

بررسی تاثیر تغییرات ابعاد هندسی و نوع جریان در حوضچه های ترسیب بر دبی خروجی رسوب

ابراهیم نوحانی^{۱*}، فضل اله جلیلیان^۲

۱- گروه عمران، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، nohani_e@yahoo.com

۲- گروه عمران، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

چکیده

حوضچه های پیش ته نشینی از اجزاء مهم و اصلی در فرآیند تصفیه آب به شیوه متعارف به شمار می روند. به دلیل هزینه بسیار زیاد ساخت این حوضچه ها که در حدود ۳۰٪ کل هزینه تصفیه خانه های آب را به خود اختصاص می دهد، مدل سازی و عملکرد بهینه حوضچه های ترسیب بسیار حائز اهمیت است. در حوضچه های ترسیب به دلیل وجود گرادیانهای مختلف سرعت، نواحی مختلفی از جریان از جمله جریانات ثانویه و چرخشی بوجود می پیوندد. اولین گام برای بهینه سازی حوضچه های پیش ته نشینی، محاسبه صحیح میدان سرعت و حجم نواحی چرخشی می باشد. در این پژوهش، شبیه سازی عددی جریان در یک حوضچه مستطیلی مورد بررسی قرار گرفته و معادلات پیوستگی و ناویر استوکس با استفاده از نرم افزار SSIM2 حل می شوند. شبیه سازی جریان در حالت سه بعدی و با استفاده از مدل آشفتگی k-ε استاندارد انجام شده و پروفیل های سرعت جریان در مقاطع مختلف حوضچه ترسیب با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است که مقایسه این نتایج مطابقت خوبی را بین آنها نشان می دهد. پس از این مرحله، به منظور بررسی نحوه رسوبگذاری در حوضچه ترسیب، معادله پخش و انتقال غلظت رسوب به صورت همزمان با معادلات حاکم بر هیدرولیک جریان حل می شود و در پایان تاثیر تغییرات ابعاد هندسی و نتایج توزیع قائم پروفیل های غلظت رسوب در مقاطع مختلف حوضچه با نتایج آزمایشگاهی و عددی سایر محققین مقایسه شده که نشانگر انطباق مناسب نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی بوده و توانایی بالای این مدل عددی را در پیش بینی توزیع پروفیل های غلظت رسوب در حوضچه های ترسیب نشان می دهد.

واژه های کلیدی: حوضچه های ترسیب، پروفیل سرعت جریان، توزیع غلظت رسوب، نرم افزار SSIM2، مدل آشفتگی k-ε استاندارد

مقدمه

از اثرات هیدرولیکی و فیزیکی مثل چگالی جریان، نیروی ثقل و لخته شدن رسوبات می باشند. در این راستا تنها جنبه شیمیایی رسوب موجود در حوضچه حائز اهمیت نیست، بلکه هیدرولیک جریان نقش مهمی را ایفا می کند. به منظور بهینه کردن عملکرد این حوضچه ها، باید جریان سیال ورودی به حوضچه آرام باشد و آشفتگی به مقدار حداقل رسانده شود. جریانات ثانویه و مناطق چرخشی همیشه در حوضچه ها وجود دارند. این مناطق با ایجاد مسیرهای کوتاه باعث توسعه نواحی مرده و دوری از ته نشینی مناسب می شوند. محققین بسیاری در زمینه کارهای

با توجه به اهمیت کیفیت آب شرب و تصفیه آن با کارایی بالا و بازدهی مناسب در فرآیند تصفیه خانه های آب، عملکرد حوضچه ترسیب، مورد توجه قرار گرفته است. حوضچه های ترسیب نقش جداکننده ذرات معلق قابل ته نشین از سیال را بر عهده دارند، به صورتی که در تصفیه خانه های آب در واحدهای قبل از حوضچه ترسیب با اضافه کردن منعقدکننده ها و اختلاط آن در حوضچه اختلاط سریع، اندازه ذرات افزایش یافته و زمان ته نشین شدن ذرات را کاهش می دهند. عملکرد حوضچه های ترسیب به شدت متأثر

استفاده از روش HFAM به شبیه سازی دو بعدی حوضچه های ترسیب پرداختند [۶].

معادلات حاکم بر جریان

در این مطالعه، معادلات پیوستگی و ناویر-استوکس با استفاده از روش احجام محدود سه بعدی (Finite-Volume Method) حل می شوند. روش احجام محدود بر اساس گسسته سازی مستقیم شکل انتگرالی قوانین بقا در فضای فیزیکی استوار است. تحلیل جریان نیز در حالت ماندگار صورت گرفته و از الگوریتم SIMPLE برای کوپل سرعت و فشار استفاده شده است. روش گسسته سازی معادلات پیوستگی، مومنتوم، افت و انرژی جنبشی آشفتگی و تنش های رینولدز روش پیش رو مرتبه دو و روش گسسته سازی معادله فشار، روش استاندارد می باشد.

