردد (۱۷). از این‌رو، مطالعات آزمایشگاهی که به هزینه و نیروی انسانی کم‌تری نیاز دارند و می‌توان در آن‌ها پارامترهای موردنظر را در شرایط مختلف جریان مورد بررسی قرار داد، به‌عنوان یک گزینه مناسب از سوی پژوهش‌گران برای مطالعه سازوکار انتقال و انتشار آلاینده‌ها در مجاری روباز مورد توجه قرار گرفته است.

بسیاری از آبراه‌های طبیعی دارای سیلابدشت (هایی) می‌باشند که در یک طرف یا در طرفین کانال اصلی گسترش یافته‌اند. کانال‌های مرکب مقاطع هیدرولیکی می‌باشند که از دو بخش کانال اصلی، که دبی پایه را منتقل می‌کند و سیلابدشت، که در شرایط سیلابی وارد عمل می‌شود، تشکیل یافته‌اند. اگرچه پژوهش‌های بسیاری برای شناخت سازوکار انتشار آلودگی در مقاطع ساده (غیرمرکب) انجام شده است، اما به‌دلیل شرایط هیدرولیکی خاص جریان در مقاطع مرکب، مطالعات چندانی گزارش نشده است. بیش‌تر روش‌هایی که تاکنون برای پیش‌بینی نحوه انتقال آلاینده‌ها در آبراه‌ها ارائه شده‌اند با فرض ساده بودن مقطع کانال برقرار هستند. این در حالی است که شکل رودخانه‌ها و آبراه‌های طبیعی شباهت بیش‌تری به مقطع مرکب دارد (۷).

در دو قرن اخیر و هم‌زمان با دوره صنعتی شدن، افزایش میزان محصولات تولید شده به‌وسیله صنایع، منجر به ایجاد مشکلات جدی مرتبط با مباحث کیفی آب در رودخانه‌ها گردیده است و عملاً بسیاری از رودخانه‌ها به فاضلابرو تبدیل شده‌اند. آلودگی آب به‌طور مستقیم بر شدت تأثیر بحران آب می‌افزاید؛ زیرا مقدار آب سالم موجود را هم برای انسان و هم برای اکوسیستم کاهش می‌دهد. بنابراین مسایل مرتبط با کیفیت و کمیت آب به‌طور تفکیک‌ناپذیری با یکدیگر مرتبط هستند. اهمیت این مسایل زمانی بیش‌تر می‌شود که با توجه به پیش‌بینی سازمان ملل متحد، تا سال ۲۰۲۵ میلادی بیش از دو سوم جمعیت جهان در نواحی با کمبود آب زندگی خواهند کرد (۲۱).

فرآیند یک‌بعدی انتقال یک آلاینده پس از گذشت زمان اولیه برای اختلاط کامل در عرض و عمق را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (1)$$

که در آن، c غلظت آلاینده، u به‌ترتیب سرعت لحظه‌ای موضعی جریان در راستای x و t زمان پس از شروع تزریق است. همچنین ضریب K ضریب انتشار طولی می‌باشد که با استفاده از روابط تجربی،

یک‌بعدی برای انتقال آلودگی در مقاطع مرکب ارائه نمود (۳). همچنین پورمقدم (۲۰۰۸) تأثیر شیب طولی و عمق نسبی را بر ضریب انتشار در مقاطع مرکب مورد بررسی قرار داد (۱۴). حمیدی فر و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی تأثیر پوشش گیاهی مستغرق و غیرمستغرق سیلابدشت بر ضریب انتشار طولی در آبراهه‌های مرکب پرداختند و معیارهایی برای تعیین ضریب انتشار در مقاطع مرکب ارائه نمودند (۸، ۹).

بر خلاف تمام پیشرفت‌هایی که در نتیجه مطالعات پژوهش‌گران مختلف حاصل شده است، هنوز هم ناهمخوانی قابل توجهی بین مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر پیش‌بینی شده وجود دارد و در بیش‌تر موارد، این روش‌ها مقدار ضریب انتشار طولی را کم‌تر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. بنابراین انجام پژوهش‌های بیش‌تر با بهره‌گیری از روش‌های نوین در زمینه برآورد ضریب انتشار طولی در آبراهه‌ها ضروری است.

یکی از روش‌های نسبتاً جدید که در علم هیدرولیک نیز مورد توجه قرار گرفته است استفاده از تصاویر دیجیتال و پردازش اطلاعات آن‌ها است. بر خلاف انسان‌ها که منحصر به باند مرئی طیف الکترومغناطیسی هستند، ماشین‌های تصویربرداری تقریباً تمامی طیف الکترومغناطیس، که از اشعه گاما تا امواج رادیویی گسترده است، را تشخیص می‌دهند. بنابراین پردازش تصاویر کاربردهای گسترده و متنوعی را در بر می‌گیرد. چنان‌چه یک تصویر دیجیتال از عبور ابر آلودگی برداشت شود، با مقایسه آن با تصویر قبل از عبور ابر آلودگی و انجام کالیبراسیون، می‌توان شدت رنگ ثبت شده در تصویر را به غلظت ماده آلاینده ارتباط داد.

