

Investigation of Longitudinal Dispersion Coefficient in rivers

E. Izadinia^{1*} and J. Abedi-Koupai²

Abstract

Over the course of recent decades, agricultural and industrial activities have led to a considerable pollution in rivers. To control the river pollution level, the waste water discharge should be regulated. Pollutions have been dispersed in longitudinal, lateral, and vertical direction. The longitudinal dispersion of pollutants in river is important. In this study, a comprehensive equation was proposed for longitudinal dispersion coefficient using dimensional analysis. Dimensional and statistical analysis indicated that longitudinal dispersion coefficient depends on roughness coefficient and the ratio of width to depth of river. Sensitivity analysis indicated that roughness coefficient had the highest effect on longitudinal dispersion coefficient. The proposed methodology is a new approach to estimate dispersion coefficient in streams and can be implemented into mathematical models of pollutant transfer.

Keywords: Pollutant Transfer, Longitudinal Dispersion Coefficient, Dimensional analysis.

Received: February 28, 2009

Accepted: March 16, 2011

تعیین ضریب پراکندگی طولی آلودگی در رودخانه‌ها

الهام ایزدی‌نیا^۱ و جهانگیر عابدی‌کوپائی^{۲*}

چکیده

طبق مطالعات چند دهه اخیر، فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی منجر به آلودگی قابل ملاحظه در رودخانه‌ها می‌گردد. برای کنترل آلودگی در جریان‌های روباز، رهاسازی آلاینده‌ها باید به صورت منطقی و تنظیم شده انجام شود. این موضوع نیازمند اطلاع دقیق از توانایی حمل، پخش و پاک‌سازی آلودگی توسط جریان آب در طول مشخصی از مسیر خود (طول اختلاط کامل) است. آلاینده‌ها در جهات طولی، عرضی و عمقی تحت تأثیر فرآیندهای انتقال و اختلاط منتشر می‌شوند. انتقال طولی آلاینده‌ها یکی از مراحل مهم در پروسه رقیق‌سازی آلاینده‌ها می‌باشد که شناخت آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مطالعه رابطه‌ای جامع در برگزیده پارامترهای مؤثر بر ضریب اختلاط طولی با استفاده از آنالیز ابعادی ارائه شده است. به منظور بررسی میزان تأثیر هر یک از پارامترهای مؤثر از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده گردید. نتایج نشان داد پارامترهای مؤثر بر ضریب اختلاط طولی، ضریب زبری و نسبت عرض به عمق می‌باشند. از آنالیز حساسیت صورت گرفته مشخص شد تأثیر ضریب زبری بر ضریب اختلاط طولی بیشتر می‌باشد. روش ارائه شده در این تحقیق رهیافت جدیدی در تخمین ضریب پراکندگی طولی آلودگی در رودخانه‌ها محسوب شده و قابلیت ترکیب با مدل‌های ریاضی انتقال آلودگی را دارا می‌باشد.

کلمات کلیدی: انتقال آلودگی، ضریب پراکندگی طولی، آنالیز ابعادی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۰ اسفند ۱۳۸۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۲۵ اسفند ۱۳۸۹

1- PhD student, Dept. of Water Eng., College of Agric., Isf. Univ. Tech, Isfahan, Iran, Email: eizadinia@yahoo.com

2- Assoc. Prof., Dept. of Water Eng., College of Agric., Isf. Univ. Tech., Isfahan, Iran, Email: koupai@cc.iut.ac.ir

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، کدپستی، اصفهان، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

روند رو به رشد آلودگی آب‌های سطحی توسط پساب‌های کشاورزی و فاضلاب صنعتی کارخانه‌های بزرگ که به صورت بی رویه به رودخانه‌ها ریخته می‌شود، یکی از مشکلات مناطقی است که صنایع بزرگ در نزدیکی رودخانه‌ها قرار گرفته و رودخانه تأمین کننده اصلی نیازهای آبی آن‌ها است (عابدی کوپایی و همکاران، ۱۳۸۶). توانایی تخمین و شبیه‌سازی جریان، انتقال آلودگی و رسوب در سیستم‌های رودخانه‌ای برای منابع آب اهمیت زیادی دارد.

