

محاسبه ضریب پخش طولی و مدل‌سازی انتشار آلودگی در رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه Severn و Narew)

عباس پارسائی^{*۱} - امیرحمزه حقی آبی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۱۸

چکیده

مدل‌سازی انتشار آلودگی در رودخانه یکی از مهم‌ترین مسائل بخش مهندسی محیط زیست است. معادله حاکم بر انتشار آلودگی در رودخانه‌ها، معادله انتقال و پخش است. در توسعه مدل‌های کامپیوتری جهت شبیه‌سازی انتشار آلودگی در آبراهه‌ها علاوه بر حل عددی معادله حرکت، نیاز به تخمین ضریب پخشیدگی نیز است. در این مقاله برای توسعه مدل کامپیوتری، معادله حرکت با استفاده از روش حجم محدود گسسته و برای تخمین ضریب پخش آلودگی نیز از روش روندیابی غلظت و فرمول‌های تجربی فراوانی بکار گرفته شده است. نتایج ارزیابی فرمول‌های تجربی نشان داد که این فرمول‌ها به خاطر اینکه پدیدآورندگان آن‌ها به خاطر ساده‌سازی که در مرحله مدل‌سازی صورت می‌گیرد دارای دقت مناسب نیستند. به جهت صحت سنجی عملکرد مدل عددی توسعه داده شده، انتشار آلودگی در دو رودخانه سورن و نارو انگلستان مدل‌سازی شد. انتخاب این دو رودخانه به دلیل در دسترس بودن اطلاعات هندسی، هیدرولیکی و همچنین پروفیل غلظت اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مختلف بوده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل توسعه داده برای شبیه‌سازی انتشار آلودگی در رودخانه سورن دارای دقتی برابر با $(R^2=0.86)$ و برای رودخانه نارو $(R^2=0.91)$ می‌باشد و ارزیابی کلی نتایج مدل عددی دقت مناسب آن را تأیید می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: روندیابی غلظت، ضریب پخشیدگی، مدل عددی انتقال آلودگی، معادله انتقال و پخش

مقدمه

دانش محیط‌زیست است که تاکنون پژوهش‌های زیادی در موضوع‌های مربوط با آن صورت گرفته است (۲). معادله حاکم بر انتقال آلودگی معادله انتقال-پخش^۳ است که از نوع معادلات دیفرانسیل جزئی است این معادله در حالت کلی معادله حرکت نامیده می‌شود. این معادله برای شرایط مرزی و اولیه ساده دارای حل تحلیلی است ولی اگر شرایط هندسه و هیدرولیک جریان پیچیده شود حل تحلیلی آن مخصوصاً در مسائل عملی کاربردی نیست (۳-۵). این معادله کاربردهای فراوانی در شبیه‌سازی پدیده‌های مهندسی آب دارد که از جمله می‌توان به شبیه‌سازی انتقال رسوب در رودخانه‌ها و انتشار آلودگی در آب‌های سطحی و زیرزمینی اشاره نمود (۶ و ۷). مدل‌سازی انتشار آلودگی در رودخانه‌ها به دو دسته کلی آزمایشگاهی و تئوری تقسیم می‌شوند. در هر دو روش نیاز به توسعه مدلی برای پیش‌بینی رفتار پدیده انتقال و انتشار آلودگی در رودخانه‌ها است. در روش‌های تئوریک از روش‌های عددی برای حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر پدیده استفاده می‌شود که در نهایت منجر به تولید مدل‌های عددی و

مطالعه بر روی کیفیت آب‌های سطحی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، این موضوع با توجه به اینکه یکی از منابع عمده تأمین آب آشامیدنی انسان‌ها، آب لازم برای کشاورزی و صنایع از رودخانه‌ها است نیاز به توجه بیشتری دارد. متأسفانه گاهی فاضلاب و پساب‌های صنعتی در رودخانه تخلیه می‌شود. اگر مکانیسم انتقال و پخش آلودگی در رودخانه‌ها با ژئومتری‌های مختلف مشخص باشد می‌توان برای کاهش اثرات آلودگی بر سلامت عموم جامعه انسان‌ها با طرح مسئله اختلاط آبها و تقویت قدرت خود پالایندگی رودخانه‌ها برنامه‌ریزی نمود (۱). هنگامی که یک منبع آلودگی به داخل آب رها می‌شود به علت حرکت مولکولی، تلاطم و غیریکنواختی سرعت در سطح مقطع جریان، سریعاً در آب پخش و همراه با جریان آب جابجا می‌شود. مکانیسم پخش و حرکت آلاینده‌ها در آب بخش مهمی از

۱ و ۲- دانشجوی دکتری مهندسی سازه‌های آبی و دانشیار گروه مهندسی آب،

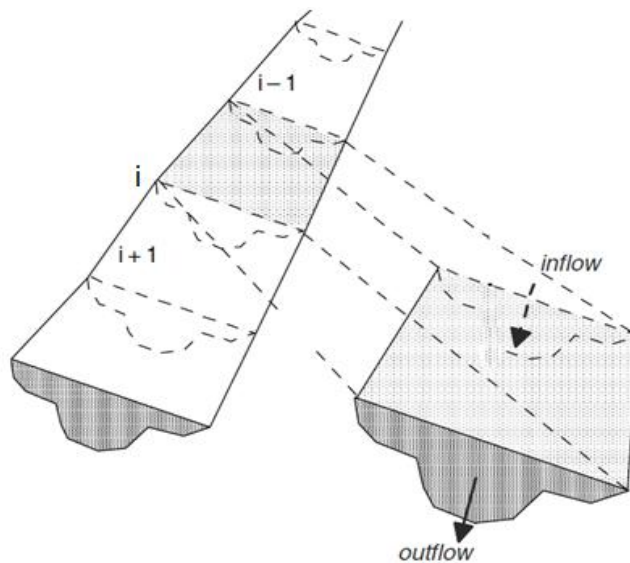
دانشگاه لرستان

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

پخشیدگی با استفاده از روش (ADCP^۲) پرداختند ایشان همچنین در تحقیقات خود تأثیر ناحیه ماندابی نگه داشت موقت را در ضریب پخشیدگی بررسی نمودند و در نهایت نتیجه گرفتند که استفاده از روش ADCP می‌تواند به عنوان روش بسیار مناسبی جهت محاسبه ضریب پخشیدگی استفاده شود و دقت سایر روابط تجربی با این روش سنجیده شود. سو و چئونگ (۲۲) به مطالعه مکانیسم انتقال شوری در رودخانه‌ها پرداختند مطالعات ایشان بر اساس پیگیری و مطالعه بر روی تغییرات پروفیل غلظت انجام شد ایشان تحقیقات خود را در رودخانه‌های Shingobee River انجام دادند ایشان در تحقیقات خود به تأثیر مهم ناحیه ماندابی و همچنین معرفی عوامل جدیدی در تعیین تأثیر ناحیه ماندابی در مکانیسم انتقال شوری اشاره نمودند. آنکینسون و همکاران (۲۳-۲۵) به مطالعه بر روی ضریب پخشیدگی با استفاده از تحلیل بر روی نتایج پروفیل غلظت در رودخانه Severn River انگلستان پرداختند و پیشنهاد دادند که مطالعات و اندازه‌گیری آن‌ها می‌تواند مبنای خوبی برای ارزیابی روابط تجربی و ریاضی در این رابطه باشد. محققین مختلفی به ارزیابی و بررسی دقت این روابط پرداخته‌اند، گزارش‌هایی مبنی بر کمبود دقت این معادلات برای رودخانه‌ها دیگر با شرایط جدیدتر منتشر شده است بنابراین محققین به توسعه و استفاده از روش‌های هوش مصنوعی مانند شبکه عصبی چندلایه، شبکه عصبی تطبیقی و برنامه‌ریزی ژنتیک و ماشین بردار پشتیبان و غیره روی آورده‌اند. در روش‌های هوش مصنوعی بجای ارائه یک رابطه که معمولاً از روش‌های کلاسیک رگرسیونی منتج شده، یک شبکه توسعه داده می‌شود. دقت این مدل‌های هوش مصنوعی بر اساس تحقیقات انجام شده بسیار بیشتر از معادلات تجربی گزارش شده است (۱، ۱۸، ۲۶-۳۴). علی‌رغم اینکه مدل‌های هوش مصنوعی عملکرد مناسبی جهت تخمین ضریب پخش ارائه می‌دهند ولی برای اطمینان از دقت این مدل‌ها، نتایج آن‌ها باید با روش‌هایی که این ضریب را به‌طور مستقیم از پروفیل غلظت محاسبه می‌نمایند مقایسه شود. روش‌هایی که به‌صورت کلی بر پروفیل غلظت مشاهداتی در ایستگاه‌های اندازه‌گیری تمرکز می‌نمایند عبارت‌اند از روش گشتاور و روش روندیابی که روش روندیابی کامل‌تر از روش گشتاور است (۲). در این تحقیق برای تخمین ضریب پخشیدگی با توجه به موجود بودن پروفیل غلظت در ایستگاه‌های اندازه‌گیری دو رودخانه سورن و ناریو، ابتدا ضریب پخش به کمک روش روندیابی استخراج شده و وارد مدل عددی شده است. اهداف این تحقیقی را می‌توان به دو قسمت تقسیم نمود. ۱- محاسبه ضریب پخشیدگی با استفاده از روش روندیابی در ۲- ارزیابی فرمول‌های تجربی ۳- توسعه مدل عددی انتقال آلودگی در رودخانه‌ها.