عموماً پردازش تصاویر دیجیتال توسط نرم‌افزارهای رایانه‌ای انجام می‌شود. نرم‌افزار متلب یکی از

وود و لیانگ (۱۹۸۹) یک مدل دوبعدی نیمه‌تحلیلی برای پیش‌بینی انتقال آلاینده‌ها در کانال مرکب ارائه کردند (۲۲). همچنین جورجویچ (۱۹۹۳) یک مدل عددی دوبعدی برای پیش‌بینی نرخ انتقال غیردائمی در کانال‌های مرکب ارائه نمود و صحت مدل ارائه شده را با انجام چند آزمایش تأیید کرد (۲). نوکز و وود (۱۹۸۸) یک روش حل سه‌بعدی به‌صورت تابع مشخصه برای انتشار آلودگی در مقاطع مستطیلی عریض ارائه کرد که مدتی بعد توسط نوکز و هاگز (۱۹۹۴) برای استفاده در مقاطع مرکب توسعه داده شد (۱۲، ۱۳). همچنین پرینوس (۱۹۹۲) یک مدل سه‌بعدی در ترکیب با مدل خطی $k-\varepsilon$ برای مطالعه نرخ انتقال آلاینده‌ها در مقاطع مرکب ارائه کرد (۱۵).

شتیلا (۱۹۹۷)، مدل دوبعدی CHAT برای حل معادلات جریان و انتقال آلودگی در مقاطع مرکب ارائه نمود و چنین نتیجه گرفت که به‌ازای مقادیر کم‌عمق نسبی جریان، سیلابدشت به‌عنوان یک منبع ذخیره عمل می‌کند ولی با افزایش عمق نسبی، مقطع مرکب را می‌توان به‌عنوان یک مقطع ساده در نظر گرفت (۱). لین و شیونو (۱۹۹۵) و شیونو و فنگ (۲۰۰۳) تأثیر جریان‌های ثانویه بر موقعیت نقطه دارای حداکثر غلظت را بررسی کردند (۱۱، ۱۸). نکته مهم در مورد آزمایش‌های این پژوهش‌گران آن است که بیش‌تر آزمایش‌ها با عمق نسبی ۰/۵ انجام شده است و بنابراین نمی‌تواند به‌طور کامل بازگوکننده شرایط پیچیده جریان به‌ویژه در اعماق نسبی پایین باشد. همچنین شیونو و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از دو مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ و مدل تنش جبری، توزیع غلظت یک آلاینده را در یک کانال مرکب مورد بررسی قرار دادند و مشاهده کردند که توزیع آلودگی در سیلابدشت به‌دلیل تأثیر جریان‌های ثانویه دارای چولگی است (۱۹). فرامرز (۲۰۰۲) مدل ریاضی

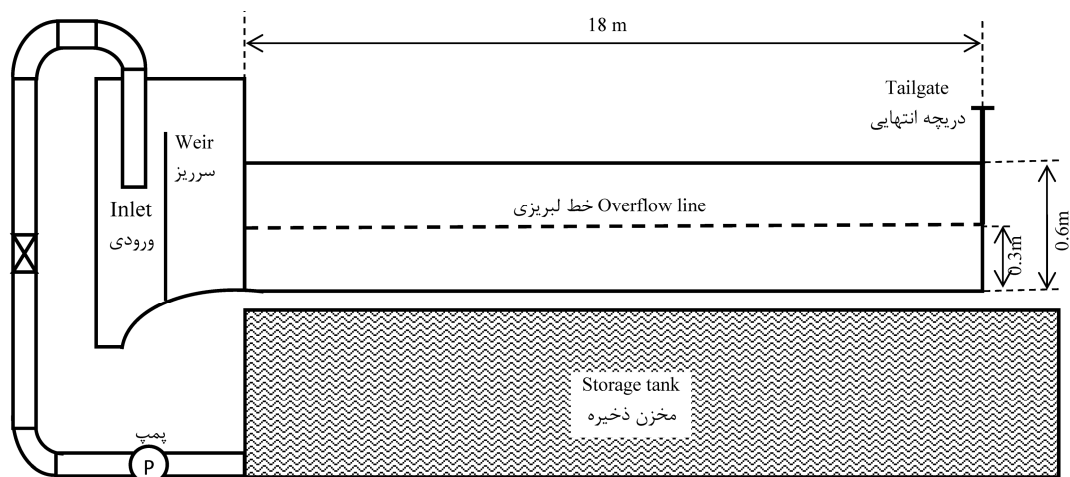
جریان، قادر به ارائه نتایج با دقت بالا نمی‌باشند و ارائه روش‌های جدید از قبیل روش پردازش تصویر که نیاز به نمونه‌برداری مستقیم از جریان را مرتفع می‌سازد ضروری است. هدف از انجام پژوهش حاضر، مطالعه کاربرد روش پردازش تصویر دیجیتال در برآورد ضریب انتشار طولی در یک آبراهه مرکب می‌باشد. با توجه به قابلیت‌های مناسب نرم‌افزار متلب، از این نرم‌افزار به منظور انجام عملیات پردازش تصویر استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های پژوهش حاضر با استفاده از یک کانال مستطیلی به طول ۱۸ متر و ارتفاع ۰/۶ متر، با مقطع مرکب نامتقارن به عرض سیلابدشت و کانال اصلی هر کدام ۰/۴۵ متر انجام شدند (شکل ۱). دیواره و کف فلوم از جنس پلاستیک فشرده شفاف می‌باشد. شیب طولی بستر کانال برابر با ۰/۰۰۰۸۸ است.

