



مدل سازی ترکیبی یک بعدی و دوبعدی دینامیک فلزات سنگین در سیستم های رودخانه ای با استفاده از ضریب واکنش متغیر

علی روشنفکر، سید محمود کاشفی پور، نعمت... جعفرزاده

- 1- کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
- 2- دانشیار گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
- 3- دانشیار گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز

kashefipour@excite.com

خلاصه

هر فلزات سنگین یکی از آلاینده های خطرناک برای زندگی بشر می باشد به همین دلیل مدل سازی این پدیده در رودخانه و در نقاطی که نزدیک به محل زندگی انسان ها می باشند از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف اصلی این تحقیق ارائه روابط جدیدی برای ضریب واکنش یا زوال فلزات سنگین با توجه به تغییر pH و در سیستم های رودخانه ای با استفاده از مدل های ترکیبی یک بعدی و دوبعدی می باشد. جهت واسنجی و صحت سنجی هیدرو دینامیک مدل یک بعدی، ابتدا مدل را در بازه ملائانی-فارسیات رودخانه کارون اجرا گردید و با استفاده از داده های مشاهداتی ایستگاه اهواز مورد واسنجی قرار گرفت. سپس از مدل یک بعدی در مقاطع زرگان و امالطمر خروجی دریافت گردید و به عنوان ورودی مدل دو بعدی استفاده شد. در انتها جهت اجرای انتقال آلودگی مدل های یک بعدی و دو بعدی از 5 ضریب واکنش یا زوال مختلف (1- ضریب واکنش برابر با صفر، 2- ضریب واکنش ثابت، 3- ضریب واکنش متغیر با pH ، 4- ضریب واکنش متغیر با EC ، 5- ضریب واکنش متغیر با pH و EC) برای مدل سازی فلز سنگین محلول کادمیوم استفاده شد. نتایج حاصل از مدل های یک بعدی و دو بعدی با استفاده از داده های مشاهداتی ایستگاه شکاره در پایین دست ایستگاه اهواز مورد واسنجی و صحت سنجی قرار گرفتند. نتایج واسنجی و صحت سنجی مدل های یک بعدی و دو بعدی برای فلز سنگین محلول کادمیوم نشان می دهند که با انتخاب ضریب واکنش متغیر با pH و EC دقت مدل سازی افزایش می یابد. ضریب واکنش متغیر توانست که دقت مدل یک بعدی را برای کادمیوم محلول 72% افزایش دهد. همچنین دقت مدل دو بعدی را برای کادمیوم محلول با انتخاب ضریب واکنش متغیر 97% افزایش یافت. بدین ترتیب می توان از این از معادلات انتخابی جدید برای ضریب واکنش فلز سنگین محلول کادمیوم همچنین و مدل های توسعه یافته به عنوان ابزاری مناسب جهت مدیریت زیست محیطی رودخانه استفاده نمود.

کلمات کلیدی: رودخانه کارون، مدل سازی ترکیبی، فلزات سنگین، ضریب زوال متغیر

مقدمه

امروزه مدل های بهینه سازی کیفیت و آلودگی آبهای سطحی کاربرد گسترده ای در شبیه سازی و برنامه ریزی مدیریتی سیستم های رودخانه ای، دریاچه ها، مصب ها و مخازن دارند. همچنین نرم افزارهای کیفیت آب برای شبیه سازی عناصر اصلی سیستم های کیفیت آب، ابزار اساسی کارشناسان در طراحی، کارکرد و کنترل سیستم های منابع آب گردیده است. یکی از پارامترهای آلودگی آب فلزات سنگین می باشند. این فلزات در آبهای سطحی در حالت محلول و چسبیده به رسوبات یافت می شوند که میزان آنها بر حسب pH و شوری قابل تغییر است. غلظت های قابل ملاحظه این فلزات در رسوبات های معدنی، صنعتی و زه آب های کشاورزی وجود دارد. با توجه به اهمیت و پیچیدگی مدل سازی این فلزات در این تحقیق به شبیه سازی دینامیک و حرکت فلز سنگین محلول کادمیوم در سیستم های رودخانه ای پرداخته شده است.

هدف از این تحقیق معرفی روش جدیدی است که می توان در آن فرض نمود خارج شدن فلز سنگین از محلول (به طور مثال اضافه شدن به رسوبات کف) به عنوان زوال آن در نظر گرفته می شود و البته اضافه شدن غلظت آن از طریق رسوبات کف باعث علامت منفی برای این ضریب خواهد شد. ضمناً تاثیر عوامل محیطی مانند PH و شوری بر روی این ضریب و در نتیجه دقت در مدل سازی فلزات سنگین در جریانهای رودخانه ای بررسی می گردد.

**معادلات حاکم بر جریان یک بعدی**

معادلات جریان یک بعدی، معادلات دیفرانسیل جزئی غیر خطی می‌باشند. که بیشتر برای مدل‌سازی رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این معادلات عبارتند از: معادلات سنت و نانت و معادله دینامیکی حرکت آلودگی و رسوب (انتقال-پخش) که به شرح زیر می‌باشند. معادله حرکت جریان یک بعدی که جریان و سطح آب را در رودخانه‌ها محاسبه می‌کند، براساس معادله سنت و نانت پایه گذاری شده و برای جریان یک بعدی غیرماندگار در کانال‌ها کاربرد دارد. این معادلات به صورت زیر نوشته می‌شوند (کاتچ و همکاران، 1980):

$$T \frac{\partial x_R}{\partial t} + \frac{\partial Q_R}{\partial x} = q \quad \text{معادله پیوستگی} \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q_R}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(b \frac{Q_R^2}{A} \right) + gA \frac{\partial x_R}{\partial x} + g \frac{Q_R |Q_R|}{C_z^2 AR} = 0 \quad \text{معادله مومنتم} \quad (2)$$

که در آن: T = عرض سطح آب، ξ_R = ارتفاع سطح آب بالای خط مبنا، Q_R = دبی، q = دبی در واحد طول ورودی جانبی، g = شتاب ثقل، A = مساحت مقطع عرضی خیس شده، $R = \frac{A}{P}$ = شعاع هیدرولیکی، P = محیط خیس شده مقطع عرضی، β = ضریب مومنتم و C_z = ضریب شزی می‌باشد. ضریب شزی براساس شرایط جریان و ضریب زبری مانینگ قابل محاسبه است.