نرم‌افزارهای تجاری می‌شود (۸-۱۱). معادله حرکت به دلیل اینکه در علوم مختلف مهندسی سیالات، مانند مهندسی شیمی، مکانیک سیالات، مهندسی هیدرولیک کاربرد دارد توسط محققین با انواع روش‌های تفاضل محدود، حجم محدود و المان محدود حل شده است. از روش‌های تفاضل محدود می‌توان به شماهای، FTCS^۱، DuFort- Frankel, Crank-و FTCS_Ataie, Laxwendrof, Nicolson و غیره اشاره نمود. در میان شماهای روش حجم محدود می‌توان شماهای مختلفی مانند Fromm, Quickest, ULTIMATE QUICKEST و غیره را نام برد. محققین مختلف با ارزیابی دقت شماهای مختلف عددی به بهبود عملکرد آن‌ها پرداخته‌اند و نتیجه آن‌ها ارائه شماهای با دقت بیشتر بوده است (۱۱-۱۵). برای مدل سازی عددی کیفیت آب رودخانه می‌توان حل هم‌زمان معادلات انتقال پخش و معادلات هیدرودینامیک جریان (معادلات سنت و نانت) را بکار گرفت مدل‌های مختلفی با بکار گرفتن این تکنیک تولید و ارائه شده‌اند، مانند: HecRas, Faster, mike11. این مدل‌ها قبلاً توسط محققین مختلف مورد استفاده قرار گرفته و دقت آن‌ها برای کارهای مهندسی مورد تأیید قرار گرفته است (۳ و ۱۳). برای مدل سازی انتقال آلودگی در رودخانه‌ها باید دو نکته را در نظر گرفت: ۱- انتخاب روش عددی با دقت مناسب، ضعف عمده روش‌های مدل‌های عددی در روش‌های گسسته سازی ترم انتقال است که خوشبختانه امروزه روش‌های با دقت مناسب ارائه شده است: ۲- تخمین ضریب پخش آلودگی، هرچه دقت تخمین و محاسبه این پارامتر بیشتر باشد دقت مدل عددی نیز بیشتر است. بنابراین قسمت اعظمی از مطالعات بر روی مدل سازی کیفیت آب در رودخانه‌ها بر روی اندازه‌گیری، محاسبه و تخمین این پارامتر صرف شده است: (۱۱ و ۱۶). اگر به فرم معادله انتقال پخش یک بعدی (معادله ۱) توجه شود متوجه اهمیت ضریب پخش خواهیم شد زیرا تخمین دقیق این ضریب در محاسبه مقدار و پیش‌بینی پروفیل غلظت بسیار اهمیت دارد همچنین دقت در تخمین این پارامتر به افزایش دقت مدل‌های عددی که از حل عددی معادله انتقال پخش توسعه داده می‌شود، می‌انجامد ضریب پخش آلودگی به خاطر اینکه تابعی از شرایط هندسه، ژئومتری مسیر و هیدرولیک جریان است بسیار حساس و متغیر است بنابراین، با کمترین تغییر در شرایط هیدرولیک، هندسه جریان تغییر کرده و دارای نوسانات بسیار زیادی است. فرمول‌های تجربی زیادی برای محاسبه و تخمین این پارامتر ارائه شده است که معمولاً حاصل تحقیق، محققین بر روی یک یا چند رودخانه خاص بوده است و در نهایت منجر به ارائه یک رابطه رگرسیونی کلاسیک شده است. برخی از این روابط در جدول ۱ جمع‌آوری و ارائه شده است (۱۷-۲۰).

چاپنگ شن و همکاران (۲۱) به محاسبه مستقیم ضریب



شکل ۱- المانی از رودخانه برای استخراج معادله حرکت (۶)

Figure 1- The element of river to derive the ADE

زیر بیان می‌شود.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

در این معادله C: غلظت آلاینده در مسیر رودخانه طولی، u سرعت متوسط رودخانه، D_L : ضریب پخشیدگی، t: مدت زمان سپری شده بعد از تزریق آلودگی و x: فاصله از نقطه تزریق آلودگی است معادله انتقال و پخش آلودگی از ترکیب معادله پیوستگی و قانون اول فیک به دست می‌آید. معادله حرکت شامل دو ترم بسیار مهم است ۱- ترم اول سمت چپ نشان دهنده تغییرات زمانی و ترم دم سمت چپ مربوط به انتقال ۲: و ترم سمت چپ مربوط به پخشیدگی ۳ است. ترم پخشیدگی معادله (۱) نشان دهنده انتقال جرم ناشی از تفاوت غلظت است. در معادله حرکت ضریب پخشیدگی یکی از مهم‌ترین پارامترها در مدل‌سازی کامپیوتری انتشار آلودگی در آبراهه‌ها است.

ضریب پخشیدگی

مهم‌ترین عواملی که در پدیده پخشیدگی مؤثرند به سه دسته قابل تقسیم می‌شوند.

- ۱- مشخصات سیال، ۲- مشخصات هیدرولیکی جریان و ۳- درنهایت ژئومتری رودخانه یا شکل سطح مقطع و مسیر رودخانه. از مشخصات سیال می‌توان به چگالی سیال، ویسکوزیته، از مشخصات هیدرولیکی جریان می‌توان به سرعت متوسط در رودخانه، سرعت برشی و پهنای سطح مقطع و عمق جریان را نام برد و برای

مواد و روش‌ها

ابتدا به استخراج معادله انتشار آلودگی در رودخانه پرداخته و در ادامه با استفاده از آنالیز ابعادی عوامل مؤثر در ضریب پخشیدگی مشخص شده است. با توجه به توصیه محققین مختلف برای توسعه مدل عددی با توجه به ماهیت فیزیکی ترم‌های معادله حرکت یعنی دو ترم انتقال و پخش به صورت جداگانه گسسته شده و برای هر یک مدل عددی مناسب تهیه شده است برای ترم انتقال از شمای Quickest که دارای دقتی از مرتبه سوم است و برای ترم پخش نیز شمای مرکزی ضمنی به کار گرفته شده است. در نهایت جواب نهایی مدل عددی با تکنیک time splitting استخراج می‌شود. برای محاسبه ضریب پخشیدگی ابتدا به محاسبه ضریب پخش با استفاده از داده‌های مشاهداتی پرداخته شده و پس از محاسبه ضریب پخش دو رودخانه در منطقه مورد مطالعه فرمول‌های تجربی مورد ارزیابی قرار گرفتند. با تعیین بهترین رابطه تجربی، مدل عددی نهایی کامل گشته و نتایج مدل نهایی توسعه داده شده با داده‌های رودخانه‌های مورد مطالعه (Narew و Severn) صحت‌سنجی، مقایسه و ارزیابی شده است.