معادلات حاکم بر حرکت سیال عبارتند از معادله پیوستگی و معادله مومنتوم که برای جریان آشفته در سیال تراکم ناپذیر در یک هندسه سه بعدی به ترتیب روابط (۱) و (۲) می باشند. در مدل های آشفتگی مختلف، انرژی جنبشی آشفتگی نیز مطابق رابطه (۳) تعریف می شود [۷].

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial t} + (\bar{U}_j) \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} = - \quad (2)$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + g_{xi} + \frac{\partial}{\partial x_j} [v \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} - \overline{U'_i U'_j}] \quad (3)$$

$$K = \frac{1}{2} \overline{U'_i U'_i} \quad (3)$$

که در این روابط، $\rho \bar{u}_i \bar{u}_j$ تنش رینولدز، U_j و U_i به ترتیب سرعت جریان در جهت x و y ، t زمان، ρ ویسکوزیته مولکولی، p فشار، k انرژی جنبشی آشفتگی، ρ چگالی سیال و g_{xi} شتاب گرانشی در جهت x_i می باشند. با توجه به اینکه در مطالعه حاضر از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استفاده شده است، تنها به ارائه روابط این مدل آشفتگی پرداختیم.

آزمایشگاهی و مدلسازی های عددی حوضچه های پیش ته نشینی فعالیت نموده اند. دوبینز (۱۹۴۴) در یک مطالعه تحلیلی و تجربی ته نشینی ذرات مستقل از هم با اندازه های یکنواخت را در یک جریانی که آشفتگی در آن کاملاً توسعه یافته بود بررسی کرد. او آشفتگی کاملاً توسعه یافته را به عنوان شرایطی که در آن، اگرچه سرعت در هر نقطه ای پیوسته بود، ولی مشخصات آماری کلیدی ثابت مانده بود، بیان کرد [۱]. شیب و همکاران (۱۹۷۵) با استفاده از تست های آزمایشگاهی، یک رویکرد برای تخمین پارامترهای مدل دینامیکی، در توضیح عملکرد حوضچه های پیش ته نشینی ارائه کردند [۲]. امام و همکاران (۱۹۸۳) بر روی حوضچه ته نشینی ویندسور مطالعات آزمایشگاهی خود را انجام دادند. مدل آزمایشگاهی ایشان در حوضچه ساده ای بدون مانع منحرف کننده جریان انجام شد [۳]. لین و رودی (۱۹۹۰) بررسی آزمایشگاهی بر روی حوضچه ترسیب اولیه کالسروده با تمرکز بر قسمت ورودی حوضچه انجام دادند. نتایج شامل اندازه گیری پروفیل های سرعت افقی، قائم و پروفیل های آشفتگی بوده است [۴]. این مطالعه با قرار گیری تیغه هدایت کننده جریان در مقابل ورودی انجام شده است. با مقایسه بین داده های تجربی نشان داده شده است که میدان جریان می تواند با استفاده از CFD محاسبه شود. لی و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل عددی دو بعدی یکنواخت برای مطالعه هیدرودینامیک حوضچه های ترسیب مستطیلی، تحت شرایط آشفته ایجاد کردند. برای فرمول بندی کردن معادله جریان از روش انتگرال نواری برای حل معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم بر پیوستگی، مومنتوم و پخش و انتقال غلظت و انرژی جنبشی آشفته و استهلاك آن استفاده کردند [۵]. لی و همکاران (۲۰۰۸) به منظور بررسی جریان آشفته در حوضچه های ترسیب با استفاده از مدل $k-\epsilon$ اصلاح شده بر پایه فرضیات بوسینسک برای مدلسازی تنش های رینولدز و حل معادلات حاکم با

برای بار بستر، ون راین در سال ۱۹۸۷، رابطه ای را برای غلظت تعادلی رسوب در مجاورت بستر توسعه داد [۸].

$$c_{bed} = 0.015 \frac{d^{0.3} \left[\frac{\tau - \tau_c}{\tau_c} \right]^{1.5}}{\left[\frac{(\rho_s - \rho_w)g}{\rho_w v^2} \right]^{0.1}} \quad (10)$$

در رابطه (۱۰)، d قطر ذرات رسوب، a تراز مبنا برای برای ارتفاع زیری، τ تنش برشی بستر، τ_c تنش برشی بحرانی، ρ_w و ρ_s چگالی آب و رسوب و v ویسکوزیته آب می باشد.