شاخص‌های آلودگی را معمولاً با استفاده از معادله موازنه جرم توسط روش‌های عددی می‌توان شبیه‌سازی نمود. با بکارگیری روش فیک برای شار جرمی متلاطم معادله موازنه جرم یک بعدی انتقال-پخش را می‌توان بصورت زیر نوشت (لی و همکاران، 1997):

$$\frac{\partial CA}{\partial t} + \frac{\partial Q_R C}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left[AD_l \frac{\partial C}{\partial x} \right] = A (S_0^d + S_t^d) \quad (3)$$

که در این رابطه: C = غلظت فلز سنگین محلول و D_l = ضریب پخشیدگی طولی می‌باشد. با توجه به اینکه در مدل‌سازی آلودگی، پخشیدگی طولی و پارامترهای افزایش دهنده و کاهش دهنده آلودگی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند و دقت حل معادله (3) وابسته به انتخاب روابط تجربی و تئوری این پارامترها دارد (کاشفی پور و فالکونر، 2000). در مرجع مذکور این پارامتر بطور مبسوط شرح داده شده است. کاشفی پور و فالکونر (2002) با استفاده از 80 سری داده اندازه‌گیری شده از 30 رودخانه در آمریکا، رابطه ای را برای ضریب پخشیدگی در رودخانه‌ها ارائه دادند که از نتایج آنها در این تحقیق بهره برده شده است.

S_0^p ترم ورود و خروج فلز سنگین محلول از طریق ورودی های جانبی به رودخانه می‌باشد که بصورت زیر تعریف می‌گردد:

$$S_0^d = \frac{C_L}{\Delta t} \quad (4)$$

که در آن: C_L = غلظت جریان ورودی یا خروجی، Δt = فاصله زمانی بین دو سطح زمانی باشد.

از آنجاییکه فلزات سنگین در محلول آب دائماً توسط رسوبات ته نشین و یا برعکس به محلول بر می‌گردند فرض شده است نسبت به محلول فلز سنگین زوال پذیر است و لذا جهت تعیین منبع کاهش دهنده یا افزایش دهنده غلظت فلزات سنگین محلول از عکس‌العمل درجه اول شیمیایی¹ استفاده می‌گردد که بصورت زیر می‌باشد (ناصری و بیگان‌گاگا، 1993):

$$S_t^d = -kC \quad (5)$$

که در این رابطه: k = ضریب زوال (day^{-1}) می‌باشد. مقدار این ضریب برای فلزات سنگین محلول تابعی از عوامل محیطی مانند pH شوری، دما و ... می‌باشد (وو و همکاران، 2001). در بعضی از مدل‌ها ضرایب مورد استفاده وابسته به درجه حرارت هستند. برای این منظور ضرایب در $20^\circ C$ وارد شده و سپس جهت کاربرد با فرمول استریتز فلیپس برای دمای مورد نظر تصحیح می‌شوند.

معادلات حاکم بر جریان دو بعدی

معادلات حاکم دو بعدی نیز مانند معادلات یک بعدی، معادلات دیفرانسیل جزئی می‌باشند که در مدل‌های عددی جهت مدل‌سازی آلاینده‌ها در مناطق ساحلی، مصب‌ها و رودخانه‌ها کاربرد دارند. معادلات هیدرودینامیکی دو بعدی جهت پیش‌بینی سطح آب و سرعت می‌باشند، که نیاز به حل معادلات حرکت ناویر-استوکس² دارند. بوسیله‌یستک با حل معادلات ناویر-استوکس با فرض یکسان بودن شتاب و سرعت در عمق برای سیالات غیرقابل تراکم و جریان‌های درهم غیرماندگار معادلات زیر را بدست آورد.

$$\frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (6) \quad \text{معادله پیوستگی}$$

1- First-Order Chemical Reaction
2- Navier-Stokes



$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + b \frac{\partial U q_x}{\partial x} + b \frac{\partial V q_x}{\partial y} = f Q_y - g H \frac{\partial x}{\partial x} + \frac{t_{xw}}{r} - \frac{t_{xb}}{r} + e H \left[\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right] \quad (7) \quad \text{معادله مومنتم در جهت } x$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + b \frac{\partial U q_y}{\partial x} + b \frac{\partial V q_y}{\partial y} = -f Q_x - g H \frac{\partial x}{\partial y} + \frac{t_{yw}}{r} - \frac{t_{yb}}{r} + e H \left[\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right] \quad (8) \quad \text{معادله مومنتم در جهت } y$$

که در آن: ξ = ارتفاع آب بالای خط مبنا، U و V = مولفه‌های سرعت در جهت x و y ، $q_x = UH$ و $q_y = VH$ = دبی واحد عرض در جهت x و y ، $H = x + h$ = عمق کل آب، h = ارتفاع آب در زیر خط مبنا، $f = (2W \sin f)$ = پارامتر کریولیس، ω = سرعت زاویه‌ای چرخش زمین، f = عرض جغرافیایی، g = شتاب جاذبه، b = ضریب مومنتم، t_{xw} و t_{yw} = تنش برشی سطحی باد در جهت x و y ، t_{xb} و t_{yb} = تنش برشی بستر در جهت x و y ، r = چگالی سیال و e = لزوجت ادی متوسط در عمق می‌باشد.