معادله انتقال و پخش

المانی از رودخانه را مانند شکل ۱ در نظر گرفته و مقدار جرم ورودی و خروجی را در این المان را طبق قانون بقای جرم محاسبه و با کمک از قانون اول و دوم فیک^۱ معادله انتقال و پخش به صورت

2- Advection
3- Diffusion

1- Fick Law

است. با استفاده از آنالیز ابعادی می‌توان به رابطه زیر برای پیش‌بینی ضریب پخش رسید.

$$\frac{D_L}{hu_*} = f_2 \left(\rho \frac{uh}{\mu}, \frac{u}{u_*}, \frac{w}{h}, s_f, s_n \right) \quad (3)$$

مشخصات هندسی علاوه بر شکل سطح مقطع به فرم بستر و شکل مسیر جریان مانند سینوسی بودن مسیر رودخانه اشاره کرد. که می‌توان ارتباط عوامل زیر را با رابطه زیر نشان داد.

$$D_L = f_1(\rho, \mu, u, h, w, s_f, s_n) \quad (2)$$

در این رابطه D_L : ضریب پخشیدگی، ρ : چگالی سیال، μ :

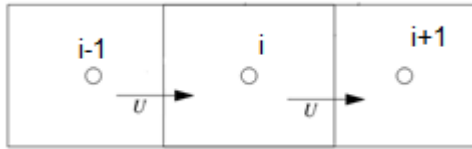
ویسکوزیته سیال، s_f : شیب اصطکاک و s_n فاکتور فرم بستر

جدول ۱- روابط تجربی پیشنهادشده برای محاسبه ضریب پخشیدگی

Table 1- The empirical formulas proposed for longitudinal dispersion coefficient

ردیف Row	پدیدآورنده Author	فرمول Equation
1	الدر (1959) Elder (1959)	$D_L = 5.93hu_*$
2	مک کویوی و کیفر (1979) McQuivey and Keefer (1974)	$D_L = 0.58 \left(\frac{h}{u_*} \right)^2 uw$
3	فیشر (1976) Fisher (1967)	$D_L = 0.011 \frac{u^2 w^2}{hu_*}$
4	لی و همکاران (۱۹۹۸) Li et al. (1998)	$D_L = 0.55 \frac{wu_*}{h^2}$
5	لیو (1997) Liu (1977)	$D_L = 0.18 \left(\frac{u}{u_*} \right)^{0.5} \left(\frac{w}{h} \right)^2 hu_*$
6	ایوسا و اتاوا (1991) Iwasa and Aya (1991)	$D_L = 2 \left(\frac{w}{h} \right)^{1.5} hu_*$
7	سئو و چانگ (1998) Seo and Cheong (1998)	$D_L = 5.92 \left(\frac{u}{u_*} \right)^{1.43} \left(\frac{w}{h} \right)^{0.62} hu_*$
8	کاسیس و رودریگز میراسول (1998) Koussis and Rodriguez-Mirasol (1998)	$D_L = 0.6 \left(\frac{w}{h} \right)^2 hu_*$
9	لی و همکاران (1998) Li et al. (1998)	$D_L = 5.92 \left(\frac{u}{u_*} \right)^{1.2} \left(\frac{w}{h} \right)^{1.3} hu_*$
10	راجیو و دوتا (2009) Rajeev and Dutta (2009)	$D_L = 2 \left(\frac{u}{u_*} \right)^{0.96} \left(\frac{w}{h} \right)^{1.25} hu_*$
11	توکلی زاده و کاشفی پور (2007) Tavakollizadeh and Kashefipour (2007)	$D_L = 7.428 + 1.775 \left(\frac{u}{u_*} \right)^{1.752} \left(\frac{w}{h} \right)^{0.62} hu$
12	کاشفی پور و فاکونر (2001) Kashefipour and Falconer (2002)	$D_L = 10.612 \left(\frac{u}{u_*} \right) hu$

حجم کنترل برابر خواهد بود با میزان شاری که از مرز پایین دست خارج می‌گردد. این مسئله را به این صورت می‌توان نوشت.



شکل ۲- انتگرال گیری بر روی حجم کنترل در روش حجم محدود
Figure 2- Integration process on the control volume in the finite volume method

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = 0$$

$$\int_t^{t+\Delta t} \frac{\partial C}{\partial t} + u \int_{x-\Delta x/2}^{x+\Delta x/2} \frac{\partial C}{\partial x} = 0$$

$$\frac{C_i^{n+1} - C_i^n}{\Delta t} = \frac{(uC)_{i+1/2}^n - (uC)_{i-1/2}^n}{\Delta x} \quad (5)$$

مقادیر $(uC)_{i+1/2}^n$ و $(uC)_{i-1/2}^n$ شارهای عبوری از مرزهای بالادست و پایین دست می‌باشند. گاهی این رابطه را فیزیکی تر به این صورت بیان می‌کنند که تغییر جرم داخل سلول در یک گام زمانی برابر با تفاضل جرم ورودی و خروجی در آن گام زمانی است که به صورت زیر نوشته می‌شود. معادله بالا را می‌توان به شکل کلی روش احجام محدود به صورت زیر نوشت

$$C_i^{n+1} = C_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} (F_{i+1/2} - F_{i-1/2}) \quad (6)$$

F شار عبوری از مرزی‌های حجم کنترل است. چنانچه توزیع غلظت داخل سلول را با یک سهمی نشان دهیم مانند شکل ۳ روش عددی QUICKEST را به صورت معادله ۷ استخراج شده که شکل نهایی آن و در حالت کلی به شکل زیر تعریف می‌گردد.

$$c_i^{n+1} = \left(\frac{1}{6}|\varepsilon|^3 - \frac{1}{6}|\varepsilon| \right) c_{i-2}^n + \left(-\frac{1}{2}|\varepsilon|^3 + \frac{1}{2}\varepsilon^2 + |\varepsilon| \right) c_{i-1}^n$$

$$+ \left(\frac{1}{2}|\varepsilon|^3 - \varepsilon^2 - \frac{1}{2}|\varepsilon| + 1 \right) c_i^n + \left(-\frac{1}{6}|\varepsilon|^3 + \frac{1}{2}\varepsilon^2 - \frac{1}{3}|\varepsilon| \right) c_{i+1}^n$$

$$\varepsilon = u \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (7)$$

حل عددی معادله پخش خالص

برای حل عددی ترم پخش معادله انتقال شمای ضمنی مناسب‌تر است که از شمای ضمنی مرکزی از حجم محدود استفاده شده است.

همان‌طور که مشخص است D_L/hu_* پارامتر بی‌بعد پخشیدگی و پارامتر $\rho u h / \mu$ معرف عدد رینولدز، W/h : نسبت عرض جریان به عمق و u/u_* : مربوط به ترم مقاومت جریان است. تأثیر پارامترهای مربوط به شیب آبراهه، فرم بستر و مقدار سینوسی (متاندر) بودن مسیر رودخانه که به آسانی قابل اندازه‌گیری نیستند در ترم مقاومت جریان دیده می‌شود بنابراین از آوردن تأثیر مستقیم آن‌ها صرفه نظر می‌شود. از ترم مربوط به عددی رینولدز هم به خاطر آشفتگی بودن و زبر بودن جریان صرفه نظر می‌گردد و در نهایت فرم نهایی معادله ۳ به صورت زیر در خواهد آمد.

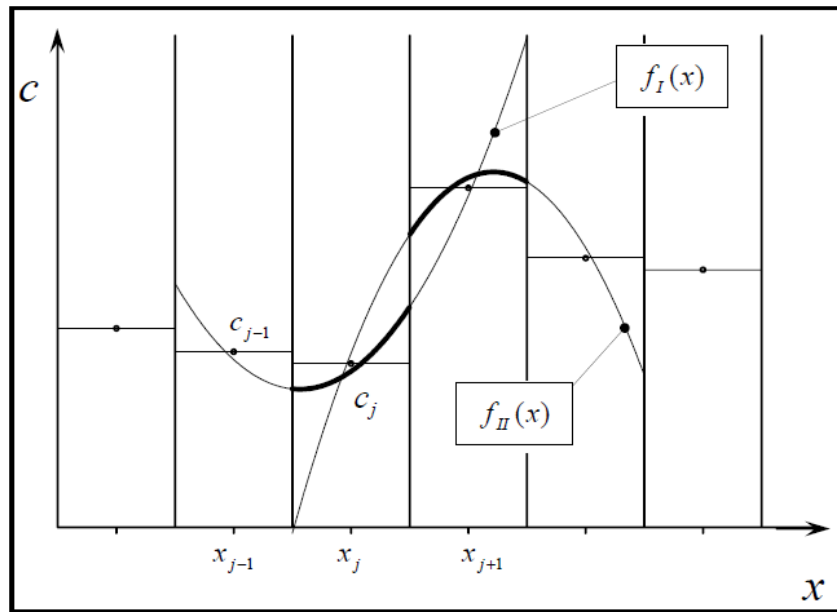
$$\frac{D_L}{hu_*} = f_2 \left(\frac{u}{u_*}, \frac{w}{h} \right) \quad (4)$$