مشخصات مدل آزمایشگاهی Shahrokhi et al. (2011)

در مطالعه آزمایشگاهی شاهرخي و همکاران (۲۰۱۱)، طول حوضچه مستطیلی (L) ۲ متر، عرض آن (W) ۰/۵ متر و نسبت عمق آب به طول حوضچه (H/L) ۰/۱۵۵ می باشد. ارتفاع جریان ورودی به حوضچه (Hin) ۱۰ سانتی متر و ارتفاع سرریز خروجی (Hw) ۳۰ سانتی متر می باشد [۹]. دبی ورودی به حوضچه (Q) ۰/۰۰۲ متر مکعب بر ثانیه، عمق جریان (H) ۰/۳۱ متر، عدد رینولدز ورودی (Re) ۳۹۷۲، چگالی ذره رسوب (ρ_s) ۱/۰۴۹ گرم بر سانتی متر مکعب، قطر نیمی از ذرات رسوب (d) بین ۷۵-۱۰۶ میکرومتر و نیمی دیگر بین ۱۰۶-۱۵۰ میکرومتر، مدت زمان آزمایش (t) ۱۵ دقیقه، غلظت رسوب ورودی (c0) ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر و عدد فرود جریان ورودی (Fr) ۰/۰۴ می باشد. نمای شماتیک حوضچه مستطیلی در شکل ۱ نشان داده شده است [۹].

در مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ ، انرژی جنبشی آشفتگی (k) به صورت زیر مدل می شود،

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{V_T \partial k}{\sigma_k \partial x_j} \right) + P_k - \varepsilon \quad (4)$$

P_k به صورت زیر تعریف می شود،

$$P_k = v_T \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \left(\frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) \quad (5)$$

$$v_T = c_\mu \frac{K}{\varepsilon^2} \quad (6)$$

K به صورت ε علامت گذاری شده و به صورت زیر در می آید،

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_T \partial \varepsilon}{\sigma_k \partial x_j} \right) \quad (7)$$

$$+ C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k + C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k}$$

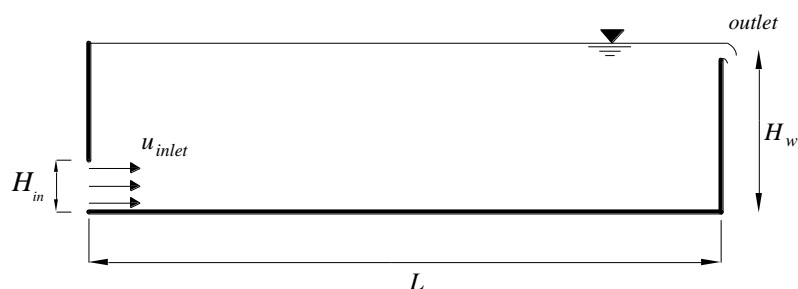
در رابطه فوق، P_k ترم تولید آشفتگی و مقادیر ثابت های تجربی مورد استفاده به صورت زیر می باشند [۷].

$$\begin{aligned} C_\mu &= 0.09 \\ C_{1\varepsilon} &= 1.43 \\ C_{2\varepsilon} &= 1.92 \\ \sigma_\varepsilon &= 1.3 \\ \sigma_k &= 1 \end{aligned} \quad (8)$$

در این مدل عددی، رسوب به دو بخش بار معلق و بار بستر تقسیم می شود. برای محاسبه بار معلق از معادله انتقال - پخش [۷] به شرح ذیل استفاده می گردد:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + U_j \frac{\partial c}{\partial x_j} + \omega \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial c}{\partial x_j} \left(\Gamma \frac{\partial c}{\partial x_j} \right) \quad (9)$$

در رابطه (۹)، c : غلظت رسوب، ω : سرعت سقوط، U : سرعت جریان، X : بعد فاصله و Γ : ضریب انتشار می باشد.

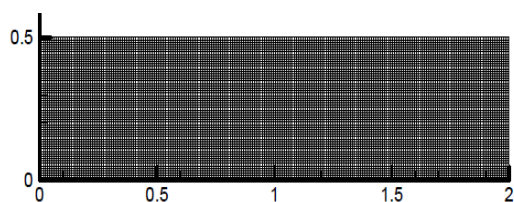


شکل ۱- مشخصات هندسی فلوم آزمایشگاهی

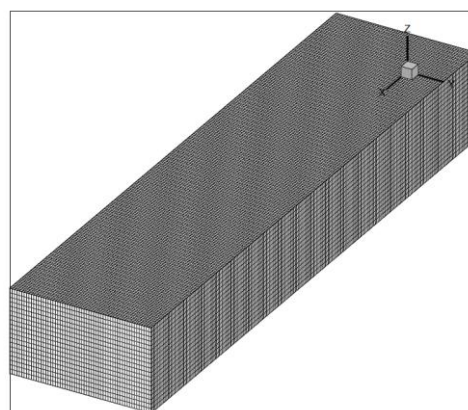
شبکه بندی و شرایط مرزی حاکم بر مساله

در این مطالعه، ورودی حوضچه از شرط مرزی سرعت معین با مقدار سرعت میانگین ۰/۰۴ متر بر ثانیه و مرزهای خروجی میدان (خروجی حوضچه ترسیب)، از شرط مرزی جریان خروجی بهره می گیرد. با توجه به تغییرات ناچیز سطح آب، شرط مرزی تقارن به سطح آب اعمال شده است. شرط مرزی دیواره برای مرزهای صلب اعمال شده و دیواره ها از لحاظ

هیدرولیکی صاف در نظر گرفته شده اند. همچنین یکی از پارامترهای مهم در سرعت اجرای مدل، شبکه بندی مناسب منطقه ای می باشد که جریان در آن برقرار است. شکل ۲، پلان و نمای سه بعدی شبکه بندی میدان محاسباتی در حوضچه مستطیلی را نشان می دهد که تعداد و ابعاد سلولهای نواحی مختلف آن در جهات x، y و z در جدول ۱ آورده شده است.