به منظور مدل‌سازی فلزات سنگین محلول در دو بعد از معادله انتقال-پخش استفاده می‌گردد، که بصورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial CH}{\partial t} + \frac{\partial q_x C}{\partial x} + \frac{\partial q_y C}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left[HD_x \frac{\partial C}{\partial x} \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[HD_y \frac{\partial C}{\partial y} \right] = H (S_0^d + S_t^d) \quad (9)$$

که در این رابطه: C = غلظت فلز سنگین محلول مورد نظر متغیر در مقطع و D_x و D_y = متوسط عمقی ضریب پخشیدگی در جهت x و y می‌باشد. در این تحقیق برای مدل‌سازی آلودگی آب از اصل مدل یک بعدی *FASTER* و دو بعدی در پلان *DIVAST* استفاده شده است. این مدل در ابتدا توسط کاشفی‌پور (2001) و فالکونر و همکاران (1997) به منظور شبیه‌سازی جریان و انتقال املاح در رودخانه و خلیج بسط داده شد و در این تحقیق نیز با افزودن چندین زیر برنامه، قادر به شبیه‌سازی فلزات سنگین شده است.

مواد و روش‌ها:

غلظت فلزات سنگین در محلول بستگی به شرایط جابجایی و خروج آنها از محلول و ته‌نشست شدن و یا برعکس ورود این فلزات از رسوبات بدخل محلول دارد. یکی از مسایل پیچیده مدل‌سازی فلزات سنگین نسبت سهم فلز در محلول و در رسوبات است. لذا برای اینکه بتوان غلظت فلز را در محلول شبیه‌سازی نمود، فرض شده است که شدت جابجایی را بتوان با ضریبی که در اینجا ضریب زوال (خروج از محلول) و یا ضریب واکنش¹ نامیده شده نشان داد. اولین بار این مفهوم توسط ناصحی و بیکان‌گاگا، (1993) مطرح گردید. آنها از ضریب ثابتی استفاده نمودند، حال آنکه در این تحقیق این ضریب بر اساس شرایط بعضی فاکتورهای محیطی توسط مدل محاسبه سپس در رابطه ADE (رابطه‌های 3 و 9) بکار برده می‌شود. به علت عدم وجود اطلاعات کافی در مورد شوری از *EC* به عنوان تابعی از شوری در انتخاب ضریب واکنش متغیر استفاده شده است. از 5 ضریب مختلف برای مدل‌سازی فلز سنگین کادمیم استفاده شده که شامل: ضریب زوال یا واکنش صفر (از محلول خارج و یا از کف به آن اضافه نمی‌شود)، ضریب زوال ثابت، ضریب زوال متغیر با زمان به عنوان تابعی از *pH*، ضریب زوال متغیر با زمان به عنوان تابعی از *EC*، ضریب زوال متغیر با زمان به عنوان تابعی از *pH* و *EC* می‌باشند.

روش کار و محاسبه هر کدام از ضرایب زوال یا واکنش جدید متغیر و نحوه ایجاد مدل ریاضی بین این ضریب و *pH* یا *EC* بصورت زیر می‌باشد. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل هیدرودینامیک در ابتدا مدل برای هر کدام از داده‌های اندازه‌گیری شده (فلز سنگین محلول) اجرا می‌گردد و با انتخاب و تغییر ضریب زوال سعی بر همپوشانی کامل بین داده مدل‌سازی شده با داده واقعی می‌شود. سپس با داشتن پارامتر متغیر (نظیر *pH* یا *EC* و یا هر دو) در زمانی که داده مشاهداتی موجود باشد، بین ضریب زوال محاسبه شده برای هر زمان و پارامترهای موجود بهترین رابطه برای ضریب زوال بدست می‌آید. با استفاده از این روش می‌توان یک ضریب زوال متغیر برای فلز سنگین مورد نظر محاسبه کرد. و سپس این روابط به عنوان ضریب زوال یا واکنش متغیر در مدل قرار داده شد. پس از محاسبه روابط جدید برای ضریب زوال فلز سنگین کادمیم، مدل‌های یک بعدی و دو بعدی مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفتند، که نتایج حاصل از این مدل‌ها در قسمت نتایج آمده است.

در مدل‌سازی فرآیندها در مصب و رودخانه‌ها، منطقه مورد نظر ممکن است که از خصوصیات مختلفی برخوردار باشد. در این تحقیق بمنظور مدل‌سازی فلزات سنگین محلول از مدل ترکیبی استاتیکی استفاده شده، این روش بدین صورت می‌باشد که برای استفاده از هر دو مزیت مدل‌های یک بعدی و دو بعدی، ابتدا مدل یک بعدی را برای رودخانه مورد نظر اجرا و واسنجی کرده و سپس بازه کوچکتری (که از نظر مدل‌سازی اهمیت بیشتری داشته و نیاز به بررسی بیشتر دارد) برای مدل‌سازی دو بعدی انتخاب شد.