روش احجام محدود^۱

استفاده از روش حجم محدود برای محاسبات دینامیک سیالات از دهه ۷۰ توسط محققینی همانند مک‌دونالد، مک‌کورمک و پاولی، آغاز شده است. ایده اصلی فرمول‌بندی با استفاده از حجم محدود از نظر درک ساده و از نظر فیزیکی قابل تفسیر است. از دیدگاه فیزیکی این روش بر مبنای ایجاد تعادل در سرتاسر حجم‌های کنترلی است یعنی اینکه مفهوم اولری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش حجم محدود معادلات اساسی به فرم انتگرالی گسسته می‌شوند. میدان محاسباتی به تعدادی حجم کنترل به گونه‌ای تقسیم می‌شود که هر گره را یک حجم کنترل احاطه کرده و حجم‌های کنترلی دارای حجم‌های مشترک با یکدیگر نباشند. معادله دیفرانسیل روی هر یک از حجم‌های کنترلی انتگرال گرفته می‌شود. روش حجم محدود دو مزیت اساسی دارد. اول، در این روش بقا کمیت‌ها، یعنی جرم، مومنتم و انرژی حفظ می‌شود. شارها بین حجم‌های کنترل مجاور به‌طور مستقیم در تعادل می‌باشند. دومین مزیت این روش این است که شماهای حجم محدود قابلیت تخمین زدن هندسه‌های پیچیده را دارند. به توجه به ماهیت فیزیکی دو ترم انتقال و پخش در معادله حرکت با توجه به توصیه محققینی که در بحث مدل‌سازی انتشار آلودگی کار کرده‌اند بهتر است این دو ترم به صورت جداگانه گسسته شوند و برای ترم انتقال بهتر است که از شماهای صریح و برای ترم پخش نیز بهتر است از شماهای ضمنی استفاده شود برای استخراج نتیجه نهایی از حل عددی تکنیک time splitting بکار گرفته شده است.

حل عددی معادله انتقال خالص

با توجه به توضیحات ذکر شده میدان سیال مانند شکل ۲ به سلول محاسباتی (حجم کنترل) تقسیم می‌شود. تغییرات غلظت داخل



شکل ۳- توزیع غلظت سهمی در سلول

Figure 3- The parabolic concentration distribution in the cell

توزیع می گردد و سپس تغییرات غلظت این ماده را با زمان حداقل در دو ایستگاه در پایین دست محل تزریق اندازه گیری می شود. محل این ایستگاه ها باید به گونه ای انتخاب گردد که اختلاط کامل ماده رنگی در سطح مقطع جریان صورت گیرد. روش روندیابی شامل انطباق منحنی مشاهداتی (C-t) در ایستگاه پایین دست با منحنی (C-t) محاسباتی در آن ایستگاه است. برای محاسبه منحنی (C-t) در ایستگاه پایین دست از منحنی مشاهده ای در ایستگاه بالادست و یک مقدار D_L مناسب استفاده می شود معمولاً مقدار صحیح D_L با آزمون و خطا به دست می آید. از معادله ۱۰ که توسط فیشر (۱۹۸۶) ارائه شده است، برای محاسبه غلظت در ایستگاه x(2) با داشتن غلظت در ایستگاه x(1) استفاده نمود.

$$C(x_2, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} uC(x_1, t) \frac{\exp\left\{-\frac{[t_2 - t_1 - t + \tau]^2}{4D_L(t_2 - t_1)}\right\}}{\sqrt{4\pi D_L(t_2 - t_1)}} d\tau \quad (10)$$

که در آن $C(x_1, t)$ غلظت مشاهداتی ماده رنگی در ایستگاه x(1). $C(x_2, t)$ غلظت محاسباتی در ایستگاه x(2). τ متغیر زمانی انتگرالی. استفاده از معادله بالا برای تعیین D_L شامل مراحل زیر است:

معادله بالا را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

$$\begin{aligned} A_j^1 &= -\frac{1}{2} \frac{D_x \Delta t}{(\Delta x)^2} \\ A_j^2 &= 1 + \frac{D_x \Delta t}{(\Delta x)^2} \\ A_j^3 &= -\frac{1}{2} \frac{D_x \Delta t}{(\Delta x)^2} \\ A_j^0 &= c_j^n + \frac{1}{2} \frac{D_x \Delta t}{(\Delta x)^2} (c_{j-1}^n - 2c_j^n + c_{j+1}^n) \\ A_i^1 C_{i-1}^{n+1} + A_i^2 C_i^{n+1} + A_i^3 C_{i+1}^{n+1} &= A_i^0 \end{aligned} \quad (9)$$

روش روندیابی غلظت

در قسمت قبل روابطی برای تخمین ضریب پخشیدگی معرفی شد. نظر به اینکه برآورد ضریب پخشیدگی با این روابط همواره با خطای زیادی همراه است، داده ها و اطلاعات آزمایشگاهی و صحرایی برای کنترل مقادیر ضرایب تخمینی و نیز انتخاب روابط تجربی بهتر ضروری است. روش های متفاوتی برای انجام آزمایش ها و جمع آوری داده ها در آزمایشگاه و صحرای وجود دارد که در اینجا به شرح روش روندیابی و نحوه استفاده از داده های اندازه گیری شده در این روش پرداخته می شود. در هر یک از روش های مستقیم داده ایی مورد نیاز است که باید جمع آوری شود. معمولاً در ابتدا یک ماده رنگی که چگالی آن با آب یکی باشد در محلی به طور لحظه ای به جریان کانال

به رودخانه تزریق شده و بازه‌ای از رودخانه که دارای طولی حدود ۱۴ کیلومتر است مورد مطالعه قرار گرفت. بازه انتخاب شده بین Lanidloes و Caersws انتخاب شده است.

برای نمونه‌گیری از هفت ایستگاه در پایین دست محل تزریق ردیاب استفاده شده است مختصات ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده در جدول ۲ آمده است. ماده ردیاب به غلظت ۱۰۰۰ (ppb) به صورت ناگهانی و آبی به داخل رودخانه تزریق شده است.

رودخانه Narew

در تحقیقی دیگری که توسط روینسکی و همکاران (۲۰۰۳) برای مطالعه مکانیسم انتقال آلودگی در رودخانه Narew انجام شد مقدار بیست (۲۰) لیتر از ماده Rhodamine WT (20%) به‌طور ناگهانی در پایین پل سورز به داخل رودخانه تخلیه شد و سپس با نمونه‌برداری از آب رودخانه در ایستگاه‌های 2-N تا 7-N مقدار پروفیل غلظت اندازه‌گیری شد. که ایستگاه‌های اندازه‌گیری در شکل ۵ نشان شده است. در شکل شماتیک منطقه مورد مطالعاتی از این رودخانه آورده شده است این منطقه به این دلیل انتخاب شده است که در این بازه هیچ‌گونه زهکشی از مواد صنعتی و شهری به داخل رودخانه وجود ندارد. اطلاعات مربوط به مشخصات هندسی و هیدرولیکی ایستگاه‌های اندازه‌گیری در جدول ۳ آورده شده است.

- یک مقدار آزمایشی برای D_L تعیین می‌شود.

پس از تعیین مقدار D_L آن را در معادله بالا قرار داده.

- دو منحنی توزیع غلظت مشاهده‌ای و محاسباتی در ایستگاه ۲ را مقایسه و ارزیابی نموده اگر انطباق مناسب بود که D_L را پذیرفته وگرنه به مرحله ۱ بازگشته و مقدار جدیدی برای D_L فرض شده و محاسبات تکرار شده تا انطباق مناسبی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی ایجاد گردد (۲).