(a)



(b)

شکل ۲- شبکه بندی دامنه حل در حوضچه پیش ته نشینی در دو حالت (a) پلان و (b) نمای سه بعدی

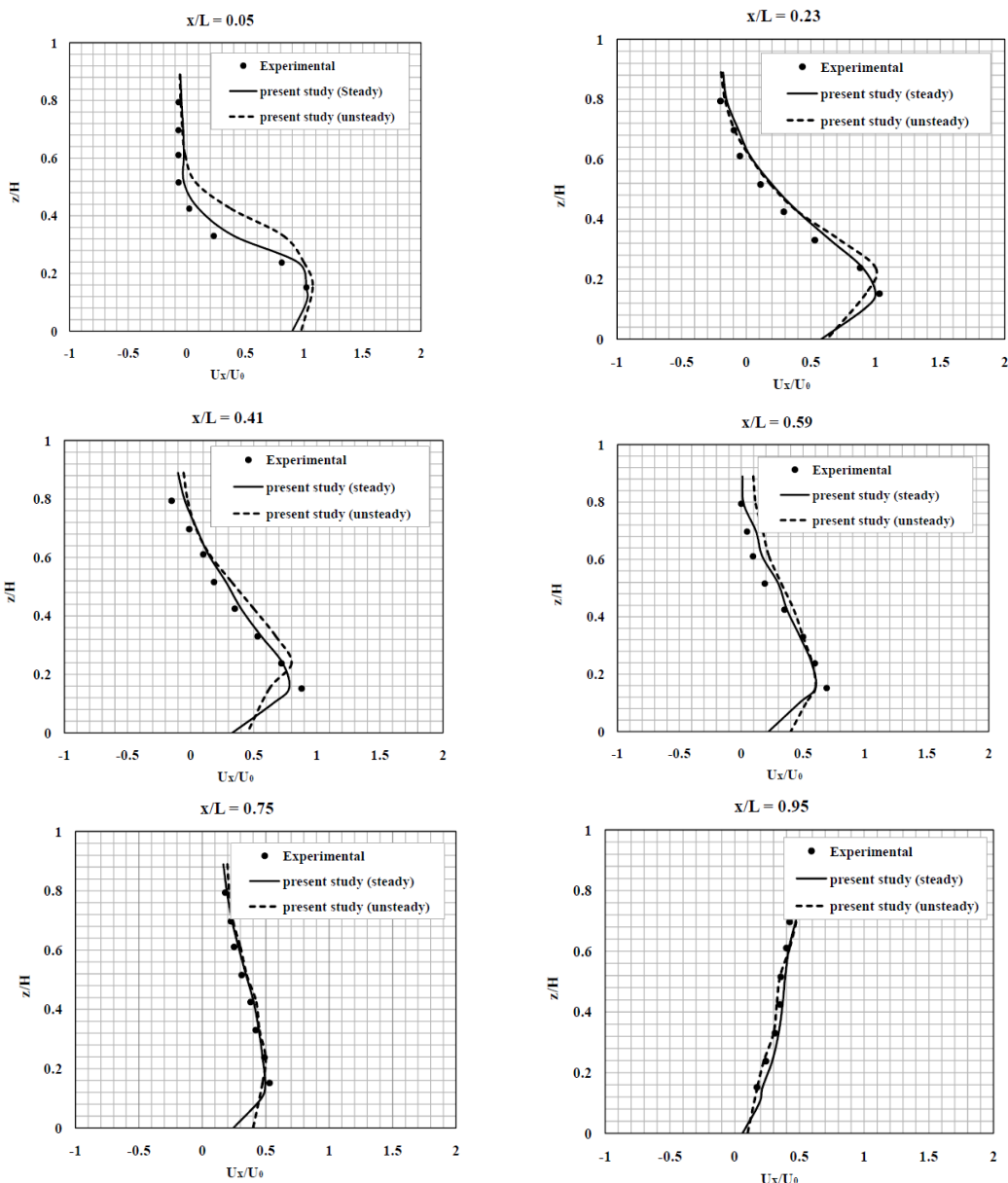
جدول ۱- تعداد و ابعاد سلولهای نواحی شبکه میدان محاسباتی در جهات مختلف