منطقه مورد مطالعه:

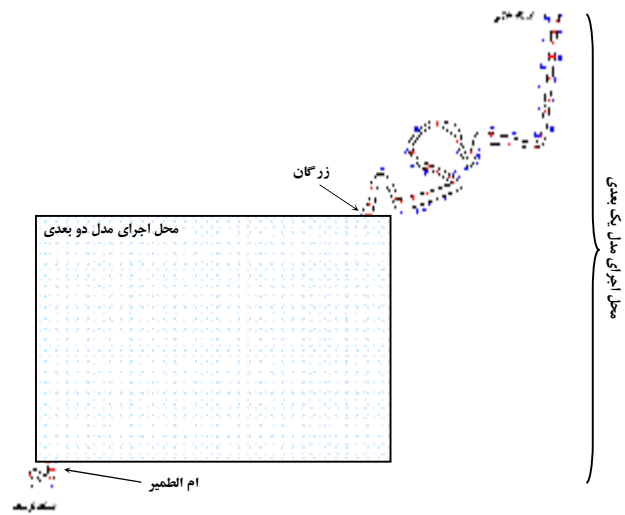
به علت وجود صنایع فلزی مختلف در نزدیکی شهر اهواز و ورود فاضلاب این کارخانجات به رودخانه کارون، مدل‌سازی فلزات سنگین محلول در نزدیکی این شهر از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در این تحقیق جهت تحلیل بهتر فلزات سنگین محلول در نزدیکی شهر اهواز بازه زرگان-ام‌الطمبر جهت مدل‌سازی دو بعدی در نظر گرفته شده بود، اما به دلیل عدم وجود ایستگاه هیدرومتری و مانیتورینگ کافی در این بازه و اهمیت مدل‌سازی، محدوده

1- Reaction Coefficient

بزرگتری از ملائانی تا فارسیات جهت مدل‌سازی فلزات سنگین محلول انتخاب گردید. با توجه به اینکه زمان اجرای مدل‌های دو بعدی در بازه ملائانی-فارسیات بسیار زیاد می‌باشد، مدل‌سازی فلزات سنگین محلول در این بازه بصورت یک بعدی انجام پذیرفت و جهت سرعت بخشیدن به اجرا مدل دو بعدی در مقاطع زرگان و ام‌الطمبر از خروجی‌های مدل یک بعدی بمنظور اجرا مدل دو بعدی در این بازه استفاده شد (شکل (1)). منطقه مورد مطالعه شامل ایستگاه‌های هیدرومتری ملائانی، اهواز، شکاره و فارسیات می‌باشد که در ایستگاه‌های ملائانی و شکاره، اندازه‌گیری فلزات سنگین محلول صورت می‌گیرد. در مدل یک بعدی ایستگاه ملائانی به عنوان شرایط مرزی بالادست با مقطع شماره 113، ایستگاه فارسیات برای شرایط مرزی پایین دست با مقطع شماره 1، در هر دو مدل ایستگاه اهواز بعنوان ایستگاه شاخص با مقطع شماره 49 برای واسنجی و مقایسه نتایج شبیه‌سازی هیدرودینامیک و ایستگاه شکاره با مقطع شماره 36 جهت واسنجی و مقایسه نتایج فلزات سنگین انتخاب گردید. در مدل دو بعدی مقطع زرگان (با مقطع شماره 70 در مدل یک بعدی) به عنوان شرایط مرزی بالادست، مقطع ام‌الطمبر (با مقطع شماره 5 در مدل یک بعدی) برای شرایط مرزی پایین دست انتخاب شد. آمار و اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: اطلاعات هیدرومتری، اطلاعات رودخانه، اطلاعات کیفی و اطلاعات آلاینده‌های ورودی در محدوده طرح. محدوده طرح در این تحقیق حدوداً 110 کیلومتر می‌باشد و اطلاعات 113 مقطع رودخانه از سازمان آب و برق خوزستان تهیه گردیده است. برای مدل یک بعدی این 113 مقطع وارد مدل گردید و در مدل دو بعدی که در فاصله زرگان تا ام‌الطمبر اجرا گردید، بصورت 50 متر، 50 متر و به کمک نرم‌افزار *Surfer* و یک مدل درون‌یابی این مقاطع *Digitize* شدند تا اینکه یک شبکه 438×475 تشکیل گردید و سپس H_x و H_y مورد نیاز مدل *DIVAST* و شبکه تر و خشک رودخانه در این بازه بدست آمد که به عنوان اطلاعات ژئومتری وارد مدل دو بعدی گردیدند.

نتایج و بحث:

پس از توسعه مدل‌های ریاضی، جهت اطمینان از نتایج مدل لازم است مدل مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار گیرد. در این قسمت ضمن برآورد ضریب زوال متغیر، واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های یک بعدی و دو بعدی برای منطقه مورد مطالعه صورت گرفته و مقادیر ضرایب ثابت برای قسمت هیدرودینامیک و انتقال آلودگی مدل‌های مذکور مشخص شده است.



شکل 1: منطقه مورد مطالعه، جانمایی ایستگاه‌ها و محل اجرای مدل‌های 1 و 2 بعدی

بمنظور برآورد ضرایب زوال فوق با اجرای مدل بهترین رابطه برای فلز سنگین محلول کادمیوم ارائه گردید که نتایج در جدول (1) نشان داده شده است.