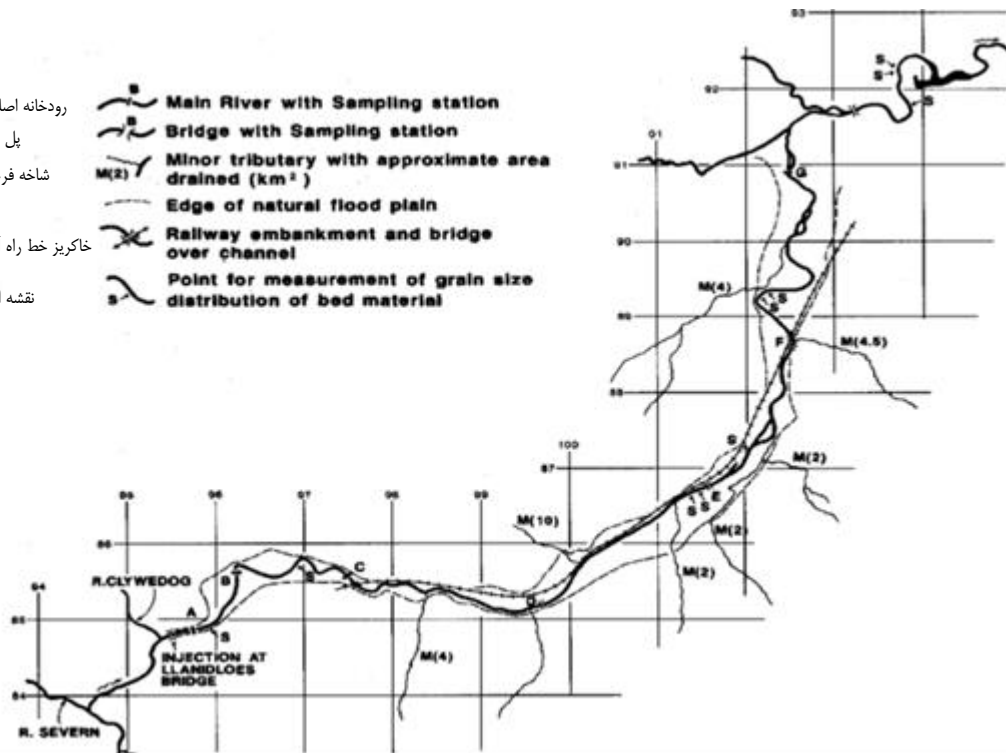
$$t = \frac{\int_0^{\infty} tC(x,t)}{\int_0^{\infty} C(x,t)} \quad (11)$$

مناطق مورد مطالعه

رودخانه Severn

در پژوهشی که توسط آنکینسون و دیویس (۲۳) به‌عنوان مطالعه موردی بر روی رودخانه Severn در انگلستان (شکل ۴) انجام شد از ماده (Rhodamine WT 20%) به‌عنوان ردیاب جهت بررسی مکانیسم انتشار آلودگی مدنظر قرار گرفته است. این ماده به صورت آبی

- رودخانه اصلی با ایستگاه های نمونه برداری
- پل با ایستگاه های نمونه برداری
- شاخه فرعی با مساحت تقریبی حوضه مرز منطقه سیلاب دشت
- خاکریز خط راه آهن و پل بر روی رودخانه
- نقشه اندازه گیری اندازه بار بستر

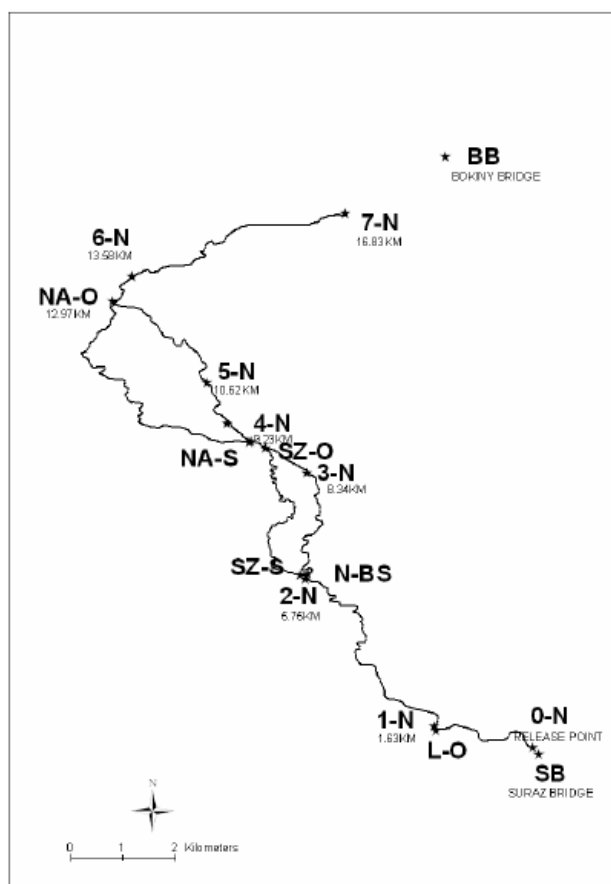


شکل ۴- نمایی از مسیر رودخانه (Severn River) (۲۳)

Figure 4- Schematic shape of the Severn River

جدول ۲- مختصات جهانی ایستگاه‌های اندازه‌گیری
Table 2- Universal coordinate of sampling station

ایستگاه	مختصات	فاصله (m)
Station	Coordinate	Distance
تزریق Injection	SN 9549 8479	0
A	SN 9570 8488	210
B	SN 9621 8561	1175
C	SN 9748 8558	2875
D	SN 9969 8518	5275
E	SO 0160 8677	7775
F	SO 0252 8858	10275
G	SO 0220 9090	13775



شکل ۵- نمایی از مسیر رودخانه (Upper Narew River)
Figure 5- Schematic shape of the Upper Narew River

نتایج و بحث

ارزیابی فرمول‌های تجربی

ترتیب حدود ۰/۰۴۵ و ۰/۰۵ استخراج شده است. از مقایسه مقادیر محاسبه شده برای ضریب پخش حاصل شده از روش روندیابی و معادلات تجربی (جدول ۴) نتیجه می‌شود که هیچ‌یک از این معادلات دارای دقت مطلوب نیست و در بهترین حالت دارای ضریب همبستگی $(R^2 = 0.4)$ است بنابراین استفاده از نتایج چنین معادلاتی با خطای زیادی همراه می‌باشد.

برای ارزیابی فرمول‌های تجربی ابتدا مشخصات هیدرولیکی و هندسی جریان در هر یک از ایستگاه‌های اندازه‌گیری را استخراج نموده و برای سرعت برشی که نیازمند همه فرمول‌های تجربی است با تحقیقات انجام شده برای هر یک از رودخانه Severn و Narew به

جدول ۳- مختصات هندسی و هیدرولیکی مقاطع اندازه‌گیری

Table 3- Hydraulic and geometrical properties of sampling station

رودخانه River	ایستگاه Station	عرض (m) Width	عمق (m) Depth	سرعت متوسط (m/s) Mean Velocity	سرعت برشی (m/s) Shear Velocity
رودخانه سورن Severn River	B	22	0.45	0.73	0.045
	C	22	0.45	0.71	0.045
	D	23	0.5	0.71	0.045
	E	24	0.5	0.65	0.045
	F	25	0.45	0.66	0.045
	G	25	0.53	0.66	0.05
رودخانه نارو Narew River	N-3	14.2	1.35	0.27	0.05
	N-4	21.3	0.76	0.31	0.05
	N-5	24.2	0.88	0.24	0.05
	N-6	17.8	0.87	0.41	0.05

جدول ۴- نتایج محاسبه ضریب پخش از روش روندیابی و فرمول‌های تجربی

Table 4- Results of D_L calculation using the DRM and empirical formulas

رودخانه River	ایستگاه اندازه‌گیری رودخانه سورن Sever River Stations						ایستگاه اندازه‌گیری رودخانه نارو Narew River Stations				R^2	
	A	B	C	D	E	F	N-1	N-2	N-3	N-4		
معادله Equation												
ضریب پخشیدگی	41.5	26.5	12.5	38.5	37.5	29.5						
D_L							28.1	56.00	35.00	18.00		
1	0.11	0.12	0.14	0.14	0.12	0.15	0.21	0.36	0.20	0.23	0.23	0.18
2	1069.3	905.9	1071.9	1069.0	957.00	1166.7	0.00	2008.7	1074.7	1272.1	1562.8	0.48
3	150.11	132.5	124.82	116.39	147.89	117.72	0.17	2.68	13.57	9.14	14.60	0.03
4	2.51	2.69	2.38	2.43	3.06	2.35	0.11	0.19	0.91	0.77	0.58	0.41
5	33.90	34.61	34.79	35.86	43.08	37.87	0.07	2.97	12.59	12.37	8.85	0.30
6	12.92	13.84	14.66	15.30	16.77	16.48	0.00	4.14	10.15	11.42	7.25	0.30
7	74.03	69.07	72.53	66.24	67.35	69.71	0.01	20.16	24.68	19.69	34.86	0.17
8	27.10	29.04	29.84	31.80	37.50	33.96	0.02	4.03	16.12	17.97	9.83	0.34
9	18.26	17.42	17.73	16.93	18.85	17.71	0.05	2.23	5.18	4.32	5.53	0.02
10	3.49	3.39	3.77	3.45	3.15	3.71	0.40	3.88	2.46	2.21	3.74	0.17
11	586.11	490.8	490.46	416.21	441.10	424.40	0.00	54.41	73.23	46.79	135.96	0.22
12	56.13	53.29	55.25	51.81	54.99	54.47	0.01	10.97	18.35	15.22	22.13	0.01