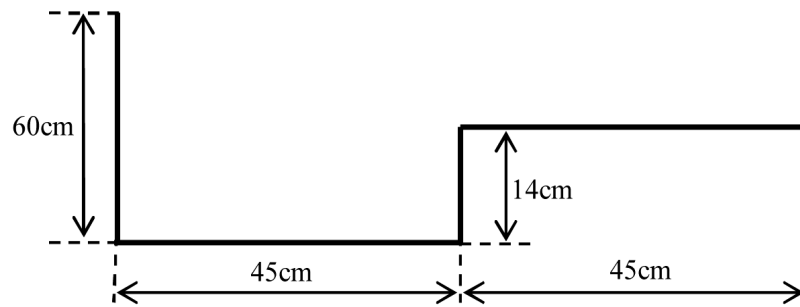
زبان‌های سطح بالا برای محاسبات فنی است و المان اصلی آن، آرایه می‌باشد. بدین ترتیب در متلب بسیاری از مسایل محاسباتی در زمان کم‌تری نسبت به سایر زبان‌ها مانند C یا فورترن قابل انجام است. متلب دارای خانواده‌ای از راه‌حل‌های کاربردی به نام جعبه ابزار می‌باشد. هر جعبه ابزار، مجموعه‌ای از توابعی به نام M-file یا M-function است که قابلیت متلب را برای حل یک مسأله به‌خصوص گسترش می‌دهد. یکی از جعبه ابزارهای بسیار کاربردی متلب، جعبه ابزار پردازش تصویر (IPT) نام دارد. این جعبه ابزار و گویایی زبان متلب باعث شده است تا عملیات پردازش تصویر به‌صورت فشرده و واضح میسر گردد و از این‌رو متلب را در رده نخست نرم‌افزارهای پردازش تصویر قرار داده است.

بر اساس مطالب ذکر شده، مسأله انتشار طولی آلاینده‌ها در آبراهه‌ها دارای پیچیدگی‌هایی است که گاهی روش‌های سنتی از قبیل نمونه‌گیری مستقیم از



شکل ۱- تصویر شماتیک مجموعه آزمایشگاهی.

Figure 1. Schematic view of the laboratory flume.



شکل ۲- مقطع عرضی کانال مرکب مورد استفاده.

Figure 2. Cross sectional view of the compound channel.

راجاراتنام و احمدی (۱۹۸۱) قابل محاسبه است (۱۶). با توجه به ثابت بودن عرض سیلابدشت و عرض کانال اصلی، سه عمق نسبی ۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵ مورد بررسی قرار گرفتند. مقدار b_f و b_m یعنی عرض ناحیه تبادل مومنتوم که به ترتیب بر روی سیلابدشت و در داخل کانال اصلی گسترش می‌یابد برای سه عمق نسبی ذکر شده در جدول ۱ آورده شده است.

در مطالعه جریان در مقاطع مرکب، مقادیر عمق نسبی (نسبت عمق جریان بر روی سیلابدشت به عمق جریان در کانال اصلی) باید به گونه‌ای انتخاب شود که بر اساس هندسه مقطع مرکب، امکان گسترش ناحیه تبادل مومنتوم در دشت سیلابی به طور کامل فراهم شود. میزان گسترش ناحیه تبادل مومنتوم بر اساس روابط ارائه شده توسط پژوهش‌گران قبلی از جمله

جدول ۱- محاسبه عرض لازم برای گسترش کامل ناحیه تبادل مومنتوم.

Table 1. Determination of the required width for fully development of the momentum transfer zone.

هو و همکاران (۲۰۱۰)		راجاراتنام و احمدی (۱۹۸۱)		عمق نسبی D_f	عمق سیلابدشت $H-h$ (cm)	عمق کانال اصلی H (cm)
کانال اصلی	سیلابدشت	کانال اصلی	سیلابدشت			
b_f (cm)	b_m (cm)	b_f (cm)	b_m (cm)			
20.67	14.38	8.96	52.92	0.15	2.47	16.47
23.43	17.56	8.96	52.92	0.25	4.67	18.67
25.44	20.04	8.96	52.92	0.35	7.54	21.54

۰/۳۵) بیش‌تر شود، رفتار کانال مرکب به کانال ساده نزدیک شود و بنابراین اثرات تبادل جانبی مومنتوم نیز کم‌رنگ می‌شود. از طرفی بر اساس نتایج هو و همکاران (۲۰۱۰) مقادیر عرض لازم برای گسترش کامل ناحیه تبادل مومنتوم مربوط به سیلابدشت بیش‌تر از کانال اصلی بوده و هر دو مقدار کوچک‌تر از عرض سیلابدشت و کانال اصلی (۴۵ سانتی‌متر) می‌باشند (۱۰). بنابراین رابطه هو و همکاران (۲۰۱۰)

با توجه به جدول ۱ مشخص می‌شود که بر اساس رابطه راجاراتنام و احمدی (۱۹۸۱)، مقدار عرض لازم برای کانال اصلی بسیار بیش‌تر از مقدار متناظر برای سیلابدشت است و هر دو این پارامترها ثابت بوده و مستقل از عمق نسبی می‌باشند (۱۶). انتظار می‌رود ساختار جریان در مقطع مرکب، وابسته به مقدار عمق نسبی باشد و پژوهش‌های قبلی نیز نشان داده است که چنانچه عمق نسبی از یک مقدار مشخص (معمولاً

$$\log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \varepsilon bc \quad (2)$$

که در آن، ε ضریب قابلیت جذب نور توسط ماده رنگی، b طول مسیری است که در آن نور از ماده رنگی عبور می‌کند و c غلظت ماده رنگی جذب‌کننده نور است. تغییرات ضریب ε تنها به‌ازای مقادیر خاصی از b و c به‌صورت خطی است. برای استفاده از این رابطه، باید برای هر نوع ماده رنگی که قرار است به‌عنوان ردیاب مورد استفاده قرار گیرد، بازه‌ای که در آن تغییرات ضریب ε به‌صورت خطی است مشخص گردد.