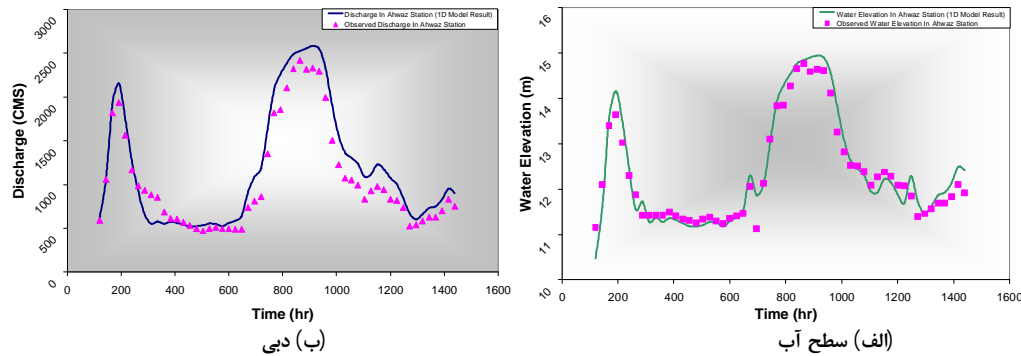
جدول 1: ضرایب زوال یا واکنش انتخابی جهت استفاده در مدل برای فلز سنگین محلول کادمیوم

معادله ضریب زوال انتخابی جهت کاربرد در مدل	ضریب زوال انتخابی
$k = 0$ or $S_r^d = 0$	Conservative
$k = Const.$	ضریب واکنش صفر
$k = -0.2462 \times pH + 2.3738$	$R^2 = 0.703$
$k = -0.000201 \times EC + 0.7286$	$R^2 = 0.350$
$k = -0.1231 \times pH - 0.0001 \times EC + 1.5512$	$R^2 = 0.560$

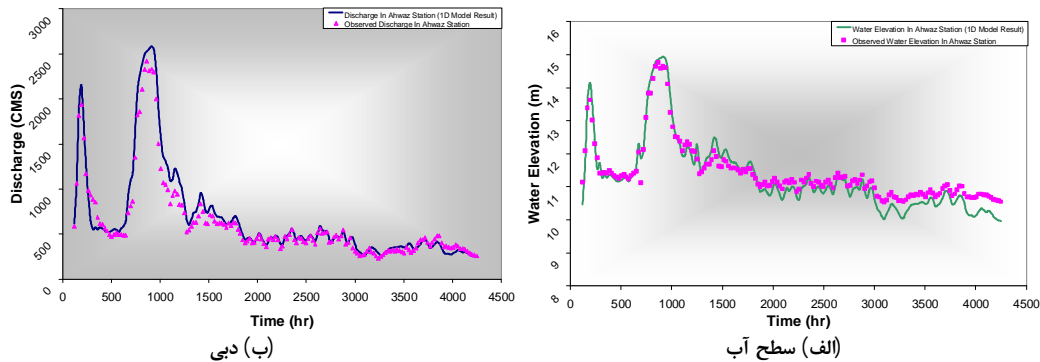
رودخانه در ایستگاه شکاره برحسب میکروموس بر سانتیمتر می‌باشد $EC =$ میزان EC رودخانه در ایستگاه شکاره و $pH =$ میزان pH در جدول فوق



برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل هیدرودینامیکی یک بعدی از پارامترهای دبی و سطح آب استفاده می‌شود. بدین منظور از اطلاعات ماه‌های فروردین و اردیبهشت سال 1382 در ایستگاه ملائانی، اهواز و فارسیات جهت واسنجی و از اطلاعات شش ماهه اول سال 1382 جهت صحت‌سنجی مدل هیدرودینامیکی استفاده شد. هیدروگراف ورودی در ایستگاه ملائانی به عنوان مرز بالادست و اطلاعات اشل-زمان در ایستگاه فارسیات به عنوان مرز پایین‌دست برای مدل معرفی شده است. ضریب زبری مانینگ تنها پارامتر برای واسنجی هیدرودینامیک مدل یک بعدی می‌باشد. با توجه به قابلیت مدل در پذیرش n های مختلف، منطقه مورد مطالعه به چهار قسمت تقسیم گردید، که عبارتند از: قسمت 1: از مقطع 1 (ایستگاه فارسیات) تا مقطع 29، قسمت 2: از مقطع 30 تا مقطع 54، قسمت 3: از مقطع 55 الی مقطع 101، قسمت 4: از مقطع 102 الی مقطع 113 (ایستگاه ملائانی). با توجه به نتایج توکلی‌زاده (1385) مقدار ضریب زبری مانینگ برای قسمت‌های 1، 2، 3 و 4 محدوده طرح به ترتیب برابر با 0,026، 0,050، 0,040 و 0,031 بدست آمده است. نتایج پیش‌بینی مدل در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی برای مقادیر دبی و ارتفاع سطح آب با مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه اهواز به ترتیب در شکل (2) و (3) مقایسه شده است. مقایسه آماری نتایج اندازه‌گیری و پیش‌بینی مدل نشان داده است که درصد خطا در برآورد سطح آب و دبی در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب (1,84% و 16,26%) و (2,37% و 12,89%) بوده است.