استفاده از فرایند پخشیدگی و تقویت خودپالایی رودخانه یکی از مهمترین روش‌های مدیریت زیست محیطی رودخانه محسوب می‌شود. این قابلیت موجب کاهش خطر خسارت به محیط زیست در آینده و افزایش تأثیر مهندسی محیط زیست بر مدیریت منابع آب می‌شود. سرازیر شدن انواع پساب‌های کشاورزی و صنعتی به داخل آبراه‌ها به منظور اکسیدشدن و حذف مواد آلی، به یک عمل مرسوم تبدیل شده است. برای کنترل آلودگی در جریان‌های روباز، رهاسازی آلاینده‌ها باید به صورت منطقی و تنظیم شده انجام شود. این موضوع نیازمند اطلاع دقیق از توانایی حمل، پخش و پاک‌سازی آلودگی توسط جریان آب در طول مشخصی از مسیر خود است که آن را طول اختلاط کامل می‌نامند. در حقیقت طول اختلاط کامل، مسافتی است که جریان در طول آن توانایی رقیق سازی و پخش کامل آلاینده را به صورت یکنواخت در سطح مقطع دارا است (پوراآبادی، ۱۳۸۲).

با تزریق آلاینده‌های مختلف به درون رودخانه، انتقال آن‌ها به پایین دست توسط فرآیند اختلاط با جریان و پراکنش طولی، عرضی و عمقی انجام می‌شود. آلاینده‌ها در جهات طولی، عرضی و عمقی تحت تأثیر فرآیندهای انتقال و اختلاط منتشر می‌شوند. قابلیت و قدرت جریان رودخانه‌ها و دیگر جریان‌های سطحی در پراکنش مواد اضافه شده به آن در جهات طولی، عرضی و قائم توسط ضرائب پراکندگی K_x ، K_y ، K_z بیان می‌شود. در نقاط دورتر از محل تزریق آلاینده، که اختلاط در کل مقطع عرضی کامل می‌شود، تنها پراکندگی طولی قابل توجه خواهد بود. شدت پراکندگی طولی توسط ضریب پراکندگی طولی تعیین می‌شود و نتیجتاً سرنوشت انتقال آلاینده به شدت، تابع پراکندگی طولی است و مدل‌سازی و پایش و تعیین دقیق وضعیت آلودگی رودخانه‌ها نیازمند محاسبه دقیق ضریب پراکندگی طولی آلودگی در آنها است (ریاحی مدوار و ایوب‌زاده، ۱۳۸۷).

تخمین ضریب پراکندگی طولی در رودخانه در مسائل مهندسی رودخانه، محیط زیست، طراحی آبگیرها و دلتاها و ارزیابی خطر تزریق آلاینده‌های خطرناک به درون رودخانه اهمیت ویژه‌ای دارد. بنابراین بررسی دقیق تغییرات غلظت آلاینده‌ها در رودخانه‌های طبیعی با استفاده از مدل‌ها نیازمند انتخاب ضریب پراکنش طولی مناسب است. در صورتی که داده‌های واقعی در دسترس باشند به سادگی می‌توان این ضریب را تعیین کرد ولی در رودخانه‌هایی که مشخصات و ویژگی‌های اختلاط و پراکنش ناشناخته باشند استفاده از روابط تجربی مفید خواهد بود. در این زمینه محققین مختلف روابط تجربی متفاوتی را ارائه نموده‌اند. هریک از روابط برخی از پارامترهای موثر را در نظر گرفته و هنوز رابطه‌ای جامع مورد تأیید همه محققین و دربرگیرنده تمام پارامترهای مؤثر ارائه نشده است. هدف از مطالعه حاضر ارائه رابطه‌ای جامع در برگیرنده پارامترهای مؤثر بدست آمده از آنالیز ابعادی و بررسی میزان تأثیر هر یک از پارامترهای مؤثر با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و تعیین میزان دقت رابطه با داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد.

۲- پیشینه تحقیق

Taylor (1954) اولین فردی بود که ضریب پراکندگی طولی را به عنوان اندازه‌ای از فرآیند پراکندگی طولی یک بعدی توسط معادله انتقال پخش به صورت زیر بیان نمود (ریاحی مدوار و ایوب‌زاده، ۱۳۸۷).

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

که در آن C متوسط غلظت در مقطع، u متوسط سرعت طولی، t زمان، x جهت طولی در راستای جریان و K_x ضریب پراکندگی طولی است.

Taylor (1954) ضریب پراکندگی طولی را برای جریان آشفته در لوله‌ها به صورت زیر ارائه داد:

$$K_x = 5.05 Du^* \quad (2)$$

که در آن D قطر لوله و u^* سرعت برشی می‌باشد.

Elder (1959) ضریب پراکندگی طولی را برای جریان آشفته در کانال‌های باز به صورت زیر ارائه داد:

$$K_x = 5.93 du^* \quad (3)$$

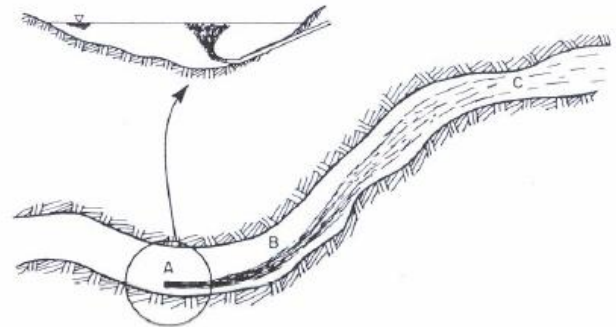
که در آن d عمق جریان و u^* سرعت برشی می‌باشد.