حل تحلیلی

حل تحلیلی معادله ۱ با شرایط مرزی و هندسی ساده موجود است و منجر به یک توزیع نرمال گوسی می‌شود که به حل گوسی هم معروف است و ویژگی حل گوسی و نمایش پروفیل غلظت به صورت تابع توزیع نرمال این است که پیک غلظت با عکس مجذور زمان و مکان (فاصله) کاهش می‌یابد. معادله ۱۲ حل تحلیلی معادله انتقال پخش با تزریق لحظه‌ای (ناگهانی) آلاینده به داخل آبراهه است که به حالت ترسیم آن صورت شکل ۶ ظاهر می‌شود.

$$C(\pm\infty, t) = 0$$

$$C(0, t) = M$$

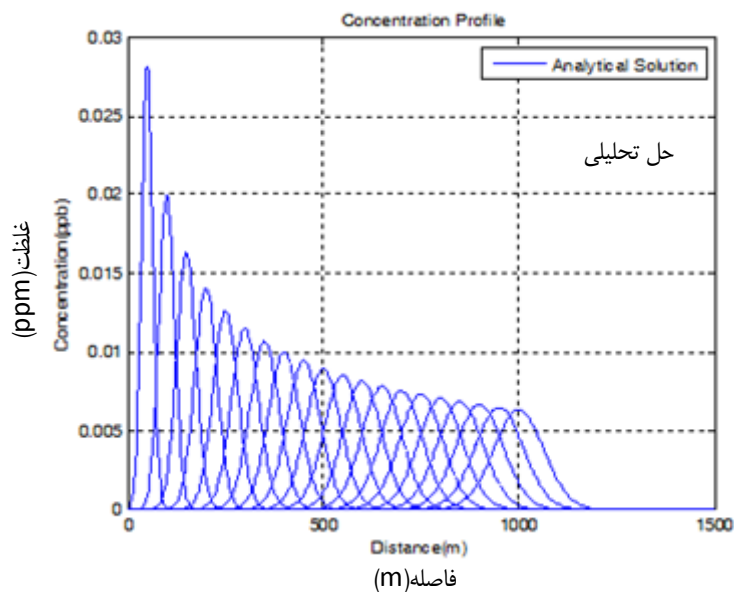
$$C(x, t) = \frac{M}{\sqrt{4\pi D_L t}} \exp\left(-\frac{(x_{inj} - ut)^2}{4D_L t}\right) \quad (12)$$

در این فرمول M : جرم مواد آلاینده، x_{inj} : محل تزریق آلودگی، x :

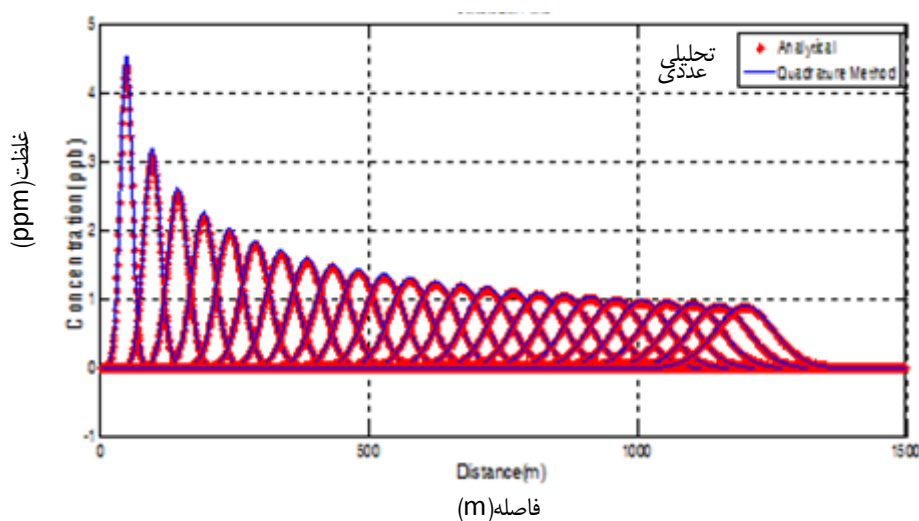
طول رودخانه است. در شکل زیر حل تحلیلی معادله حرکت با شرایط آورده شده است.

مقایسه با حل تحلیلی معادله انتقال پخش

برای بررسی اولیه درستی عملکرد مدل توسعه داده شده حل تحلیلی معادله انتقال پخش را با نتایج مدل مقایسه شده است. در نمودارهای (شکل ۷) زیر پروفیل غلظت در هر ۴۰ ثانیه یک بار پلات شده است و البته پیک غلظت برای نمایش بهتر در شکل خروجی حدود ۴/۵ برابر شده است لازم به ذکر است که ضریب پخش مدل عددی و تحلیلی یکسان در نظر گرفته و گام‌های مکانی و زمانی به ترتیب ۴ متر و ۲ ثانیه در نظر گرفته شده است.



شکل ۶- حل تحلیل معادله انتقال پخش کلاسیک با تزریق لحظه‌ای آلاینده
Figure 6- Results of analytical solution of the ADE



شکل ۷- مقایسه نتایج مدل عددی و حل تحلیلی
Figure 7- Comparison of analytical and numerical solution of ADE

جدول ۴ آورده شده است و در نهایت عملکرد مدل برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل‌های ۸ تا ۱۰ نشان داده شده است. همان‌طور که از جدول ۴ پیداست کمترین مقدار ضریب پخش برای رودخانه Severn مربوط به ایستگاه D است و بیشترین مقدار آن ۳۸/۵ مربوط به ایستگاه C. در رودخانه ناریو حداقل مقدار ضریب پخش ۱۸/۴۳ برای ایستگاه N-5 و بیشترین آن در حدود ۵۶/۳۲ برای ایستگاه N-3 به دست آمد. دقت مدل توسعه داده شده برای شبیه‌سازی انتشار آلودگی در رودخانه سورن برابر با $(R^2 = 0.83)$ و برای رودخانه ناریو

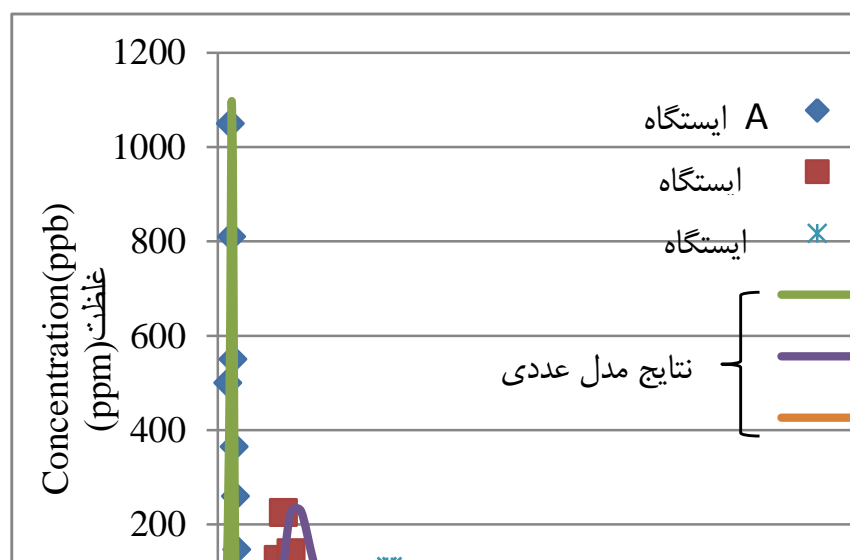
نتایج مدل عددی برای رودخانه Severn و Narew
برای تأیید کارکرد مدل توسعه داده شده در مسائل عملی، مدل‌سازی انتقال آلودگی در رودخانه‌های Severn و Narew انجام شده است. ورودی‌های مدل برابر با مقدار گام‌های زمانی، مکانی، سرعت و همچنین ضریب پخشیدگی است لازم به ذکر است که شرایط اولیه در نظر گرفته شده برای هر رودخانه همان تزریق ناگهانی به داخل رودخانه است. مقادیر به کاررفته در مدل برای هر ایستگاه در

($R^2=0.91$) بدست آمد. ارزیابی کلی دقت مدل عملکرد آن را جهت مدل سازی انتشار آلودگی در رودخانه ها را تایید می نماید.