ناحیه	تعداد سلولها در جهت X	تعداد سلولها در جهت Y	تعداد سلولها در جهت Z	ابعاد سلولها در جهت X (mm)	ابعاد سلولها در جهت Y (mm)	ابعاد سلولها در جهت Z (mm)
Zone	۲۵۰	۶۰	۱۹	۸	۸/۳۳	۱۶/۳۱

فرود جریان ورودی (Fr) ۰/۰۴ در دو حالت ماندگار (بدون شیب کف) و غیرماندگار (با شیب ۲٪ کف حوضچه) نشان داده شده است. x ، z به ترتیب فاصله در جهت محور x و z حوضچه می‌باشند. U_0 سرعت ورودی جریان بوده که مقدار آن برابر ۰/۰۴ متر بر ثانیه می‌باشد.

شبیه سازی عددی سرعت جریان

در شکل ۳، مطابق مطالعه آزمایشگاهی، پروفیل‌های سرعت بی بعد شده (U_x/U_0) در اعماق مختلف بی بعد شده حوضچه (z/H)، برای مقاطع مختلف (x/L) ۰/۰۵، ۰/۲۳، ۰/۴۱، ۰/۵۹، ۰/۷۵ و ۰/۹۵ به ازای دبی ثابت ورودی ۰/۰۰۲ مترمکعب بر ثانیه و عدد



شکل ۳- مقایسه مقادیر شبیه سازی عددی سرعت در مقاطع مختلف حوضچه ته نشینی با نتایج آزمایشگاهی

طی کرده و با نزدیک شدن به انتهای حوضچه از مقطع $x/l=0.05$ تا $x/l=0.75$ سرعت حداکثر به کف

با توجه به شکل ۳، همانطور که مشاهده می‌شود، پروفیل سرعت در ابتدای حوضچه روند منظم خود را

می تواند به دلیل اختلاف الگوی جریان در مقطع ورودی باشد. جدول ۲، میانگین درصد خطای حاصل از مقایسه مقادیر عددی حاصله از مطالعه حاضر و مقادیر آزمایشگاهی را در مقاطع مختلف حوضچه ترسیب نشان می دهد.

حوضچه جابجا می شود. همچنین با توجه به این شکل، در مقایسه مقادیر عددی با نتایج آزمایشگاهی خطاهایی در نزدیک بستر به خصوص در مناطق نزدیک ناحیه ورودی حوضچه مشاهده می شود. این تفاوت بین نتایج محاسباتی مدل و نتایج آزمایشگاهی

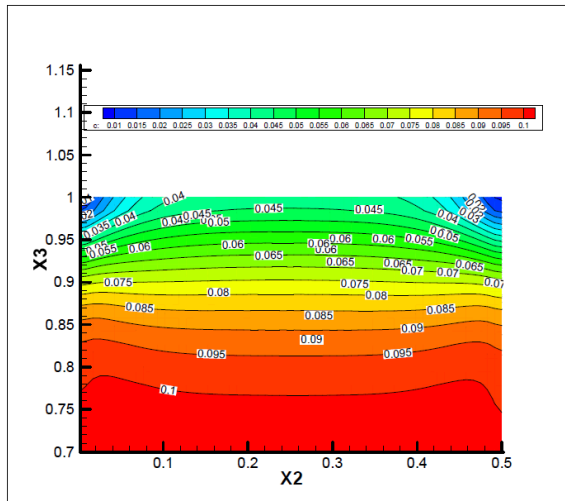
جدول ۲- میانگین درصد خطای حاصل از مقایسه مقادیر عددی پروفیل سرعت در مقاطع مختلف حوضچه با مقادیر آزمایشگاهی

مقطع	x/L					
	۰/۰۵	۰/۲۳	۰/۴۱	۰/۵۹	۰/۷۵	۰/۹۵
میانگین درصد خطاء در مطالعه حاضر	۹/۵۸	۹/۱۲	۸/۱۸	۸/۰۳	۲/۹۲	۱/۲۵

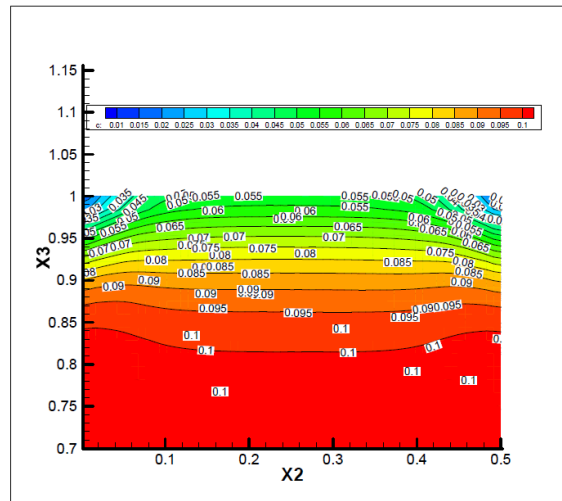
عددی در اعماق مختلف حوضچه (Z)، برای مقاطع مختلف (x) ۸۴، ۱۲۱، ۱۵۸ و ۱۹۵ سانتیمتر از ابتدای حوضچه ترسیب به ازای دبی ثابت ورودی ۰/۰۰۲ مترمکعب بر ثانیه، عدد فرود جریان ورودی ۰/۰۴ و غلظت رسوب ورودی (cin) ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر نشان داده شده است. در این شکل، واحد غلظت رسوب کیلوگرم بر مترمکعب می باشد.