Rutherford (1994) و Deng et al. (2001) رابطه زیر را برای ضریب اختلاط طولی در رودخانه‌ها ارائه کردند:

$$K_x = 0.011 \frac{v^2 w^2}{du_*} \quad (4)$$

که در آن V سرعت متوسط جریان، W عرض رودخانه، d عمق جریان و u_* سرعت برشی می‌باشد.

(Fischer et al. 1979) برای اولین بار مبحث تأثیر پدیده اختلاط بر پخش و کاهش غلظت پساب‌ها در رودخانه را مطرح نمودند. او پدیده اختلاط را شامل سه مرحله در نظر گرفت: در مرحله اول (حد فاصل نقاط A و B در شکل ۱) مواد آلاینده از منبع آلاینده خارج شده و وارد جریان رودخانه می‌شود. در این مرحله مومنتوم اولیه و شناوری جریان دو عاملی هستند که باعث رقیق‌سازی پساب می‌گردد. مرحله دوم (حد فاصل نقاط B و C در شکل ۱) در حالی که پساب‌ها در حال گسترش در عرض و رقیق شدن هستند مومنتوم اولیه و شناوری جریان به تدریج محو شده و در این مرحله آشفتگی و جریان‌های ثانویه ناشی از آن عامل فرایند پخش و اختلاط می‌گردند. مرحله سوم (نقطه C به بعد در شکل ۱) هنگامی است که پساب‌های ورودی در عرض کانال به طور کامل اختلاط پیدا کرده، برش‌های طولی جریان شروع به فعالیت می‌نماید. در پایان این مرحله غلظت در تمام سطح مقطع به یک مقدار ثابت رسیده و اختلاط به طور کامل انجام شده است.



شکل ۱- نمای پخش آلودگی در رودخانه تحت سه مرحله متوالی

طبق رابطه تیلور سرنوشت تزریق آلاینده تابع K_x است که Fischer et al. (1979) عبارت انتگرال سه‌گانه زیر را برای تخمین آن ارائه نمودند.

$$K_x = -\frac{1}{A} \int_0^B \int_0^y \frac{1}{\varepsilon_t h_0} \int_0^y hu' dy dy dy \quad (5)$$

که در آن K_x ضریب پراکندگی طولی، A سطح مقطع جریان، B عرض بالایی سطح آب، h عمق موضعی جریان در هر نقطه عرضی، u' میزان انحراف سرعت متوسط عمقی از سرعت متوسط مقطع، y مختصه عرضی که از ساحل سمت چپ اندازه‌گیری می‌شود و ε_t ضریب اختلاط عرضی است. مقایسه اندازه‌گیری‌های واقعی با نتایج رابطه فوق نشان می‌دهد که در جریان یکنواخت متوسط خطای آن ۳۰٪ و در جریان غیریکنواخت تا ۴ برابر مقادیر واقعی نیز می‌رسد (Taylor and Singh, 2005).

(Fischer et al. 1979) رابطه زیر را برای ضریب اختلاط عرضی برای رودخانه‌های عریض و مستقیم با جریان یکنواخت ارائه نمودند. این رابطه با تغییرات $\pm 50\%$ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$\varepsilon_x \cong 0.15 du_*^* \quad (6)$$

که در آن d عمق جریان و u_*^* سرعت برشی می‌باشد.

(Rutherford 1994) روابط گسترده‌تری را در ارتباط با ضرائب پخشیدگی ارائه کرد:

$$\frac{\varepsilon_t}{du_*} = 0.13 \quad (7) \text{ برای کانال‌های مستطیلی}$$

$$0.3 \leq \frac{\varepsilon_t}{du_*} \leq 0.9 \quad (8) \text{ برای کانال‌های مارپیچ}$$

$$1 \leq \frac{\varepsilon_t}{du_*} \leq 3 \quad (9) \text{ برای کانال‌های منحنی شکل}$$

(Deng et al. 2002) با اندازه‌گیری در ۷۰ آبراهه و کانال مارپیچ در ایالات متحده رابطه زیر را برای ضریب اختلاط عرضی ارائه کردند.

$$0.18 \leq \frac{\varepsilon_t}{du_*} \leq 0.9 \quad (10)$$

با توجه به روابط ارائه شده توسط (Rutherford 1994) برای ضرائب اختلاط عرضی (روابط ۷، ۸ و ۹) و طولی (رابطه ۴)، می‌توان نتیجه گرفت که ضریب اختلاط طولی به طور معکوس با ضریب اختلاط عرضی ارتباط دارد.

$$K_x \approx \frac{1}{\varepsilon_t} \quad (11)$$

(Kashefipour and Falconer 2002) معادله‌ای را بر اساس پارامترهای هیدرولیکی و هندسی برای ضریب پخشیدگی طولی ارائه کردند. Seo and Beak (2004) یک مدل تئوری برای تخمین

با توجه به آنکه فاکتور اصطکاک دارسی- ویسباخ (f) برابر با $8(u_* / u)^2$ است. بنابراین ضریب بدون بعد اختلاط طولی تابعی از فاکتور اصطکاک و نسبت عرض به عمق می‌باشد.