جدول ۴- مقادیر پارامترهای بکار گرفته شده در مدل توسعه داده شده برای ایستگاههای A تا G

Table 4- The value of used parameters for the DRM to calculate the D_L

رودخانه River	ایستگاه Station	گام مکانی (m) $\Delta x (m)$	گام زمانی (s) $\Delta t (s)$	ضریب پخشیدگی (m^2/s) $D_L (m^2/s)$
رودخانه سورن Severn River	A	4	2	41.5
	B	4	2	26.5
	C	4	2	12.5
	D	4	2	38.5
	E	4	2	37.5
	F	4	2	29.5
	G	4	2	
رودخانه ناریو Narew River	N-2	4	2	28.15
	N-3	4	2	56.00
	N-4	4	2	35.0
	N-5	4	2	18.00

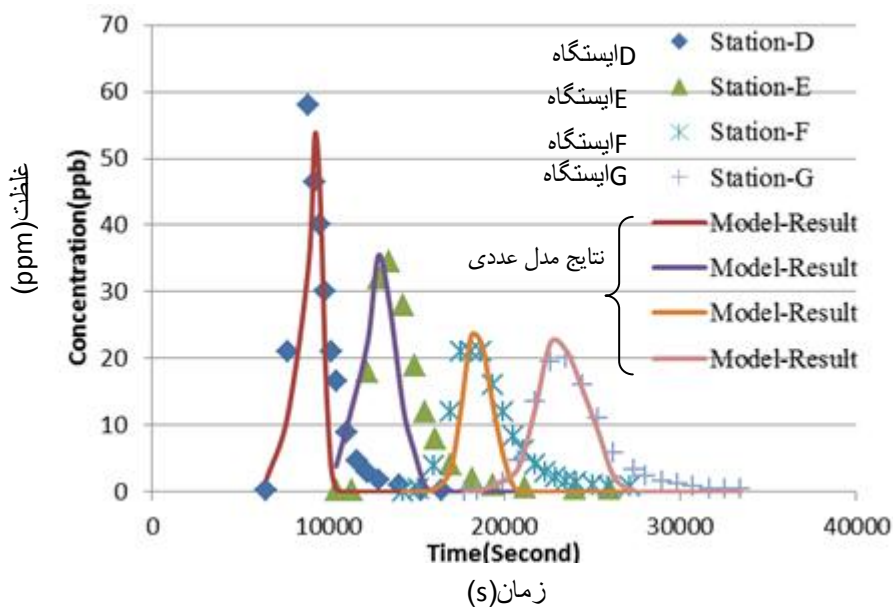


شکل ۸- نتایج مدل عددی در ایستگاههای اندازه گیری رودخانه سورن (ایستگاه A تا C)
Figure 8- Results of simulation of pollution transmission in Severn River

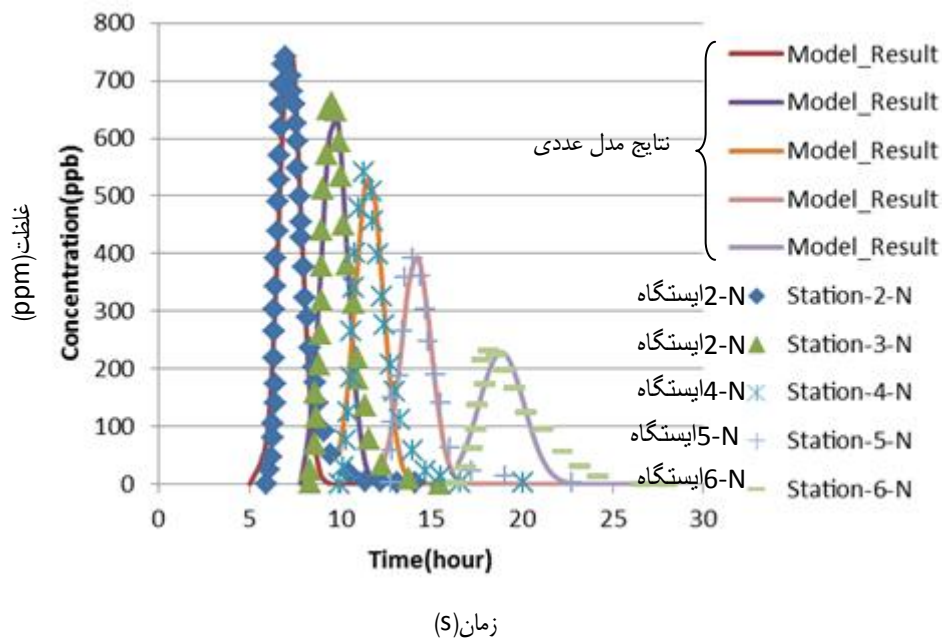
نتیجه گیری کلی

پخش با روش کاملاً ضمنی گسسته سازی و حل شده‌اند. برای محاسبه ضریب پخش از روش روندیابی استفاده شده است این روش ضریب پخشیدگی را به صورت مستقیم از پروفیل غلظت مشاهداتی استخراج می نماید. نتایج اجرای مدل توسعه داده شده با حل تحلیلی معادله انتقال پخش و داده های غلظت مشاهداتی رودخانه Severn و Narew مقایسه و دقت آن تایید گردید.

هدف اصلی از این مقاله توسعه مدل عددی برای حل معادله انتقال پخش (ADE) در رودخانه ها است. در این مدل برای حل عددی معادله دیفرانسیل انتقال پخش از روش اجسام محدود استفاده شده است و برای تخمین ضریب پخش نیز از روش روندیابی استفاده شده است. برای حل معادله از تکنیک time splitting استفاده شده و عبارت انتقال با شمای مرتبه سوم Quickest و عبارت



شکل ۹- نتایج مدل عددی در ایستگاه های اندازه گیری رودخانه Severn (ایستگاه D تا F)
 Figure 9- Results of simulation of pollution transmission in Severn River (continue)



شکل ۱۰- نتایج مدل عددی در ایستگاه های اندازه گیری رودخانه Narew
 Figure 10- Results of simulation of pollution transmission in Narew River

منابع

- 1- Riahi-Madvar, H., et al., An expert system for predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams by using ANFIS. Expert Systems with Applications, 2009. 36(4): p. 8589-8596.
- 2- Mahmoudian Shooshtari, M., principles of open channel flow .Vol. 2. 2003, Ahvaz: Shahid Chamran University. 486.