یک ردیاب ایده‌آل باید دارای ویژگی‌هایی باشد که از جمله آن‌ها می‌توان به غیرسمی بودن، دقت بالا در اندازه‌گیری توسط دستگاه‌های موجود، قابل استفاده در مقادیر کم، مقرون به صرفه بودن، سهولت اندازه‌گیری در غلظت‌های پایین، پایداری (عدم واکنش با سایر مواد موجود در جریان) در طول آزمایش اشاره کرد. با توجه به موارد فوق، چندین ردیاب که در دسترس بوده، شامل محلول پودر رنگ، محلول رنگ خوراکی و محلول پرمنگنات پتاسیم انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفتند تا مناسب‌ترین آن‌ها برای انجام آزمایش‌های این پژوهش انتخاب گردد.

به‌منظور یافتن دامنه‌ای از مقادیر غلظت و فاصله که در آن تغییرات ε به‌صورت خطی است، آزمایش‌هایی با استفاده از یک مخزن مثلثی راست‌گوشه با جداره‌های شفاف با ابعاد ۳۶ سانتی‌متر انجام شدند. هنگامی که این مخزن مثلثی رویاز درون فلوم (بر روی لامپ‌هایی که در هر کدام از ایستگاه‌های اندازه‌گیری غلظت نصب شده‌اند) قرار گیرند، طول مسیر جذب نور (b) بین لامپ و دوربین تصویربرداری متغیر بوده و از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$b \approx \frac{\xi}{\cos(\alpha/n_w) + \sin(\alpha/n_w)} \approx \frac{\xi}{1 + \frac{(l/2) - \xi}{n_w d_c}} \quad (3)$$

مبنای محاسبه ناحیه تبادل مومنتوم قرار می‌گیرد که نشان می‌دهد هندسه پیشنهادی برای مقطع مرکب و همچنین مقادیر عمق نسبی ذکر شده، خللی در گسترش کامل ناحیه تبادل مومنتوم در سیلابدشت و کانال اصلی ایجاد نمی‌کند.

به‌منظور اندازه‌گیری سرعت از یک دستگاه ADV با سنجنده جانبی که قابلیت برداشت نمونه‌های سرعت تا فرکانس ۲۰۰ هرتز را فراهم می‌کند، استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها به‌مدت دو دقیقه و در شبکه‌ای از نقاط در بیست و پنج مقطع عمقی شامل چهارده مقطع در کانال اصلی و یازده مقطع بر روی سیلابدشت انجام شدند. به‌منظور فیلترینگ داده‌ها از نرم‌فزار WinADV که توسط دفتر عمران ایالات متحده (USBR) توسعه داده شده است، استفاده گردید (۲۰). داده‌های با کیفیت پایین، بر اساس معیارهای آستانه‌فاز-مکان، نسبت سیگنال به نویز (SNR) و همبستگی (COR) از سری زمانی حذف گردیدند (۶).

تزریق ردیاب، به‌صورت خطی-عرضی انجام شد. به‌منظور حصول داده‌های با دقت بالا از چگونگی گسترش و پخش ابر آلودگی، از یک سامانه تصویربرداری متشکل از سه عدد دوربین دیجیتال فوجی فیلم مدل JX420 در فواصل ۲/۴۴ متری از یکدیگر استفاده گردید. بنابراین غلظت ماده ردیاب در سه مقطع مختلف در طول فلوم در فواصل ۴/۰۰، ۶/۴۴ و ۸/۸۸ متری پایین‌دست محل تزریق ماده ردیاب اندازه‌گیری می‌شود.

اندازه‌گیری غلظت با استفاده از روش پردازش تصویر مستلزم برقراری رابطه‌ای بین شدت رنگ هر پیکسل و غلظت ردیاب است. این رابطه به قانون بیر-لامبرت موسوم است. بر اساس این قانون، رابطه بین شدت نور اولیه (I_0) و شدت نور پس از عبور ماده رنگی (I) به‌صورت زیر خواهد بود (۵):

$$\sigma_t^2 = \frac{M_2}{M_0} - \left(\frac{M_1}{M_0} \right)^2 \quad (7)$$

$$\sigma_x^2 = \sigma_t^2 U_c^2 \quad (8)$$

$$K = \frac{\sigma_x^2}{2\mu} \quad (9)$$

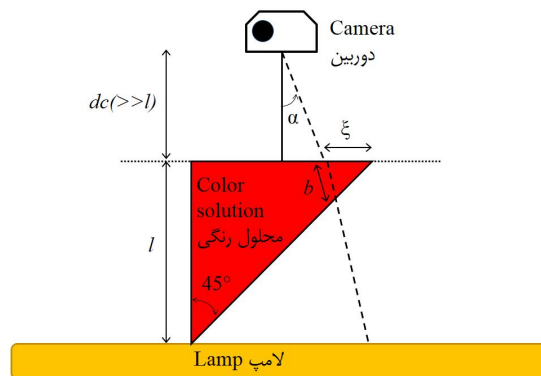
که در آن، $C(t)$ غلظت ردیاب در زمان t واریانس واریانس زمانی توزیع غلظت- زمان اندازه‌گیری شده است که با استفاده از روش تبادل ممان محاسبه می‌شود، M_i گشتاور زمانی i ام توزیع غلظت، U_c سرعت متوسط حرکت مرکز جرم ردیاب، X فاصله طولی بین محل تزریق و محل اندازه‌گیری، μ متوسط زمان پیمایش ابر آلودگی و σ_x^2 واریانس مکانی ابر آلودگی می‌باشد.