در مطالعه حاضر با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده در ۲۹ رودخانه طبیعی ایالات متحده توسط محققین مختلف از مراجع که در جدول ۱ آورده شده و نرم افزار SPSS روابط بهینه برای ضریب اختلاط طولی بدست آورده می‌شود. همچنین برای تعیین میزان تأثیر پارامترهای بدست‌آمده آنالیز حساسیت بر روی داده‌ها صورت گرفت. سپس با استفاده از تابع خطای NRMSE مقدار خطای نتایج محاسباتی و اندازه گیری تعیین گردید (Gonzalez et al., 2002).

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum [F(x_1, x_2, \dots, x_n) - f(x_1, x_2, \dots, x_n)]^2}{\sum [F(x_1, x_2, \dots, x_n) - \bar{F}]^2}} \quad (15)$$

که در آن F مربوط به مقادیر اندازه‌گیری شده، f برابر با مقادیر محاسبه شده، \bar{F} برابر متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده و x_i پارامتر مستقل می‌باشد.

۴- نتایج و تحلیل نتایج

شکل ۲ تغییرات ضریب اختلاط طولی را نسبت به u/u_* نشان می‌دهد. با توجه به شکل با افزایش نسبت u/u_* ضریب اختلاط طولی افزایش می‌یابد. همان‌گونه که ذکر گردید فاکتور اصطکاک دارسی- ویسباخ (f) برابر با $8(u_* / u)^2$ است. بنابراین می‌توان اذعان نمود با افزایش ضریب زبری، ضریب اختلاط طولی نیز افزایش می‌یابد.

شکل ۳ تغییرات ضریب اختلاط طولی را نسبت به w/h نشان می‌دهد. با توجه به شکل با افزایش نسبت عرض به عمق ضریب اختلاط طولی افزایش می‌یابد. با توجه به آنکه شیب خط راهنما در شکل ۲ بیشتر از شکل ۳ می‌باشد، می‌توان اذعان داشت که تغییرات ضریب زبری بر ضریب اختلاط طولی آلودگی دارای تأثیر بیشتری نسبت به تغییرات نسبت عرض به عمق بر ضریب اختلاط طولی آلودگی می‌باشد. به منظور بررسی دقیق‌تر آن از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده گردید که نتایج آن در ادامه بررسی می‌گردد.

به منظور کمی کردن تأثیر پارامترهای ذکر شده در آنالیز ابعادی و تقریب تابعی برای ضریب اختلاط طولی از نرم‌افزار آماری SPSS نرم‌افزاری کاربردی با قابلیت تقریب تابع بین دو یا چند متغیر و

ضریب پخشیدگی طولی بر اساس توزیع عرضی پروفیل سرعت در رودخانه‌ها پیشنهاد نمودند. (Ahsan 2008) اذعان نمود که ضریب پخشیدگی طولی ثابت نبوده و با تغییر مقطع عرضی کانال، عمق و سرعت جریان تغییر می‌کند. (Riahi-Madvar et al. 2009) با استفاده از شبکه عصبی-فازی به تخمین ضریب پخشیدگی طولی پرداختند نتایج آن‌ها نشان داد شبکه عصبی-فازی از دقت مناسبی در پیش‌بینی این ضریب برخوردار است.

۳- روش تحقیق و آزمایش

همان‌طور که مشخص است تاکنون روابط زیادی در ارتباط با ضرایب پخشیدگی ارائه گشته است، اما رابطه‌ای بی‌بعد که در برگیرنده تأثیر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی جریان باشد، گزارش نشده است. بهره‌گیری از روش آنالیز ابعادی و ارائه متغیرهای بدون بعد این امکان را فراهم می‌سازد که با دقت بیشتری عوامل مؤثر بر رفتار و روابط حاکم بر ضریب اختلاط طولی بررسی گردد. در مطالعه حاضر، آنالیز ابعادی با استفاده از قضیه باکینگهام صورت گرفت، طبق این قضیه اگر یک فرآیند فیزیکی شامل k متغیر بعددار باشد می‌توان آن را به یک رابطه با $k-r$ پارامتر مستقل بدون بعد کاهش داد که در آن r حداقل تعداد ابعاد مرجع لازم برای بیان متغیرها می‌باشد. پارامترهای مؤثر بر ضریب اختلاط طولی ε عبارتند از سرعت متوسط جریان u ، عمق جریان h ، عرض آبراهه w ، تنش برشی کف یا سرعت برشی u_* ، چگالی سیال ρ و لزجت دینامیکی جریان μ می‌باشد. به عبارت دیگر می‌توان نوشت:

$$\varepsilon = f_1(u, h, w, u_*, \rho, \mu) \quad (12)$$

چنانچه u_* ، h و ρ به عنوان متغیرهای تکرار انتخاب شوند، می‌توان رابطه فوق را به صورت زیر بازنویسی نمود:

$$\frac{\varepsilon}{u_* h} = f\left(\frac{u}{u_*}, \frac{w}{h}, Re_*\right) \quad (13)$$

که در رابطه فوق $\frac{\varepsilon}{u_* h}$ را ضریب اختلاط طولی بدون بعد نامند و با K_x نشان می‌دهند.

در رابطه فوق، Re_* عدد رینولدز برشی است که در صورتی که جریان آشفته زبر باشد ($Re_* \geq 70$) می‌توان از تأثیر ویسکوزیته سیال صرف‌نظر نمود. بنابر این رابطه را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

$$\frac{\varepsilon}{u_* h} = f\left(\frac{u}{u_*}, \frac{w}{h}\right) \quad (14)$$

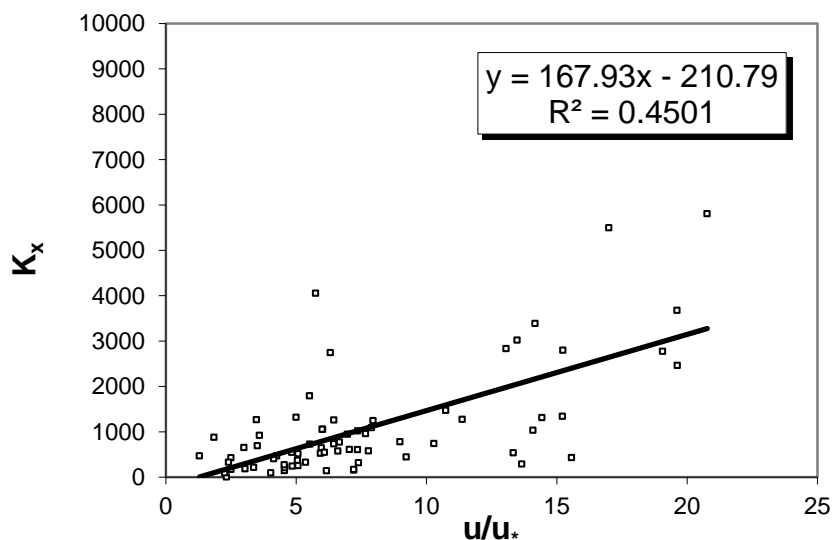
دارای توابع از پیش تعریف شده و مدل‌های آماری است، استفاده استخراج گردید. سپس با استفاده از تابع خطای NRMSE مقدار شده است. رگرسیون گیری چند متغیره خطی و غیرخطی برای ضریب اختلاط طولی به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای مستقل w/h و u/u^* استفاده گردید.

