

بررسی عددی تاثیر تعداد سازه بافل بر راندمان حوضچه ته‌نشینی اولیه

محمد جوادی‌راد^{۱*}، مهدی شاهرخی^۲، طاهر رجایی^۳

- ۱- کارشناس ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه قم
- ۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه غیاث الدین جمشید کاشانی
- ۳- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم

javadirad.mohammad@yahoo.com

تاریخ پذیرش: [۹۵/۱۲/۲۳]

تاریخ دریافت: [۹۵/۰۸/۰۹]

چکیده

حوضچه‌های ته‌نشینی از مهم‌ترین اجزای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب هستند به گونه‌ای که حدود یک سوم هزینه احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به ساخت حوضچه‌ها مربوط می‌شود. در این پژوهش اثر سازه بافل بر راندمان هیدرولیکی حوضچه‌های ته‌نشینی اولیه با مدلسازی عددی سه بعدی در نرم افزار Flow-3D بررسی شده است. حوضچه ته‌نشینی در ابعاد واقعی و مدل ساده شده حوضچه ته‌نشینی اولیه مستطیلی تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران است. برای حل آشفتگی جریان از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استفاده شده است. بر اساس هماهنگی نتایج عددی با داده‌های آزمایشگاهی، از دقت مناسب نتایج عددی اطمینان حاصل شد. محل بهینه بافل اول از پژوهشگران قبلی نویسندگان مشخص است. برای تعیین تعداد بهینه بافل‌ها، مقایسه نتایج بین حوضچه بدون بافل و حالت‌های بهینه حوضچه یک، دو و سه بافل انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که وجود سازه بافل سبب جلوگیری از جت جریان در کف و افزایش راندمان رسوبگذاری حوضچه‌های ته‌نشینی اولیه می‌شود. به علاوه با اضافه کردن یک بافل در موقعیت مناسب، بزرگی سرعت ماکزیمم، حجم ناحیه چرخشی و انرژی جنبشی کاهش می‌یابد به گونه‌ای که با اضافه کردن بافل اول، دوم و سوم به ترتیب حجم ناحیه چرخشی نسبت به حالت بدون بافل ۴/۱۳، ۴/۴۴ و ۴/۶۳ درصد کاهش می‌یابد. همچنین مقایسه منحنی‌های FTC برای حالت‌های تعداد مختلف بافل و بدون بافل، بهبود راندمان رسوبگذاری با افزایش تعداد بافل را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: حوضچه‌های ته‌نشینی اولیه، بافل، Flow-3D، راندمان هیدرولیکی، ته‌نشینی.

۱- مقدمه

ساخت حوضچه‌های ته‌نشینی در حدود یک سوم کل هزینه تاسیس تصفیه‌خانه‌ها است [2]. مناسب‌ترین حالت جریان در حوضچه‌های ته‌نشینی زمانی است که جریان یکنواخت باشد. با توجه به هندسه حوضچه‌های رسوبگذار، عموماً نواحی چرخشی درون حوضچه‌ها تشکیل می‌شود. وجود این نواحی چرخشی که به عنوان نواحی مرده هم گفته می‌شوند، از حجم مفید حوضچه می‌کاهد. نواحی

ته‌نشینی یکی از فرآیندهای تصفیه فیزیکی فاضلاب است که به معنای جدا کردن ذرات معلق سنگین‌تر از آب از طریق ترسیب است. در صورتی که حوضچه ته‌نشینی اولیه به شکلی کارآمد طراحی و راهبری شود باید بین ۵۰ تا ۷۰ درصد جامدات معلق فاضلاب را کاهش دهد [1]. حوضچه‌ها به دلیل هزینه بالا، از لحاظ مطالعه و طراحی بسیار مهم هستند. بطوریکه هزینه

چرخشی سبب ایجاد مستقیم و کوتاهی از ورودی به خروجی می‌شود که آن را پدیده اتصال کوتاه می‌نامند و این پدیده سبب کاهش زمان اقامت ذرات در حوضچه می‌شود [3]. همچنین نواحی چرخشی نه تنها مانع رسوب ذرات در حوضچه می‌شود، بلکه ممکن است مواد رسوب شده را دوباره به جریان اصلی حوضچه برگرداند [4]. با تغییر هندسه حوضچه می‌توان از حجم نواحی چرخشی کاست و بر یکنواختی جریان و در نتیجه بر میزان راندمان حوضچه افزود. یکی از روش‌های تغییر هندسه حوضچه استفاده مناسب از بافل به معنی سدی برای منحرف کردن جریان است.

مهم‌ترین پژوهش در زمینه حوضچه‌های ته‌نشینی اولیه به وسیله استمو^۱ و همکاران در سال ۱۹۹۰ [5] صورت گرفت. آن‌ها نشان دادند در حوضچه‌های ته‌نشینی اولیه اگر غلظت مواد معلق در ورودی از ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کمتر باشد می‌توان از اثر شناوری و تأثیر ذرات جامد بر سیال آب، چشم‌پوشی کرد. پس بازده هیدرولیکی حوضچه کاملاً وابسته به هیدرولیک سیال موجود در حوضچه است. این نتیجه اساس کار پژوهش‌های بعدی در زمینه حوضچه‌های ته‌نشینی اولیه به دلیل غلظت پایین ذرات، از جمله این تحقیق است و نیازی به مدلسازی ذرات جریان نیست.