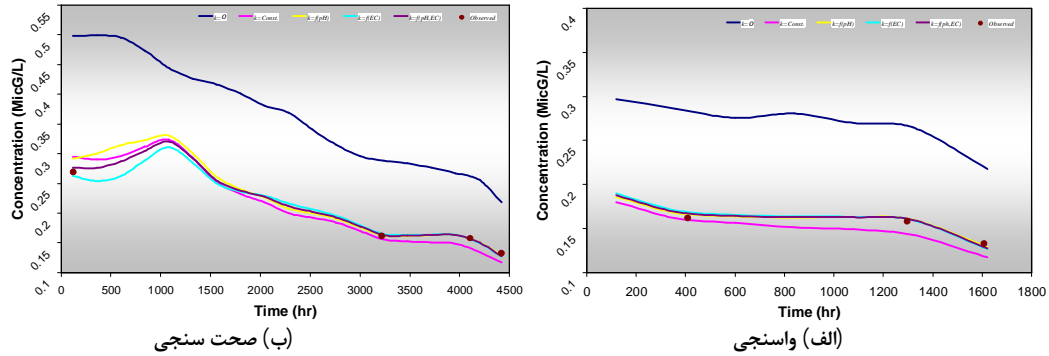


شکل 2: مقایسه دبی و سطح آب اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل در ایستگاه اهواز برای مرحله واسنجی هیدرودینامیک مدل یک بعدی



شکل 3: مقایسه دبی و سطح آب اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل در ایستگاه اهواز برای مرحله صحت‌سنجی هیدرودینامیک مدل یک بعدی

در مدل‌سازی فلز کادمیم در مدل یک بعدی برای محاسبه ضریب پخشیدگی طولی (D_L) از رابطه کاشفی‌پور و فالکونر (2002) استفاده شده است. با توجه به کمبود اطلاعات برداشتی فلزات سنگین محلول برای واسنجی مدل از آمار و اطلاعات موجود در ماه‌های مرداد و شهریور سال 1383 و برای صحت‌سنجی مدل از آمار و اطلاعات شش ماه اول سال 1383 استفاده شده است. با توجه به روابط ضریب زوال یا واکنش در جدول 1 مدل در هر مقطع زمانی این ضریب را محاسبه و سپس در شبیه‌سازی استفاده می‌نماید. در شکل (4) و جدول (2) نتایج و مقدار خطای اندازه‌گیری شده واسنجی و صحت‌سنجی مدل فلز سنگین محلول کادمیم نشان داده شده است.



شکل 4: مقایسه غلظت کادمیوم محلول اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل یک بعدی در ایستگاه شکاره با استفاده از 5 ضریب زوال انتخابی

جدول 2: محاسبه مقادیر خطای مدل یک بعدی در مدل‌سازی فلز سنگین محلول کادمیوم برای 5 ضریب واکنش مختلف

صحت‌سنجی				واسنجی				نتایج مدل ضریب واکنش انتخابی
RMSE	R ²	a	%Error	RMSE	R ²	a	%Error	
0,1483	0,999	1,7855	76,42	0,1086	0,991	1,7153	71,11	$\kappa = 0$
0,0171	0,997	1,013	8,47	0,0126	0,947	0,9256	7,67	$k = Const.$
0,0114	0,999	1,0439	4,16	0,0028	0,996	1,0032	1,78	$k = -0.2462 \times pH + 2.3738$
0,0050	0,993	0,9887	2,56	0,0041	1,000	1,0024	2,54	$k = -0.000201 \times EC + 0.7286$
0,0046	0,998	1,0144	2,29	0,0035	0,999	1,0019	2,18	$k = -0.1231 \times pH - 0.0001 \times EC + 1.5512$

نتایج حاصله نشان می‌دهد که مدل بسط داده شده و ضرایب زوال یا واکنش انتخابی بخوبی این پارامتر را مدل‌سازی می‌کنند. انتخاب ضریب زوال متغیر دقت مدل‌سازی به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد بطوریکه در جدول (2) مشاهده می‌گردد دقت تخمین مدل با انتخاب ضریب زوال متغیر به عنوان تابعی از pH و EC بطور متوسط 72% افزایش یافته است.

از آنجایی که مدل‌های دو بعدی برای اجرا نیاز به شرایط مرزی و اولیه دارند، برای احراز این شرایط خروجی‌های مدل یک بعدی در مقاطع زرگان و ام-الطمریر لحاظ شده است (شکل 1). با توجه به اهمیت مدل‌سازی فلزات سنگین در بازه‌های شهری و تحلیل بهتر نتایج، مدل‌های دو بعدی می‌توانند کمک موثری در شناخت بهتر پدیده انتشار و نحوه گسترده‌گی آلودگی در طول و عرض رودخانه ارائه نمایند. اما به دلیل زمان زیاد برای اجرای مدل‌های دوبعدی جهت تسریع در اجرای این مدل‌ها، مدل‌های ترکیبی 1 و 2 بعدی پیشنهاد می‌گردند.

اجراهای متعددی برای واسنجی و صحت‌سنجی دبی و سطح آب در هیدرونامیک مدل دو بعدی انجام شد. بدین منظور برای تامین شرایط مرزی برای مرحله واسنجی از اطلاعات ماه‌های فروردین و شهریور سال 1382 و برای مرحله صحت‌سنجی از اطلاعات شش ماهه اول سال 1382 که از خروجی‌های مدل یک‌بعدی هر 24 ساعت یکبار در مقاطع زرگان و ام‌الطمریر دریافت می‌گردید، استفاده شده است. طول شبکه رودخانه در منطقه مورد مطالعه 219 کیلومتر (438 نود با فاصله 50 متر) و عرض آن 23,75 کیلومتر (475 نود با فاصله 50 متر) می‌باشد. همچنین طول رودخانه در این بازه تقریباً 6344 کیلومتر می‌باشد. پس از انجام اجراهای متعدد مدل و با تغییر پارامتر n بهترین نتیجه برای $n=0,028$ حاصل گردید.

پس از بدست آوردن نتایج مدل دو بعدی در ایستگاه اهواز و محاسبه دبی و میانگین سطح آب در سطح مقطع اهواز مقایسه‌ای بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده صورت پذیرفت که در شکل‌های (5) و (6) نشان داده شده است. همچنین مقایسه آماری نتایج اندازه‌گیری و پیش‌بینی مدل نشان داده است که درصد خطا در برآورد سطح آب و دبی در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب: (3,58% و 16,48%) و (2,25% و 16,24%) می‌باشد.