که در آن، K موقعیت هر پیکسل نسبت به ابتدای مخزن مثالی، n_w شاخص نسبی انکسار آب، l طول ضلع مثلث و d_c فاصله دوربین تا مخزن مثالی است. زاویه α نیز بر روی شکل ۳ قابل مشاهده است. به‌منظور تعیین ضریب انتشار طولی، با داشتن توزیع زمانی غلظت و استفاده از روابط زیر، توزیع مکانی و در نهایت ضریب K برای شرایط مختلف به‌دست می‌آید (۴):

$$M_i = \int_{-\infty}^{+\infty} t^i C(t) dt \quad (4)$$

$$\mu = \frac{M_1}{M_0} \quad (5)$$

$$U_c = \frac{X}{\mu} \quad (6)$$



شکل ۳- واسنجی قانون بیر- لامبرت.

Figure 3. Calibration of the Beer-Lambert law.

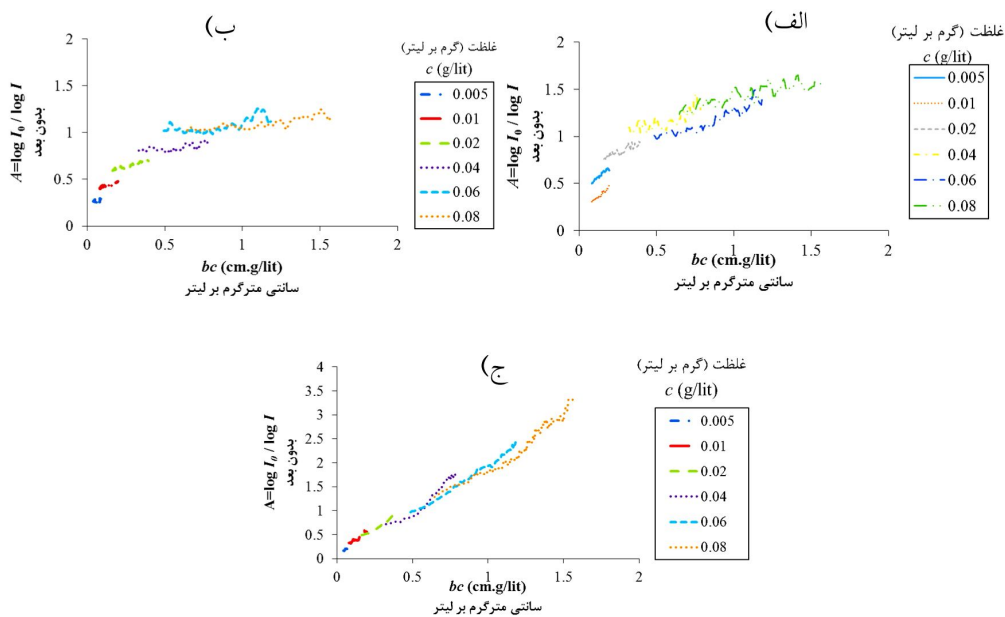
رفتار متفاوتی در حین عبور نور از خود نشان می‌دهند. به‌عبارت دیگر، مقدار جذب نور توسط ردیاب‌های مذکور بسیار متفاوت است. از طرفی دیگر، برای این دو ردیاب نمی‌توان دامنه‌ای از bc را تعریف کرد که به‌ازای آن ضریب ε مقدار ثابتی داشته باشد. در شکل ۴- ج تغییرات پارامتر A در مقابل حاصلضرب bc برای محلول پرمنگنات پتاسیم نشان داده شده است. از

نتایج و بحث

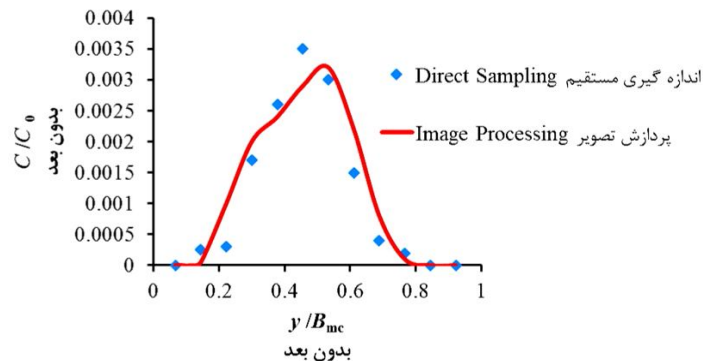
به‌منظور انتخاب ردیاب مناسب، تغییرات پارامتر $A = \log I_0 / \log I$ در مقابل حاصلضرب bc برای سه ردیاب مورد بررسی در شکل‌های ۴ (الف- ج) ترسیم شده است. در شکل‌های ۴ (الف و ب) که به‌ترتیب برای محلول پودر رنگ و محلول رنگ خوراکی ترسیم شده است می‌توان مشاهده کرد که ردیاب‌های مختلف،

نتایج به‌دست آمده بر مبنای اندازه‌گیری مستقیم غلظت گردید. در اندازه‌گیری مستقیم از محلول آب-نمک خوراکی استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود انطباق مناسبی بین غلظت اندازه‌گیری شده به روش پردازش تصویر با مقدار به‌دست آمده از روش نمونه‌گیری مستقیم وجود دارد.