در سال‌های اخیر نیز پژوهش‌های گسترده‌ای روی اثر سازه بافل بر راندمان حوضچه‌های ته‌نشینی انجام شده است. تمایل و همکاران [6] در سال ۲۰۰۸ مدلسازی عددی برای پیدا کردن محل بهینه بافل در حوضچه‌های رسوبگذار اولیه با استفاده از روش FTCs انجام دادند. آن‌ها معین کردند که بهترین محل سازه بافل جایی است که نواحی چرخشی را پخش و از آن بکاهد. شاهرخی و همکاران [4, 7] در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ و با تحقیق بر حوضچه آزمایشگاهی دریافتند که به وجود آمدن نواحی چرخشی عملکرد حوضچه ته‌نشینی را با میان‌بردن کاهش می‌دهد. تثبیت کردن یک سازه بافل در یک موقعیت مناسب می‌تواند وجود این نواحی را کاهش دهد. آن‌ها نشان دادند که تعداد بافل‌های بیشتر، باعث کاهش سرعت افقی جریان ورودی می‌شود و شانس بیشتری را برای رسوبگذاری

ذرات معلق فراهم می‌کند. بافل جدید در موقعیت مناسب، اندازه ناحیه چرخشی و انرژی جنبشی را کاهش می‌دهد. رزمی و همکاران [8] در سال ۲۰۱۳ بیان کردند سازه بافل می‌تواند راندمان حوضچه ته‌نشینی را افزایش دهد. نتایج آزمایش‌های تجربی آن‌ها نشان می‌دهد که نصب بافل نزدیک به ورودی و با ارتفاع نزدیک به ۲۵ تا ۳۰ درصد عمق آب، راندمان حوضچه را بهبود می‌بخشد. به‌علاوه حیدری و همکاران [9] در سال ۲۰۱۴ مجموعه آزمایش‌هایی از تاثیر سازه بافل و زاویه آن بر راندمان حذف ذرات رسوب در کانال مستقیمی به طول ۸ متر انجام دادند. آنالیز عددی آن‌ها با نرم‌افزار Fluent-3D ANSYS صورت گرفت. نتایج آزمایشگاهی و عددی با هم هماهنگ بودند و بهترین زاویه نصب حدود ۶۰ درجه تعیین شد. یکی از آخرین پژوهش‌ها در این زمینه به وسیله لیو^۲ و همکاران [10] در سال ۲۰۱۶ با ترکیبی از دو فاز مایع و جامد و با استفاده از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ انجام شد. مدلسازی آن‌ها بر تاثیر بافل روی راندمان حذف ذرات از یک حوضچه ته‌نشینی به طول ۲۱ متر صورت گرفت. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد با فاصله افقی بافل بین ۰/۵ تا ۲/۵ متر از ورودی میزان حذف ذرات افزایش می‌یابد. به‌علاوه با افزایش عمق مستغرق بافل از ۰/۵ تا ۲ متر، میزان حذف ذرات بطور آشکار افزایش می‌یابد.

پژوهش‌هایی در گذشته پیرامون حوضچه‌های ته‌نشینی و تاثیر بافل بر راندمان این حوضچه‌ها صورت گرفته است که بخشی از این تحقیقات مرور شد. اغلب این تحقیقات چه از نظر پارامترهای بررسی شده و چه از لحاظ شکل‌های مختلف بافل مانند تعداد آن، ناقص است. در این پژوهش حوضچه ته‌نشینی اولیه مستطیلی با ابعاد واقعی، با و بدون بافل در نرم‌افزار Flow-3D مدل می‌شود. به‌علاوه بیشتر پارامترها، از جمله حجم نواحی چرخشی، مقادیر انرژی جنبشی، سرعت‌های افقی و عمودی بررسی می‌شود. همچنین بررسی تعداد سازه بافل نسبت به پژوهش‌های گذشته کم‌سابقه است. ابتدا با مقایسه نتایج حاصل از Flow-3D با داده‌های آزمایشگاهی شاهرخی و همکاران در سال ۲۰۱۱ درستی آزمایشی مدل عددی صورت می‌گیرد. سپس تاثیر تعداد بافل مستقر در ناحیه ورودی بر راندمان

جریان درون این حوضچه‌ها می‌شود که همین موضوع یکی از عوامل کاهش راندمان حوضچه‌های ته‌نشینی است [11]. متداول‌ترین مدل‌های آشفتگی برای حل جریان‌های آشفته و گردابه‌ای، مدل‌های دو معادله‌ای $k - \epsilon$ و RNG است [10,11,12]. در این پژوهش مدل $k - \epsilon$ به عنوان مدل آشفتگی استفاده شده است. چگونگی انتخاب مدل آشفتگی در بخش‌های بعدی شرح داده می‌شود. مدل $k - \epsilon$ شامل دو معادله انتقال برای انرژی آشفتگی k و اتلاف آن ϵ است. که در بسیاری از پژوهش‌ها به آن‌ها اشاره شده به همین دلیل از تکرار آن‌ها پرهیز می‌شود.