در این تحقیق از آمار و اطلاعات مرداد و شهریور سال 1383 برای واسنجی مدل دو بعدی در شبیه‌سازی فلز کادمیم و از اطلاعات شش ماه اول سال 1383 برای صحت‌سنجی مدل استفاده شده است. البته لازم به ذکر می‌باشد که اطلاعات ورودی برای شرایط مرزی از خروجی‌های مدل یک بعدی دریافت گردیده است. پارامترهایی که در مدل‌سازی دو بعدی باید میزان آنها تعیین گردد، ضرایب ثابت ضریب پخشیدگی و ضریب زوال می‌باشند. در ابتدا با اجراهای متعدد بهترین مقادیر برای ضرایب ثابت ضریب پخشیدگی تعیین شده که در آن نتایج مدل با مقادیر اندازه‌گیری نزدیک می‌باشد. همچنین نتایج حاصله از برآورد 5 ضریب زوال مختلف استفاده شده در این تحقیق در مدل دو بعدی نشان می‌دهد که میزان این ضرایب با میزان حاصل از مدل‌سازی یک بعدی برابر است. شکل (7) و جدول (3) نتایج و مقادیر خطای اندازه‌گیری شده برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل دو بعدی را برای فلز سنگین محلول کادمیوم نشان می‌دهد.

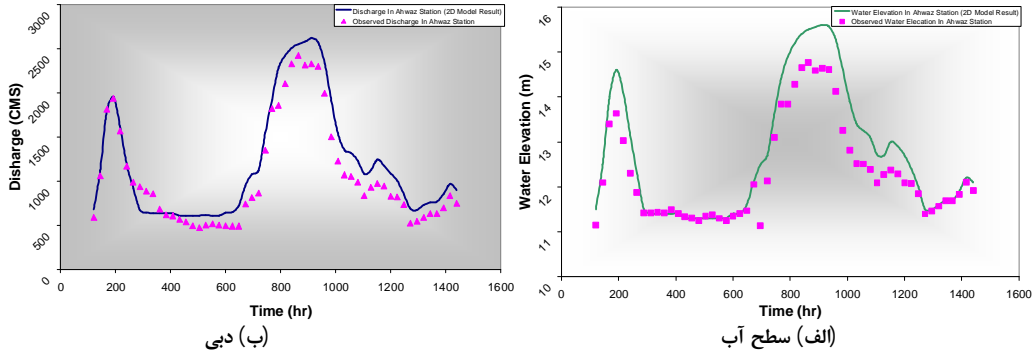


نتایج حاصل از جدول (3) نشان می‌دهد که ضرایب زوال انتخابی و مدل دو بعدی این پارامتر را نسبتاً خوب مدل‌سازی می‌کنند. همچنین R^2 در صحت‌سنجی نسبت به واسنجی بطور متوسط به اندازه 0,83 واحد افزایش یافته که نشان دهنده قابل قبول بودن ضرایب زوال انتخابی و نتایج حاصله می‌باشد. همچنین با انتخاب ضریب زوال متغیر دقت مدل بطور متوسط 97% افزایش یافته است.

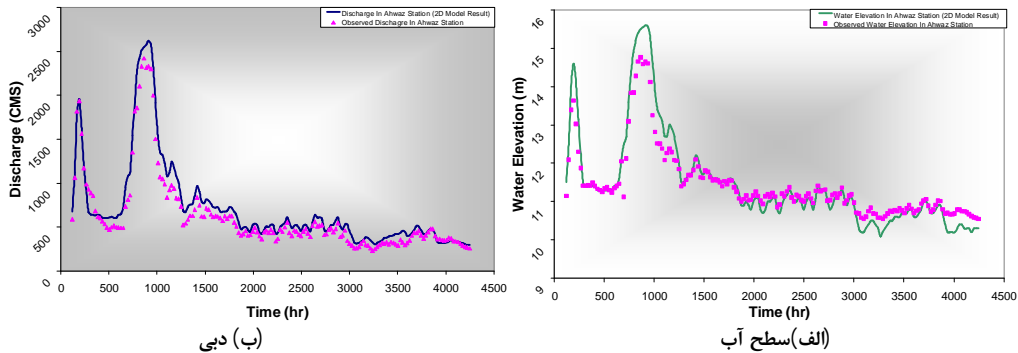
نتیجه گیری:

خلاصه‌ای از نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های یک بعدی و دو بعدی به شرح زیر ارائه می‌گردد:

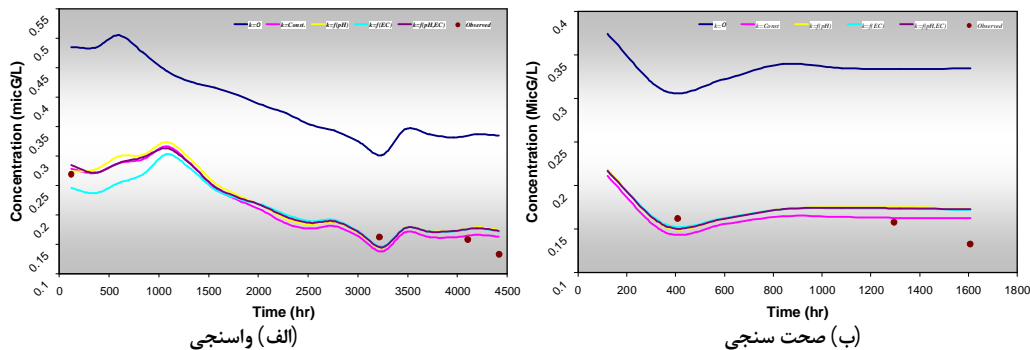
1- در این تحقیق از 5 ضریب زوال مختلف در واسنجی و صحت‌سنجی جهت مدل‌سازی یک بعدی و دو بعدی فلز سنگین محلول کادمیوم استفاده شد.