این نمودار مشاهده می‌شود که محلول پرمنگنات پتاسیم نسبت به دو محلول دیگر دارای دامنه وسیع‌تری از مقدار ثابت ضریب ε است. بر این اساس محلول پرمنگنات پتاسیم به‌عنوان ردیاب مناسب برای استفاده در آزمایش‌های پژوهش حاضر انتخاب گردید. به‌منظور اطمینان از عملکرد روش پردازش تصویر، اقدام به مقایسه نتایج حاصل از استخراج غلظت ردیاب با استفاده از روش پردازش تصویر و



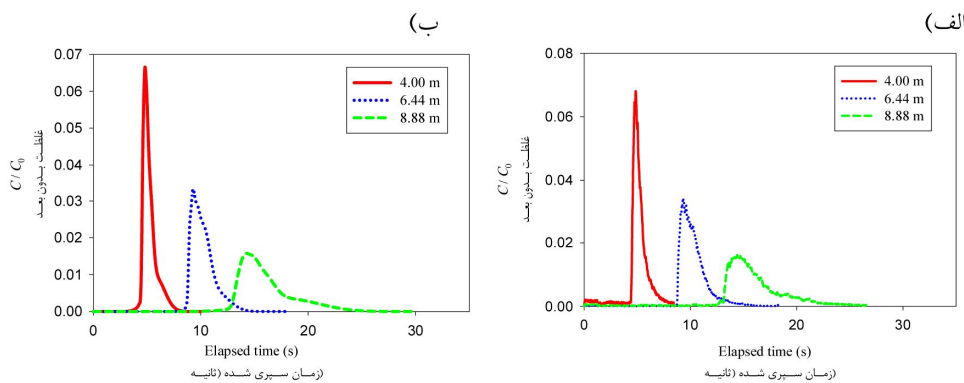
شکل ۴- تغییرات پارامتر A در مقابل bc : الف) محلول پودر رنگ، ب) محلول رنگ خوراکی و ج) محلول پرمنگنات پتاسیم.
Figure 4. Variations of A against bc : a) color powder, b) food color and c) Potassium permanganate solution.



شکل ۵- مقایسه غلظت اندازه‌گیری شده با استفاده از روش‌های پردازش تصویر و نمونه‌گیری مستقیم.
Figure 5. Comparison of measured concentration with image processing and direct sampling methods.

است. لازم به ذکر است که در نهایت برای محاسبه ضریب انتشار طولی نیز، مقدار ضریب انتشار طولی برای کانال اصلی و دشت سیلابی به صورت جداگانه محاسبه شده و با میانگین‌گیری وزنی از مقادیر به دست آمده بر اساس نسبت مساحت هر زیر مقطع به کل مساحت مقطع مرکب، ضریب انتشار طولی کل مقطع مرکب (\bar{K}) در هر آزمایش ارائه گردیده است. با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود که با حرکت توده ردیاب به پایین‌دست، مقدار حداکثر غلظت کاهش یافته و ابر آلودگی کشیده‌تر می‌شود. با توجه به نمودارهای تغییرات غلظت در برابر زمان در ایستگاه‌های مختلف و به‌ازای شرایط هیدرولیکی متفاوت، ضریب انتشار طولی با استفاده از روش تبادل ممان استاندارد، محاسبه و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

برای تعیین ضریب انتشار طولی، لازم است که تغییرات غلظت ردیاب با زمان در ایستگاه‌های مختلف ثبت گردد. بر این اساس، منحنی تغییرات غلظت در برابر زمان برای هر آزمایش ترسیم شده و با استفاده از روش تبادل ممان استاندارد ضریب انتشار طولی محاسبه شده است. به منظور افزایش دقت در محاسبات و کاهش خطاهای احتمالی در برآورد غلظت از روی تصاویر برداشت شده، منحنی تغییرات غلظت- زمان، در نرم‌افزار متلب به وسیله یک منحنی گاوسی تقریب زده شده است که نمونه‌ای از این تقریب در شکل ۶ برای عمق نسبی ۰/۳۵ قابل مشاهده است. بنابراین منحنی تقریب زده شده مبنای محاسبه ضریب انتشار طولی قرار می‌گیرد. با توجه به متفاوت بودن شرایط جریان در کانال اصلی و سیلابدشت، غلظت ردیاب برای سیلابدشت و کانال اصلی به صورت جداگانه نشان داده شده



شکل ۶- تغییرات غلظت ردیاب با زمان: الف) قبل از برازش تابع گاوسی و ب) بعد از برازش تابع گاوسی.

Figure 6. Variations of the tracer concentration with time: a) before and b) after the Gaussian function fit.

جدول ۲- ضریب انتشار طولی در سیلابدشت و کانال اصلی به ازای اعماق نسبی مختلف.

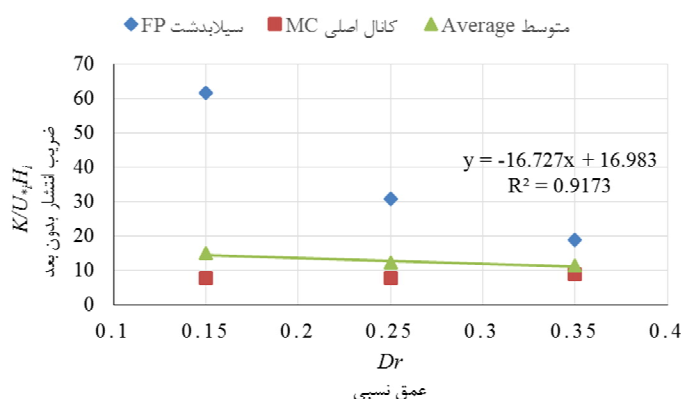
Table 2. Longitudinal dispersion coefficient in floodplain and main channel for differetn relative depths.