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده در تحقیق

Source	Channel	H (m)	W (m)	U (m/s)	U* (m/s)	ε (m ² /s)	
Fischer [9]	Copper creek, VA (below gage)	0.49	15.9	0.21	0.079	19.52	
		0.84	18.3	0.52	0.100	21.40	
			0.49	16.2	0.25	0.079	9.50
	Clinch river, TN (below gage)	0.86	46.9	0.28	0.067	13.93	
		2.13	59.4	0.86	0.104	53.88	
		2.09	53.3	0.79	0.107	46.45	
	Copper creek, VA (above gage)	0.39	18.6	0.14	0.116	9.85	
		Power river, TN	0.85	33.8	0.16	0.055	9.50
		Clinch river, VA	0.58	36.0	0.30	0.049	8.08
	Coachell canal, CA	1.56	24.4	0.67	0.043	9.57	
McQuiveyand Keefer [12]	Bayou Anacoco	0.94	25.9	0.34	0.067	32.52	
		0.91	36.6	0.40	0.067	39.48	
		0.41	19.8	0.29	0.044	13.94	
	Nooksack river	0.76	64.0	0.67	0.268	34.84	
		2.94	86.0	1.20	0.514	153.29	
	Antietam creek	0.39	15.8	0.32	0.060	9.29	
		0.52	19.8	0.43	0.069	16.26	
		0.71	24.4	0.52	0.081	25.55	
	Monocacyriver	0.32	35.1	0.21	0.043	4.65	
		0.45	36.6	0.32	0.051	13.94	
		0.87	47.5	0.44	0.070	37.16	
	Missouri river	2.23	182.9	0.93	0.065	464.52	
		3.56	201.2	1.27	0.082	836.13	
		3.11	196.6	1.53	0.077	891.87	
	Wind/Bighorn rivers	0.98	67.1	0.88	0.110	41.81	
		2.16	68.6	1.55	0.161	162.58	
	Elkhorn river	0.30	32.6	0.43	0.046	9.29	
		0.42	50.9	0.46	0.046	20.90	
	John Dayriver	0.56	25.0	1.01	0.137	13.94	
		2.46	34.1	0.82	0.169	65.03	
	Comite river	0.26	12.5	0.31	0.043	6.97	
		0.41	15.8	0.37	0.055	13.94	
	Amite river	0.81	36.6	0.29	0.068	23.23	
		0.80	42.4	0.42	0.068	30.19	
	Sabine river	2.04	103.6	0.56	0.054	315.87	
		4.75	127.4	0.64	0.081	668.90	
	Yadkin river	2.35	70.1	0.43	0.101	111.48	
		3.84	71.6	0.76	0.128	260.13	
	Muddycreek	0.81	13.4	0.37	0.077	13.94	
		1.20	19.5	0.45	0.093	32.52	
	Sabine river, Texas	0.98	35.1	0.21	0.041	39.48	
	White river	0.55	67.1	0.35	0.044	30.19	
	Chattahoochee river	1.13	65.5	0.39	0.075	32.52	
Susquehanna river	1.35	202.7	0.39	0.065	92.90		
Seo and Cheong [14]	Antietam creek, MD	0.98	24.1	0.59	0.098	101.50	
		0.66	11.9	0.43	0.085	20.90	
	Monocacyriver, MD	0.71	93.0	0.16	0.046	41.40	
		0.65	51.2	0.62	0.044	29.60	
		1.15	97.5	0.32	0.058	119.80	
	Conococheague creek, MD	0.41	40.5	0.23	0.040	66.50	
		0.69	42.2	0.23	0.064	40.80	
		0.41	49.7	0.15	0.081	29.30	
		1.13	43.0	0.63	0.081	53.30	

ادامه جدول ۱- داده‌های مورد استفاده در تحقیق

Source	Channel	H (m)	W (m)	U (m/s)	U* (m/s)	ϵ (m ² /s)
Seo and Cheong [14]	Chattahoochee river, GA	1.95	75.6	0.74	0.138	88.90
		2.44	91.9	0.52	0.094	166.90
	Salt creek, NE	0.50	32.0	0.24	0.038	52.20
	Difficult run, VA	0.31	14.5	0.25	0.062	1.90
	Bear creek, CO	0.85	13.7	1.29	0.553	2.90
	Little Pincycreek, MD	0.22	15.9	0.39	0.053	7.10
	Bayou Anacoco, LA	0.45	17.5	0.32	0.024	5.80
	Bayou Bartholomew, LA	1.40	33.4	0.20	0.031	54.70
	Amite river, LA	0.52	21.3	0.54	0.027	501.40a
	Tickfau river, LA	0.59	14.9	0.27	0.080	10.30
	Tangipahoa river, LA	0.81	31.4	0.48	0.072	45.10
		0.40	29.9	0.34	0.020	44.00
	Red river, LA	1.62	253.6	0.61	0.032	143.80
		3.96	161.5	0.29	0.060	130.50
		3.66	152.4	0.45	0.057	227.60
		1.74	155.1	0.47	0.036	177.70
		1.65	116.4	0.58	0.054	131.30
	Sabine river, LA	2.32	160.3	1.06	0.054	308.90
		0.50	14.2	0.13	0.037	12.80
	Sabine river, TX	0.51	12.2	0.23	0.030	14.70
0.93		21.3	0.36	0.035	24.20	
19.94		711.2	0.56	0.041	237.20a	
Mississippi river, LA	4.94	533.4	1.05	0.069	457.70	
Mississippi river, MO	8.90	537.4	1.51	0.097	341.10a	
Wind/Bighorn river, WY	1.37	44.2	0.99	0.142	184.60	
	2.38	85.3	1.74	0.153	464.60	
Clinch river, VA	1.16	48.5	0.21	0.069	14.76	
Missouri river	3.28	180.6	1.62	0.078	1486.45	



شکل ۲- تغییرات ضریب اختلاط طولی نسبت به u/u_*

اطمینان می‌باشد، پارامترهای مستقل به کار رفته در رابطه (۱۶) دارای تأثیر معنی‌داری بر ضریب اختلاط طولی می‌باشد.