- 3- Baghbanpour*, S. and S. M. Kashefipour, Numerical Modeling of Suspended Sediment Transport in Rivers (Case Study: Karkheh River). JWSS - Isfahan University of Technology, 2012. 16(61): p. 45-58.
- 4- Mirbagheri, S., M. Abaspour, and K. Zamani, Mathematical modeling of water quality in river systems. 2009.
- 5- Mahdavi, A., S.M. Kashefipour, and M.H. Omid, Effect of sorption process on cadmium transport. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management, 2013. 166(3): p. 152-162.
- 6- Benedini, M. and G. Tsakiris, Water quality modelling for rivers and streams. 2013: Springer Science & Business Media.
- 7- Szymkiewicz, R., Numerical Solution of the Advection Equation, in Numerical Modeling in Open Channel Hydraulics. 2010, Springer Netherlands. p. 219-261.
- 8- Parsaie, A. and A. Haghiabi, The Effect of Predicting Discharge Coefficient by Neural Network on Increasing the Numerical Modeling Accuracy of Flow Over Side Weir. Water Resources Management, 2015. 29(4): p. 973-985.
- 9- Parsaie, A., A. Haghiabi, and A. Moradinejad, CFD modeling of flow pattern in spillway's approach channel. Sustainable Water Resources Management, 2015. 1(3): p. 245-251.
- 10- Parsaie, A., H. Yonesi, and S. Najafian, Predictive modeling of discharge in compound open channel by support vector machine technique. Modeling Earth Systems and Environment, 2015. 1(2): p. 1-6.
- 11- Parsaie, A. and A. Haghiabi, Computational Modeling of Pollution Transmission in Rivers. Applied Water Science, 2015: p. 1-10.
- 12- Kashefipour, S.M. and A. Roshanfekr, Numerical modelling of heavy metals transport processes in riverine basins. 2012: INTECH Open Access Publisher.
- 13- Kashefipour, S.M., B. Lin, and R.A. Falconer, Dynamic modelling of bacterial concentrations in coastal waters: effects of solar radiation on decay. 2002.
- 14- Ataie-Ashtiani, B., D.A. Lockington, and R.E. Volker, Truncation errors in finite difference models for solute transport equation with first-order reaction. Journal of Contaminant Hydrology, 1999. 35(4): p. 409-428.
- 15- Ataie-Ashtiani, B. and S.A. Hosseini, Error analysis of finite difference methods for two-dimensional advection–dispersion–reaction equation. Advances in Water Resources, 2005. 28(8): p. 793-806.
- 16- Naseri Maleki, M. and S.M. Kashefipour, Application of Numerical Modeling for Solution of Flow Equations and Estimation of Water Quality Pollutants in Rivers (Case Study: Karkheh River). Civil and Environmental Engineering, 2012. 42.3(68): p. 51-60.
- 17- Givhechi, M., M. Faghfour Maghrebi, and J. Abrishami, Application of Depth-Averaged Velocity Profile for Estimation of Longitudinal Dispersion in Rivers. Ab va Fazilab Journal, 2009. 20(4): p. 91-96.
- 18- Riahi Modvar, H. and S.A. Ayyoubzadeh, Estimating Longitudinal Dispersion Coefficient of Pollutants Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. Ab va Fazilab Journal, 2008. 19(3): p. 34-46.
- 19- IZADINIA, E. and K.J. ABEDI, INVESTIGATION OF LONGITUDINAL DISPERSION COEFFICIENT IN RIVERS. 2011.
- 20- Banejad ,H., et al., Numerical Simulation of the Flow and Contaminant Transport in Groundwater, Case Study: Nahavand Plain Aquifer. Water and Soil Science, 2013. 23(2): p. 43-57.
- 21- Shen, C., et al., Estimating longitudinal dispersion in rivers using Acoustic Doppler Current Profilers. Advances in Water Resources, 2010. 33(6): p. 615-623.
- 22- Seo, I.W. and T.S. Cheong, Predicting Longitudinal Dispersion Coefficient in Natural Streams. Journal of Hydraulic Engineering, 1998. 124(1): p. 25-32.
- 23- Atkinson, T. and P. Davis, Longitudinal dispersion in natural channels: 1. Experimental results from the River Severn, UK. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2000. 4(3): p. 345-353.
- 24- Davis, P. and T. Atkinson, Longitudinal dispersion in natural channels . ۲ :An aggregated dead zone model applied to the River Severn, UK. HYDROL EARTH SYST SC, 2000. 4(3): p. 373-381.
- 25- Davis, P., T. Atkinson, and T. Wigley, Longitudinal dispersion in natural channels: 2. The roles of shear flow dispersion and dead zones in the River Severn, UK. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2000. 4(3): p. 355-371.
- 26- Zeng, Y. and W. Huai, Estimation of longitudinal dispersion coefficient in rivers. Journal of Hydro-environment Research, 2014. 8(1): p. 2-8.

- 27- Najafzadeh, M. and A.A. Sattar, Neuro-Fuzzy GMDH Approach to Predict Longitudinal Dispersion in Water Networks. *Water Resources Management*, 2015. 29(7): p. 2205-2219.
- 28- Sattar, A.M.A. and B. Gharabaghi, Gene expression models for prediction of longitudinal dispersion coefficient in streams. *Journal of Hydrology*, 2015. 524(0): p. 587-596.
- 29- Azamathulla, H. and A. Ghani, Genetic Programming for Predicting Longitudinal Dispersion Coefficients in Streams. *Water Resources Management*, 2011. 25(6): p. 1537-1544.
- 30- Azamathulla, H.M. and F.-C. Wu, Support vector machine approach for longitudinal dispersion coefficients in natural streams. *Applied Soft Computing*, 2011. 11(2): p. 2902-2905.
- 31- Noori, R., et al., How Reliable Are ANN, ANFIS, and SVM Techniques for Predicting Longitudinal Dispersion Coefficient in Natural Rivers? *Journal of Hydraulic Engineering*, 2015. 0(0): p. 04015039.
- 32- Noori, R., et al., Predicting the Longitudinal Dispersion Coefficient Using Support Vector Machine and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Techniques. *Environmental Engineering Science*, 2009. 26(10): p. 1503-1510.
- 33- Noori, R., et al., A framework development for predicting the longitudinal dispersion coefficient in natural streams using an artificial neural network. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 2011. 30(3): p. 439-449.
- 34- Kashefipour, S.M. and R.A. Falconer, Longitudinal dispersion coefficients in natural channels. *Water Research*, 2002. 36(6): p. 1596-1608.

Calculation of Longitudinal Dispersion Coefficient and Modeling the Pollution Transmission in Rivers (Case studies: Severn and Narew Rivers)

A. Parsaie^{1*} - A.H. Haghiabi²

Received: 22-08-2013

Accepted: 09-11-2015

Introduction: The study of rivers' water quality is extremely important. This issue is more important when the rivers are one of the main sources of water supply for drinking, agriculture and industry. Unfortunately, river pollution has become one of the most important problems in the environment. When a source of pollution is transfused into the river, due to molecular motion, turbulence, and non-uniform velocity in cross-section of flow, it quickly spreads and covers all around the cross section and moves along the river with the flow. The governing equation of pollutant transmission in river is Advection Dispersion Equation (ADE). Computer simulation of pollution transmission in rivers needs to solve the ADE by analytical or numerical approaches. The ADE has analytical solution under simple boundary and initial conditions but when the flow geometry and hydraulic conditions becomes more complex such as practical engineering problems, the analytical solutions are not applicable. Therefore, to solve this equation several numerical methods have been proposed. In this paper by getting the pollution transmission in the Severn River and Narew River was simulated.

Materials and Methods: The longitudinal dispersion coefficient is proportional of properties of Fluid, hydraulic condition and the river geometry characteristics. For fluid properties the density and dynamic viscosity and for hydraulic condition, the velocity, flow depth, velocity and energy gradient slope and for river geometry the width of cross section and longitudinal slope can be mentioned. Several other parameters are influential, but cannot be clearly measured such as sinuosity path and bed form of river. To derive the governed equation of pollution transmission in river, it is enough to consider an element of river and by using the continuity equation and Fick laws to balancing the inputs and outputs the pollution discharge. To calculate the dispersion coefficient several ways as empirical formulas and artificial intelligent techniques have been proposed. In this study LDC is calculated for the Severn River and Narew River and some selected empirical formulas have been assessed to calculate the LDC.

Dispersion Routing Method: As mentioned previously, calculating the LDC is more important, so firstly, the longitudinal dispersion was calculated from the concentration profile by Dispersion Routing Method (DRM). Using the DRM included the four stage.1-considering of initial value for LDC .2-calculating the concentration profile at the downstream station by using the upstream concentration profile and LDC.3- Performing a comparison between the calculated profile and measured profile.4- if the calculating profile is not a suitable cover, the measured profile of the process will be repeated until the calculated profile shows a good covering on the measured profile.

Numerical Method: The ADE includes two different parts advection and dispersion. The pure advection term is related to transmission modeling without any dispersing and the dispersion term is related to the dispersion without any transmission. To discrete the ADE the finite volume method was used. According to physical properties of these two terms and the recommendation of researchers a suitable scheme should be considered for numerical solution of ADE terms. Among the finite volume schemes, the quickest scheme was selected to discrete the advection term, because of this scheme has suitable ability to model the pure advection term. The quickest scheme is an explicit scheme and the stability condition should be considered. To discrete the dispersion term, the central implicit scheme was selected. This scheme is unconditionally stable.

Results and Discussion: The results of longitudinal dispersion coefficient for the Severn River and Narew River were calculated using the DRM method and empirical formulas. The results of LDC calculation showed that the minimum and maximum values for the Severn River was equal to the 12.5 and 41.5 respectively and for the Narew River were reported as 18.0 and 56.0 respectively. The value of the LDC derived using the DRM was used as one of the input parameters for developing the computer program. For validation of numerical model, a comparison was conducted with results of analytical solution. This comparison showed that the performance of numerical method is quite suitable. For assessing the performance of numerical model the pollution transmission

1, 2- Ph.D Student and Associate Professor of Water Engineering Department, Lorestan University
(*-Corresponding Author Email: Abbas_Parsaie@yahoo.com)

in the both mentioned rivers was simulated. The calculated LDC and time steps and distance steps was considered as 4m and 2s. The results of simulation showed that the performance of developed computer model is suitable for practical purposes.

Conclusion: In this paper the Finite volume method such as numerical model for Discretization the ADE and also estimating the LDS the Dispersion routing method has been used. To primary evaluating of the model the comparison between the model result and analytical solution of ADE has been done. To assess the accuracy of the model in engineering work the results of the model compared with two rivers data observations (Severn and Narew). Final result showed that the performance of model is suitable.

Keywords: Transmission of Pollutant, Finite Volume Method, Severn River, Narew River, Dispersion Routing