شکل 5: مقایسه دبی و سطح آب اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل در ایستگاه اهواز برای مرحله واسنجی هیدرودینامیک مدل دو بعدی



شکل 6: مقایسه دبی و سطح آب اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل در ایستگاه اهواز برای مرحله صحت‌سنجی هیدرودینامیک مدل دو بعدی



شکل 7: مقایسه غلظت کادمیوم محلول اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل دو بعدی در ایستگاه شکاره با استفاده از 5 ضریب زوال انتخابی



جدول 3: محاسبه مقادیر خطای مدل دو بعدی در مدل سازی فلز سنگین محلول کادمیوم برای 5 ضریب زوال مختلف

صحت سنجی				واسنجی				نتایج مدل
RMSE	R ²	a	%Error	RMSE	R ²	a	%Error	ضریب زوال انتخابی
0,1878	0,868	1,9682	102,81	0,1774	0,189	2,1419	116,18	$k = 0$
0,0202	0,872	1,0262	10,01	0,0228	0,221	1,0203	14,05	$k = Const.$
0,0253	0,823	1,0524	12,06	0,0291	0,224	1,0882	18,14	$k = -0.2462 \times pH + 2.3738$
0,0263	0,793	0,9962	13,78	0,0270	0,187	1,0858	16,68	$k = -0.000201 \times EC + 0.7286$
0,0254	0,852	1,0709	13,06	0,0279	0,206	1,0843	17,37	$k = -0.1231 \times pH - 0.0001 \times EC + 1.5512$

- 2- تنها پارامتر برای واسنجی هیدرودینامیک مدل یک بعدی ضریب زبری مانینگ می باشد که با تقسیم بندی منطقه به چهار قسمت، مقدار ضریب زبری برای قسمت یک، $n=0,026$ ؛ قسمت دو، $n=0,050$ ؛ قسمت سه، $n=0,040$ و قسمت، $n=0,031$ بدست آمد. که نتایج حاصله دقت بالایی را نشان دادند.
- 3- با انتخاب 5 ضریب زوال مختلف برای فلز سنگین محلول کادمیوم، مقدار ضریب زوال در مدل یک بعدی به ترتیب 0,38، 0,31-0,40، 0,31-0,48 و 0,31-0,44 بدست آمد.
- 4- در مدل سازی یک بعدی فلز سنگین محلول کادمیوم با انتخاب ضریب زوال متغیر به عنوان تابعی از pH و EC میزان خطای مدل بطور متوسط از 74% به 2% کاهش یافت و همچنین در مدل دو بعدی با انتخاب ضریب زوال متغیر برای این فلز میزان خطا بطور متوسط از 109% به 12% کاهش یافته است.
- 5- بهترین نتیجه در واسنجی هیدرودینامیک مدل دو بعدی برای $n=0,028$ بدست آمد.
- 6- مقادیر ضریب زوال برای 5 ضریب زوال انتخابی فلز سنگین محلول کادمیوم در مدل دو بعدی با مقادیر محاسبه شده از مدل یک بعدی برابر می باشند.

مراجع:

- 1- توکلی زاده، ا.ع.، (1385)، (مدل سازی عددی هیدرودینامیکی و کیفی سیستم های رودخانه ای)، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه سازه های آبی، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- 2- Cunge, J.A., Holly, F.M., and Verwey, A., (1980), "Practical aspects of computational river hydraulics", Pitman Publishing Limited, London, 420 pp.
- 3- Falconer, R.A., Lin, B., and Wu, Y., (1997), "DIVAST model: user manual", Cardiff University, Environmental Management Research Center.
- 4- Kashefipour, S.M., (2001), "Modeling flow, water quality and sediment transport processes in riverine basins", PhD Thesis, Department of Civil Engineering, Cardiff University, UK.
- 5- Kashefipour, S.M., and Falconer, R.A., (2000), "An improved model for predicting sediment fluxes in estuarine waters", Proceedings of Fourth International Hydro informatics Conference, Iowa, USA, July 2000, L-8.
- 6- Kashefipour, S.M., and Falconer, R.A., (2002), "Longitudinal dispersion coefficient in natural channels ", Journal of Water Research, Vol. 36, pp. 1596-1608.
- 7- Lee, H.Y., Hsieh, H.M., Yang, J.C., and Yang, C.T., (1997), "Quasi-two-dimensional simulation of scour and deposition in alluvial channels", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 7, pp. 600-609.
- 8- Nassehi, V., and Bikangaga, J.H., (1993), "A mathematical model for hydrodynamics and pollutant transport in long and narrow tidal rivers", Applied Mathematical Modelling Journal, Vol. 17, pp. 415-422.
- 9- Preston, R.W., (1985), "The representation of dispersion in two-dimensional shallow water flow", Central Electricity Research Laboratories, Report No. TPRD/L/278333/N84, May, 13 pp.
- 10- Wu, Y., Falconer, R.A., and Lin, B., (2001), "Hydro-environmental modelling of heavy metal fluxes on an estuary", In: Proceedings of XXIX IAHR Congress, Theme b: Environmental Hydraulics, pp. 732-739.