رابطه (۱۶) حاصل از رگرسیون‌گیری خطی بوده و دارای تابع خطای $0.61 / (NRMSE = 0.61)$ می‌باشد. با توجه به آنکه سطح معنی‌داری تمام پارامترهای مستقل کوچکتر از 0.05 در سطح ۹۵ درصد

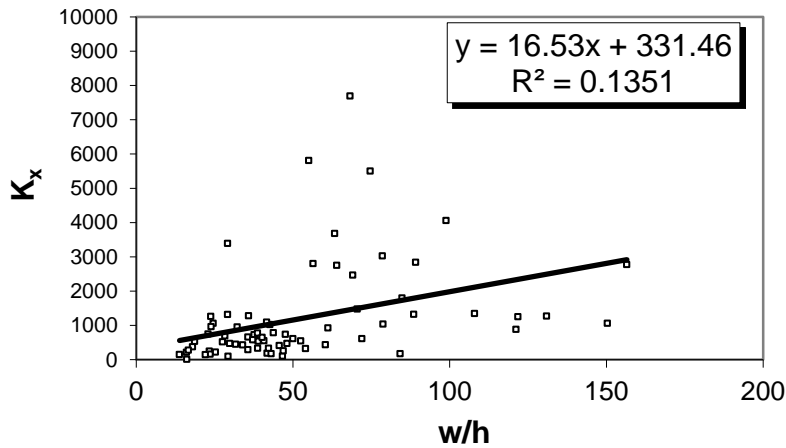
پارامتر u/u_* یا همان ضریب زبری بر ضریب اختلاط طولی می‌باشد. رابطه (۱۷) حاصل رگرسیون گیری غیرخطی بوده و دارای تابع خطای $0/۶۵$ (NRMSE= $0/۶۵$) می‌باشد. با توجه به آن که تابع خطای معادله حاصل از رگرسیون گیری خطی کوچک‌تر از تابع خطای معادله حاصل از رگرسیون گیری غیرخطی می‌باشد این رابطه به عنوان بهترین رابطه پیشنهاد می‌گردد.

$$K_x = 0.00754 \left(\frac{u}{u_*}\right)^{4.322} + 0.04197 \left(\frac{W}{h}\right)^{1.9835} + 711.952 \quad (17)$$

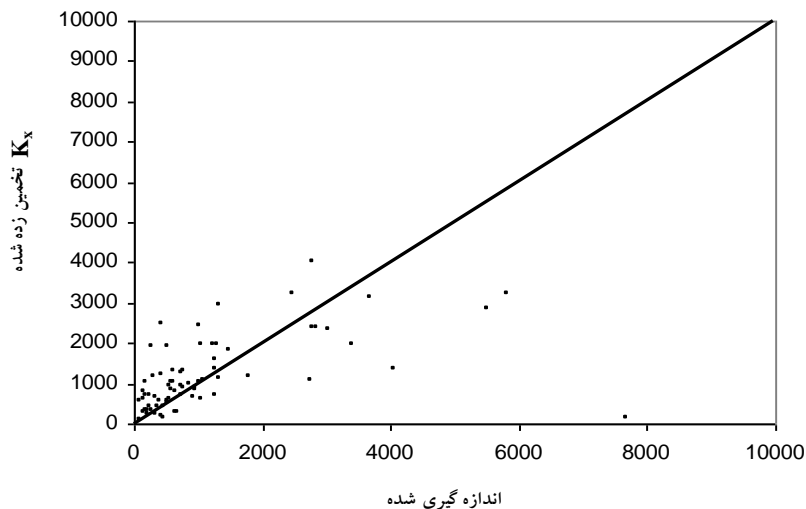
که در آن K_x ضریب اختلاط طولی بدون بعد، u سرعت متوسط جریان، u_* سرعت برشی، w عرض آبراهه و h عمق جریان است.

$$K_x = 155.56 \left(\frac{u}{u_*}\right) + 10.475 \left(\frac{W}{h}\right) - 568.9 \quad (16)$$

از آنجا که در سمت راست معادله بالا مقدار ثابت وجود دارد نمی‌توان شدت تأثیر هر یک از پارامترهای مستقل در برآورد پارامتر وابسته (ضریب اختلاط طولی) را برابر با ضریب آن‌ها در رابطه در نظر گرفت لذا برای انجام آنالیز حساسیت ضریب بتا تعریف می‌شود که نشان دهنده میزان تغییر ضریب اختلاط طولی (بر اساس واحد انحراف معیار) به ازای تغییر یک واحدی انحراف معیار در متغیر مستقل است و هر چه مقدار این ضریب برای پارامتری بالاتر باشد نشان دهنده تأثیر بیشتر آن پارامتر در برآورد ضریب اختلاط طولی است. در رابطه (۱۶) ضریب بتا برای پارامترهای u/u_* و w/h به ترتیب برابر، $0/۵۲۲$ و $0/۲۳۳$ می‌باشد که نشان دهنده تأثیر بیشتر