متوسط K (cm^2/s)	ضریب انتشار طولی (سانتی‌متر مربع بر ثانیه) $K(\text{cm}^2/\text{s})$								شماره Code
	کانال اصلی MC				سیلابدشت FP				
	average	C	B	A	average	C	B	A	
349.8	369.0	473.1	465.8	168.1	223.3	364.5	204.8	100.6	0.15-N
403.0	432.9	524.8	579.1	194.8	284.2	406.8	298.7	147.2	0.25-N
541.9	609.5	823.4	760.6	244.5	348.2	478.3	312.5	253.9	0.35-N

است که برای تعیین این پارامتر در کانال اصلی و سیلابدشت، باید 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. با استفاده از نتایج پژوهش حاضر، رابطه زیر با ضریب همبستگی $R^2=0.9172$ به منظور محاسبه مقدار بدون بعد میانگین ضریب انتشار طولی در کانال مرکب ارائه می‌شود:

$$\frac{K}{U_*H_i} = -16.727D_r + 16.983 \quad (10)$$

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 به‌طورکلی، با افزایش عمق نسبی از ۰/۱۵ به ۰/۳۵، ضریب انتشار طولی نیز روند افزایشی را دنبال می‌کند. به‌منظور مقایسه بهتر تغییرات ضریب انتشار طولی در کانال اصلی و دشت سیلابی، تغییرات شکل بدون بعد این پارامتر در شکل ۷ ترسیم شده است. با توجه به این شکل، مشاهده می‌شود با افزایش عمق نسبی مقدار پارامتر ضریب انتشار طولی بدون بعد K/U_*H_i که بر اساس آنالیز ابعادی به‌دست آمده است، هم در کانال اصلی و هم در سیلابدشت کاهش می‌یابد. اندیس i نشان‌دهنده آن



شکل ۷- تغییرات پارامتر K/U_*H_i در سیلابدشت و کانال اصلی در اعماق نسبی مختلف.

Figure 7. Variations of K/U_*H_i in floodplain and main channel for different relative depths.

پردازش تصاویر برداشت شده استفاده شد. با تصویربرداری از ابر آلودگی در فواصل مختلف و کمک گرفتن از قانون بیر-لامبرت و واسنجی ضریب قابلیت جذب نور توسط ماده رنگی برای ردیاب‌های مختلف، غلظت ردیاب با توجه به شدت نور برداشت شده، محاسبه گردید. نتایج نشان داد که مقدار ضریب انتشار طولی در کانال اصلی و سیلابدشت با یکدیگر متفاوت است. با متوسط‌گیری از مقدار این ضریب در

نتیجه‌گیری کلی

با افزایش جمعیت و کاهش سرانه آب سالم در دسترس، لزوم پایش کیفیت آب رودخانه‌ها اهمیت روزافزون می‌یابد. در این پژوهش، به بررسی کاربرد روش پردازش تصویر در برآورد ضریب انتشار طولی آلاینده‌ها در یک آبراهه با مقطع مرکب نامتقارن پرداخته شد. از نرم‌افزار متلب به‌عنوان یک زبان برنامه‌نویسی با قابلیت‌های محاسباتی زیاد، به‌منظور

روش‌های تعیین غلظت ماده ردیاب از جمله نمونه‌برداری مستقیم یک مزیت به حساب می‌آید. زیرا در روش نمونه‌برداری مستقیم، غلظت فقط در یک نقطه مشخص اندازه‌گیری می‌شود و برای برداشت نمونه در نقاط دیگر باید یک شبکه بسیار ریز انتخاب گردد که امری بسیار زمان‌بر است. همچنین با انجام بررسی‌های تکمیلی می‌توان امیدوار بود که با استفاده از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، بتوان از این روش در شرایط میدانی و در مقیاس‌های بزرگ نیز با هزینه بسیار کم در مقایسه با روش‌های نمونه‌گیری مستقیم بهره گرفت.

سیلابدشت و کانال اصلی، ضریب انتشار طولی مقطع مرکب محاسبه شد. نتایج نشان داد که مقدار بدون بعد این ضریب با افزایش عمق نسبی جریان، کاهش می‌یابد. همچنین، رابطه‌ای به‌منظور محاسبه ضریب انتشار طولی در کانال‌های مرکب ارائه گردید. به‌طور کلی می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که روش پردازش تصویر این قابلیت را دارد که در بررسی‌های آزمایشگاهی، به‌عنوان جایگزینی برای روش‌های نمونه‌گیری مستقیم مورد استفاده قرار گیرد. همچنین در روش پردازش تصویر، غلظت ماده ردیاب در تمامی عرض فلوم هم‌زمان و به‌صورت پیوسته قابل اندازه‌گیری می‌باشد که این قابلیت در مقایسه با سایر