میانگین درصد خطای حاصل از مقایسه مقادیر عددی پروفیل سرعت در مقاطع مختلف حوضچه با مقادیر آزمایشگاهی بدست آمده از جدول ۲، نشانگر انطباق نسبتاً خوب نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی می باشد.

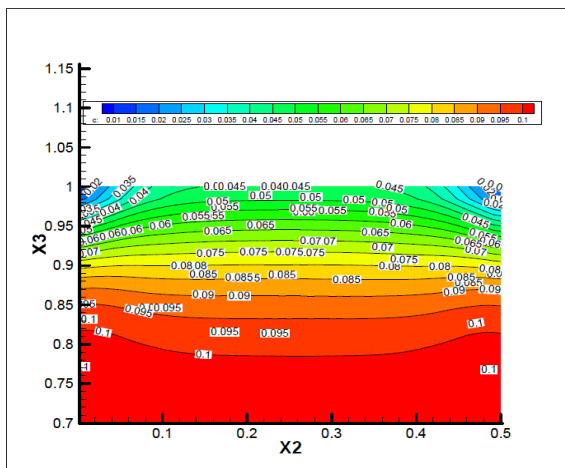
شبه سازی عددی پخش و انتقال غلظت رسوب در مقاطع مختلف در حوضچه پیش ته نشینی
در شکل ۴، مطابق مطالعه آزمایشگاهی، نتایج گرافیکی توزیع قائم غلظت رسوب حاصل از مدلسازی