شکل ۳- تغییرات ضریب اختلاط طولی نسبت به w/h



شکل ۴- مقادیر ضریب اختلاط طولی اندازه گیری شده در برابر محاسبه شده از رابطه (۱۶)

۵- خلاصه و جمع‌بندی

با توجه به آنالیز ابعادی مشخص گردید پارامترهای مؤثر بر ضریب اختلاط طولی، ضریب زبری و نسبت عرض به عمق بوده و هر دو پارامتر دارای رابطه مستقیم با ضریب اختلاط طولی می‌باشند. از آنالیز حساسیت صورت گرفته مشخص شد تأثیر ضریب زبری بر ضریب اختلاط طولی بیشتر می‌باشد. با توجه به آن که تابع خطای معادله حاصل از رگرسیون‌گیری خطی کوچک‌تر از تابع خطای معادله حاصل از رگرسیون‌گیری غیرخطی می‌باشد این رابطه به عنوان بهترین رابطه پیشنهاد می‌گردد.

پی‌نوشت‌ها

1-Complete Mixing Length (CML)

۶- مراجع

پورآبادی، م.، تکلدانی، م.، ا. م.، و لیاقت، ع. (۱۳۸۲). " بررسی تأثیر پارامترهای جریان بر ضریب پخش آلودگی در کانال مستطیلی." مجموعه مقالات ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، شهرکرد، شهریورماه ۱۳۸۶، صص ۲۹-۳۸.

ریاحی مدوار، ح.، و ایوب‌زاده، ع. (۱۳۸۷). " تخمین ضریب پراکندگی طولی آلودگی با استفاده از سیستم استنتاج فازی-عصبی انطباقی." مجله آب و فاضلاب، ش. ۶۷.

عابدی کوپایی، ج.، نصری، ز. و مامن پوش، ع. (۱۳۸۶). بررسی کیفیت شیمیایی آب رودخانه زاینده رود. لوح فشرده مجموعه مقالات ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، کد ۵۰۸، دانشگاه شهرکرد. ۱۳ تا ۱۵ شهریور، صص ۱۴۲-۱۳۱.

Ahsan, N. (2008), "Estimating the coefficient of dispersion for a natural stream", World Academy of Science, Engineering and Technology 44, pp. 131-135.

Chanson, Hubert. (2004), "Environmental Hydraulics of Open Channel Flow", Chapter 8, Elsevier, Butterworth-Heinemann, London.

Deng, Z. Q., Singh, V.P. and L. Bengtsson. (2001), "Longitudinal dispersion coefficient in straight river", J. Hydraul. Eng. ASCE. 127, pp. 919-927.

Deng, Z. Q., Bengtsson, L., Singh V.P. and Adrian, D.D. (2002), "Longitudinal dispersion coefficient in single-channel streams", J. Hydraul. Eng. ASCE. 128, pp. 901-916.

Elder, J. W. (1959), "The Dispersion of marked fluid in turbulent shear flow", J. Fluid Mechanics, 5, pp. 544-560,

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, N.Y.

Fischer HB. (1968), "Dispersion predictions in natural streams". J Sanit Eng ASCE 94, pp. 927-43.

Gonzalez, J., Rojas, I., Poamares, H. and Orteag, J. (2002), A New clustering technique for function approximation, IEEE Transactions on Neural Networks. 13, pp. 132-142.

Kashefipour, S. M. and Falconer, R. A. (2002), "Longitudinal dispersion coefficients in natural channels", Water Research 36, pp. 1596-1608,

McQuiveyRS, Keefer TN. (1974), "Simple method for predicting dispersion in streams", J Environ Eng ASCE 100, pp. 997-1011.

Riahi-Madvar H., Ayyoubzadeh S. A., Khadangi E. and Ebadzadeh M.M. (2009), "An expert system for predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams by using ANFIS", Expert Systems with Applications 36, pp. 8589-8596.

Rutherford, J.C. (1994), "River Mixing", John Wiley, Chichester, U.K., pp. 102-200.

Seo, I.W. and Cheong, T. S. (1998), "Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams", J. Hydraul. Eng. ASCE. 124, pp. 25-32.

Seo I.W. and Oh Beak, K. (2004), "Estimation of the longitudinal dispersion coefficient using the velocity profile in natural streams", J. Hydraul. Eng. ASCE. 130, pp. 227-236.

Taylor G. and Singh, V. P. (2005), "Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural stream by artificial neural network", J. Hydraul. Eng. ASCE. 131, pp. 991-1000.

Taylor G. (1954), "The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe", Proc R Soc London A223, pp. 446-68.