منابع

1. Chatila, G. 1997. Modeling of pollutant transport in compound open channels. PhD Dissertation, Ontario, Canada: University of Ottawa.
2. Djordjevic, S. 1993. Mathematical model of unsteady transport and its experimental validation in compound open channel flow. *J. Hydr. Res.* 31: 2. 229-248.
3. Faramarz, M. 2002. 1-D mathematical model for pollutant transport in compound channels. M.Sc. Thesis, University of Tarbiat Modarres. (In Persian)
4. Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J., and Brooks, N.H. 1979. Mixing in inland and coastal waters. Academic Press.
5. Ghisalberti, M., and Nepf, H. 2005. Mass transport in vegetated shear flows. *Environmental Fluid Mechanics.* 5: 527-551.
6. Goring, D.G., and Nikora, V.I. 2002. Despiking acoustic dopplervelocimeter data. *J. Hydr. Engin. ASCE.* 128: 1. 117-126.
7. Hamidifar, H., and Omid, M.H. 2013. Floodplain vegetation contribution to velocity distribution in compound channels. *J. Civil Engin. Urbanism.* 3: 6. 357-361.
8. Hamidifar, H., Omid, M.H., and Keshavarzi, A. 2015. Longitudinal dispersion in waterways with vegetated floodplain. *Ecological Engineering.* 84: 398-407.
9. Hamidifar, H., Omid, M.H., and Keshavarzi, A. 2015. Effect of Floodplain Submerged and Non-submerged Vegetation on the Transverse Mixing Coefficient of Pollutants. *J. Hydr.* 10: 1. 13-23.
10. Hu, C., Ji, Z., and Guo, Q. 2010. Flow movement and sediment transport in compound channels. *J. Hydr. Res.* 48: 1. 23-32.
11. Lin, B., and Shiono, K. 1995. Numerical modelling of solute transport in compound channel flows. *J. Hydr. Res.* 33: 6. 773-788.
12. Nokes, R.I., and Hughes, G.O. 1994. Turbulent mixing in uniform channels of irregular cross section. *J. Hydr. Res.* 32: 1. 67-86.
13. Nokes, R.I., and Wood, I.R. 1988. Vertical and lateral turbulent dispersion: some experimental results. *J. Fluid Mech.* 187: 373-394.
14. Pourmoghadam, M. 2008. Spreading of nonreactive solutions in a compound channel. M.Sc. Thesis, Hydraulic Structures, Irrigation and Reclamation Engineering Department, University of Tehran. (In Persian)

15. Prinos, P. 1992. Dispersion in compound open channel flow. P 359-372, In: R.A. Falconer, K. Shiono and R.G.S. Matthew (Eds.), Hydraulic and Environmental Modelling: Estuarine and River Waters. Ashgate Publishing Ltd.
16. Rajaratnam, N., and Ahmadi, R. 1981. Hydraulics of channels with flood plains. J. Hydr. Res. 19: 1. 43-60.
17. Rutherford, J.C. 1994. River mixing. New York: John Wiley & Sons, 347p.
18. Shiono, K., and Feng, T. 2003. Turbulence measurements of dye concentration and effects of secondary flow on distribution in open channel flows. J. Hydr. Engin. ASCE. 129: 5. 373-384.
19. Shiono, K., Scott, C.F., and Kearney, D. 2003. Predictions of solute transport in a compound channel using turbulence models. J. Hydr. Res. 41: 3. 247-258.
20. Wahl, T.L. 2000. Analyzing ADV data using WinADV. ASCE Joint Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning and Management, Minneapolis, Minnesota, USA, July 30-August 2.
21. WHO (World Health Organization). 2002. World health report: reducing risks, promoting healthy life. France.
22. Wood, I.R., and Liang, T. 1989. Dispersion in an open channel with a step in the cross-section. J. Hydr. Res. 27: 5. 587-601.



Application of digital image processing technique for prediction of longitudinal dispersion coefficient in compound channels

***H. Hamidifar¹, M.H. Omid², M.J. Amiri³ and M. Bahrami³**

¹Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Shiraz University,

²Professor, Dept. of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran,

³Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Fasa University

Received: 10/27/2014; Accepted: 01/12/2016

Abstract

Background and Objectives: Predicting the spread of pollutants is essential for rivers protection and management as well as human health and public safety perspectives. Longitudinal dispersion coefficient is conventionally predicted using costly field tracer tests, empirical equation or analytical formulation. However, the results obtained by these traditional methods are valid for only the reach examined or the flow and geometry condition under which the formula presented. In this study, an innovative method is introduced to predict the longitudinal dispersion coefficient in waterways using the digital image processing technique.

Materials and Methods: The experiments were carried out in a recirculating glass-walled laboratory flume of 18m length, 0.9 m width and 0.6m height with an asymmetric compound channel section. The ratio of flood plain width to main channel width was 1 and the overflow depth was 0.14 cm. Flow velocity measurements were taken using three-dimensional Acoustic Doppler Velcimeter (ADV). Three different tracers including color powder, food color and potassium permanganate solution were tested to find the most suitable tracer. The tracer was injected using a half-tube filled with the dye solution and released uniformly and instantaneously across the flume width. The injection section was taken sufficiently far downstream of the start of the flume such that the flow was fully developed determined by measured velocity profiles. The spreading of the tracer cloud was recorded at three locations 4.00, 6.44 and 8.88 m downstream of the injection point using three digital video capturing Fujifilm JX420 cameras. Then, the captured videos were used to extract image sequences.

Results: Using the Beer-Lambert law of absorption, which correlates the absorbance to both, the concentrations of the attenuating dye as well as the thickness of the material sample, the depth-averaged concentration of the tracer across the flume width was determined. The longitudinal dispersion coefficient was calculated by the standard method of change of moments. The results showed that the image processing technique could be used as a reliable, accurate and economic method in studying the longitudinal dispersion coefficient. Three different tests were conducted with different relative depths including 0.15, 0.25 and 0.35 in the compound channel.

Conclusion: As the magnitude of the relative depth increases from 0.15 to 0.35, the non-dimensionalized longitudinal dispersion coefficient increases 65 and 56% in the main channel and floodplain, respectively. Finally, an equation is proposed to calculate the longitudinal dispersion coefficient in compound channels based on the experimental data. More researches are needed to extend this method to the field condition.

Keywords: Image processing technique, Longitudinal dispersion coefficient, Compound channel, Water quality, Tracer

* Corresponding Author; Email: hamidifar@shirazu.ac.ir