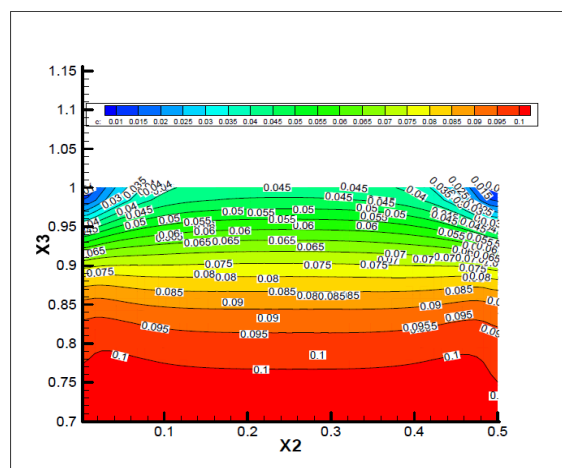
X=84 cm



X=121 cm



X=158 cm

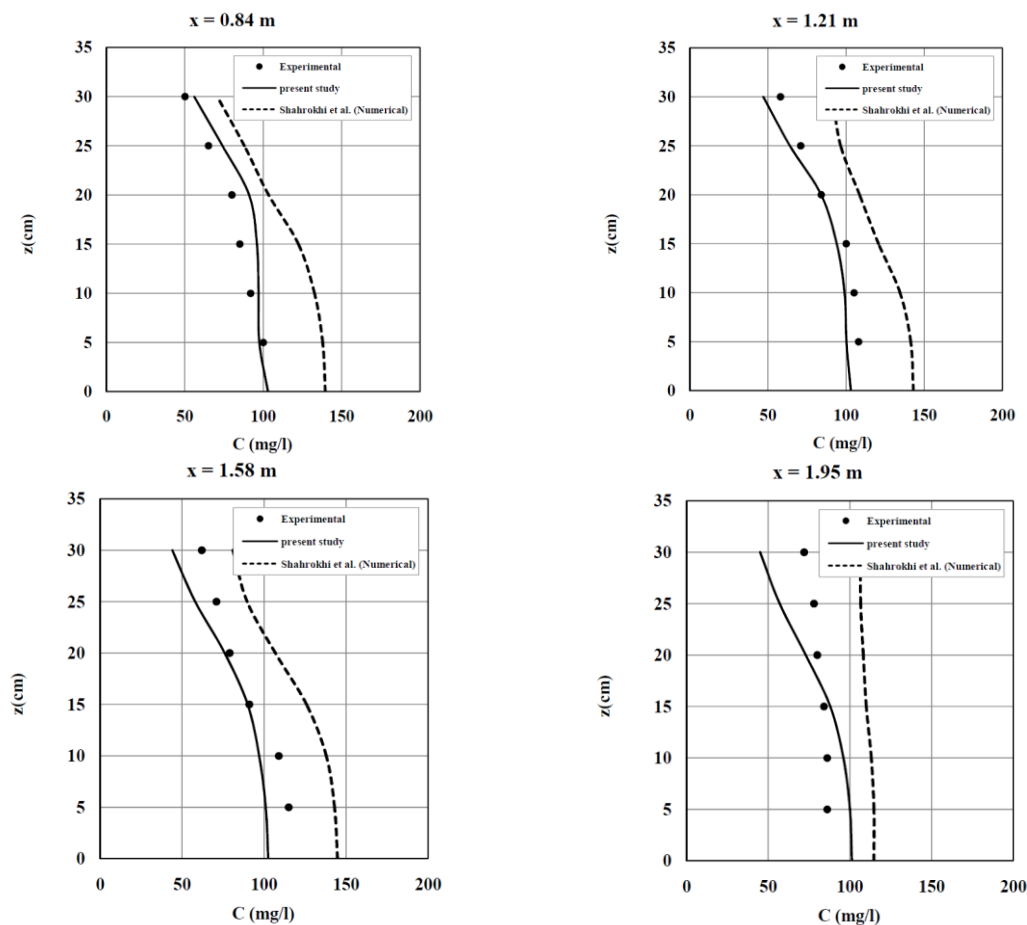


X=195 cm

شکل ۴- بررسی نتایج گرافیکی توزیع قائم غلظت رسوب بدست آمده در مقاطع مختلف حوضچه

۱۲۱، ۱۵۸ و ۱۹۵ سانتیمتر از ابتدای حوضچه ترسیب به ازای دبی ثابت ورودی ۰/۰۰۲ مترمکعب بر ثانیه و غلظت رسوب ورودی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر را نشان می‌دهد. نتایج عددی حاصله، برگرفته از مطالعه عددی شاهرخی و همکاران (۲۰۱۱)، می‌باشد که در آن جهت بررسی توزیع پروفیل‌های غلظت رسوب جریان از مدل عددی Flow 3D استفاده شده است.

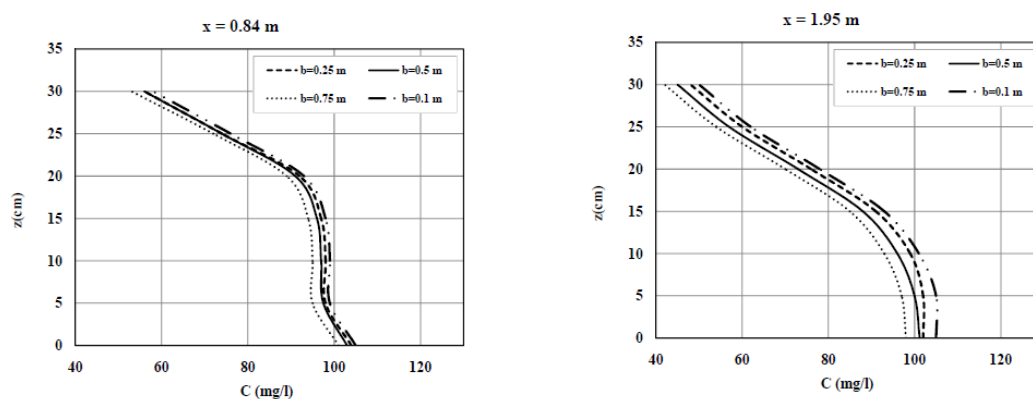
با توجه به نتایج گرافیکی توزیع غلظت رسوب بدست آمده از شکل ۴، همانطور که مشاهده می‌شود، هرچه به انتهای حوضچه نزدیکتر می‌شویم، مقدار غلظت در مقطع به مقدار غلظت ورودی در فاصله کمتری از کف نزدیک‌تر می‌شود. با توجه به شکل ۴، شکل ۵ پروفیل‌های غلظت رسوب (c) در اعماق مختلف حوضچه (Z)، برای مقاطع مختلف (X) ۸۴،



شکل ۵- بررسی توزیع غلظت رسوب در مقاطع مختلف در حوضچه پیش ته نشینی

گرم بر لیتر رسیده که نسبت به غلظت رسوب در کف به مقدار ۵۷/۴۸٪ کاهش یافته است. شکل ۶ پروفیل‌های غلظت رسوب (C) در مقاطع ابتدا و انتهای حوضچه ترسیب و به ازای عرض های مختلف حوضچه نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۵ همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش عمق، غلظت رسوب کاهش می‌یابد و در نزدیکی سطح آزاد کاهش شدیدی را نشان می‌دهد بطوریکه در مقطع $x=1.58$ m از ورودی حوضچه، غلظت رسوب در نزدیکی سطح آزاد به مقدار ۴۴ میلی



شکل ۶- بررسی توزیع غلظت رسوب در حوضچه ترسیب به ازای عرض های مختلف حوضچه

کف حوضچه انتقال می یابد. به منظور بررسی الگوی جریان و نحوه پخش و انتقال رسوب در حوضچه پیش ته نشینی، با توجه به نتایج توزیع غلظت رسوب بدست آمده از مدلسازی عددی، پروفیل های توزیع غلظت رسوب در اعماق مختلف حوضچه، برای مقاطع مختلف مورد بررسی قرار گرفته و با نتایج آزمایشگاهی و عددی سایر محققین مقایسه شدند. در نزدیکی سطح آزاد جریان، غلظت رسوب کاهش شدیدی را نشان می دهد بطوریکه در مقطع $x=1.58\text{ m}$ از ورودی حوضچه، غلظت رسوب در نزدیکی سطح آزاد به مقدار ۴۴ میلی گرم بر لیتر رسیده که نسبت به غلظت رسوب در کف به مقدار $57/48\%$ کاهش می یابد. همچنین با افزایش عرض حوضچه ترسیب تجمع رسوب و غلظت رسوب در کف حوضچه کاهش یافته و با افزایش عمق، غلظت رسوب کاهش یافت. میانگین درصد خطا بین مقادیر شبیه سازی عددی غلظت رسوب در مقاطع مختلف حوضچه با مقادیر آزمایشگاهی، نشانگر این مطلب است که مقادیر عددی حاصل از مطالعه حاضر در مطابقت با نتایج آزمایشگاهی، نتایج خوبی را نشان دادند و این مورد بیانگر توانایی بالای این مدل عددی در شبیه سازی غلظت رسوب در مقاطع مختلف حوضچه های پیش ته نشینی می باشد.

با توجه به شکل ۶ همانطور که مشاهده می شود، با افزایش عرض حوضچه ترسیب تجمع رسوب و غلظت رسوب در کف حوضچه کاهش یافته و با افزایش عمق، غلظت رسوب کاهش می یابد.

نتیجه گیری

در حوضچه های پیش ته نشینی به دلیل وجود گرادیانهای مختلف سرعت، جریانات ثانویه و چرخشی بوجود می آید. در این مطالعه، به شبیه سازی عددی هیدرولیک جریان و نحوه پخش و انتقال رسوب در یک حوضچه مستطیلی با استفاده از نرم افزار SSIM2 پرداخته شده است. ابتدا جهت بررسی هیدرولیک جریان در حوضچه های پیش ته نشینی، پروفیل های سرعت بی بعد شده در اعماق مختلف برای مقاطع مختلف حوضچه پیش ته نشینی با استفاده از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استاندارد مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر عددی بدست آمده از مطالعه حاضر با نتایج آزمایشگاهی شاهرخی و همکاران (۲۰۱۱)، مورد مقایسه قرار گرفته و مطابقت خوبی بین آنها دیده می شود. پروفیل سرعت در ابتدای حوضچه روند منظم خود را طی کرده و با نزدیک شدن به انتهای حوضچه از مقطع $x/l=0.05$ تا $x/l=0.75$ سرعت حداکثر به

منابع

1. W.E.Dobbins. 1944. Effect of Turbulence on Sedimentation. Transactions, ASCE, Vol. 109, pp.629-656.
2. S.shiba, A.M.ASCE, and Y.Inoue. 1975. Dynamic Response of Settling Basin. ASCE, Vol.101.
3. E.Imam, and J.A.Mc Corquodale. 1983. Numerical Modeling of Sedimentation Tanks. Proc. ASCE 109.
4. D.A.Lyn, and W.Rodi. 1990. Turbulence Measurement in Model Settling Tank. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 116, No.1.
5. Liu, B., J. Ma, L. Luo, Y. Bai, S. Wang and J. Zhang. 2010. Two-Dimensional LDV Measurement, Modeling and Optimal Design of Rectangular Primary Settling Tanks. J. Environmental Engineering, ASCE, 136(5): 501-507.
6. B.Liu, J. Ma, S. Huang, D. Chen, and W. Chen. 2008. Two-Dimensional Numerical Simulation of Primary Settling Tanks by Hybrid Finite Analytic Method. Journal of Environmental Engineering, Vol. 134, No. 4, ASCE.

7. Olsen, N. B. R. 2009. A Three dimensional Numerical Model for Simulation of Sediment Movements in Water Intakes with Moltiblock Option. Department of Hydraulic and Environmental Engineering, the Norwegian University of Science and Technology. 177p.1
8. L.C.Van Rijn. 1987. Mathematical Modeling of Morphological Processes in the Case of Suspended Sediment Transport. Ph.D Thesis, Delft University of Technology.
9. M. Shahrokhi, F. Rostami, M.d. Azlin, and Syafalni. 2011. Numerical Modeling of the Effect of the Baffle Location on the Flow Field, Sediment Concentration and Efficiency of the Rectangular Primary Sedimentation Tanks. World Applied Sciences Journal, pp.1296-1309, ISSN 1818-4952.