۳- نرم افزار Flow-3D

نرم‌افزار Flow-3D از تکنیک‌های عددی پیشرفته‌ای برای حل معادلات سه‌بعدی حرکت سیال در مسائل چندفازی بهره می‌گیرد. روش VOF¹ برای مدل‌سازی سطح آزاد جریان استفاده می‌شود. وقتی سطح آزاد وجود دارد همه المان‌ها شامل سیال نمی‌شوند بعضی‌ها پر و بعضی خالی و تعدادی نیمه‌پر هستند. کمیت F میزان کسری از المان که توسط سیال احاطه شده است را تعیین می‌کند این کمیت تابع حجم سیال (VOF)² گفته می‌شود. همچنین از تکنیک انحصاری و قوی FAVOR³ برای مدل‌سازی موانع جامد و هندسه‌های پیچیده مسائل بهره می‌گیرد و برای معین نمودن نواحی هندسه کلی از شبکه‌های مستطیلی استفاده می‌کند و مقدار فشار، دما و سرعت برای هر حجم کنترل به صورت مجزا محاسبه می‌شود [13]. این نرم‌افزار از روش حجم محدود در شبکه‌بندی منظم مستطیلی استفاده می‌کند. استفاده از عناصر مستطیل شکل برای مش‌بندی مزایایی از جمله سهولت تولید منظم برای بهبود دقت عددی و همچنین نیاز به کمینه حافظه ذخیره‌سازی را برای Flow-3D ایجاد کرده است. تمامی موارد گفته‌شده دلایلی برای انتخاب این نرم‌افزار برای مدل‌سازی حوضچه ته‌نشینی مورد نظر در این پژوهش است.

رسوبگذاری حوضچه با بررسی ناحیه چرخشی و پارامترهای جریان و منحنی‌های FTC ارزیابی می‌شود.

۲- معادلات حاکم بر جریان

معادلات حاکم بر جریان سیال از قوانین بقای جرم و مومنتوم بدست می‌آیند. در شرایط جریان یکنواخت و تراکم-ناپذیر اثر اینرسی و ویسکوزیته معمولاً در مدل‌سازی عددی هیدرولیک جریان در نظر گرفته می‌شود.

۱-۲- معادله پیوستگی و معادلات ناویر-استوکس

معادله پیوستگی جریان از قانون بقای جرم و با نوشتن رابطه تعادل جرم برای یک المان سیال بدست می‌آید. معادله پیوستگی در یک جریان سیال به صورت زیر است:

$$V_f \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A_x) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w A_z) = 0 \quad (1)$$

که در آن V_f کسر حجم باز به جریان، ρ چگالی سیال، u و v و w به ترتیب سرعت در جهات x ، y و z و A_x ، A_y و A_z به ترتیب کسر سطح باز جریان در جهت‌های x ، y و z هستند. معادلات ناویر-استوکس، معادلات مومنتوم حاکم بر جریان سیالات نیوتنی لزج است و در سه جهت مختلف بیان می‌شوند که در ادامه برای کوتاهی بحث تنها در جهت x ارائه شده اند [۴]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left(u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x \quad (2)$$

که در آن P فشار، G_x شتاب جرم و f_x شتاب لزجت در جهت x است.

۲-۲- مدل آشفتگی

آشفتگی جریان در حوضچه‌های ته‌نشینی سبب متغیر بودن

1 Volume of fluid

2 Volume of fraction

3 Fractional area-volume obstacle representation

۴- درستی آزمایشی و آماده‌سازی مدل عددی

برای درستی آزمایشی مدل عددی از مقایسه مقادیر سرعت با داده‌های آزمایشگاهی شاه‌رخ‌ی و همکاران استفاده شده‌است. در آزمایش‌های تجربی آنها برای اطمینان از درستی نتایج بدست آمده، هر آزمایش پنج مرتبه تکرار شده‌است. مدل عددی مقاله حاضر با این نتایج آزمایشگاهی درستی آزمایشی شده‌است. مشخصات هندسی حوضچه آزمایشگاهی و جریان درون آن شامل: طول حوضچه (L) برابر ۲۰۰ سانتی‌متر، عمق حوضچه (W) ۵۰ سانتی‌متر، ارتفاع آب (H) ۳۱ سانتی‌متر، ارتفاع سرریز (H_w) ۳۰ سانتی‌متر، ارتفاع ورودی (H_{in}) ۱۰ سانتی‌متر و سرعت ورودی، ۴ سانتی‌متر در ثانیه است [11]. شکل (۱) تصویر شماتیک این حوضچه را نشان می‌دهد.

شکل ۱. تصویری شماتیک از حوضچه ته‌نشینی آزمایشگاهی شاه‌رخ‌ی و همکاران

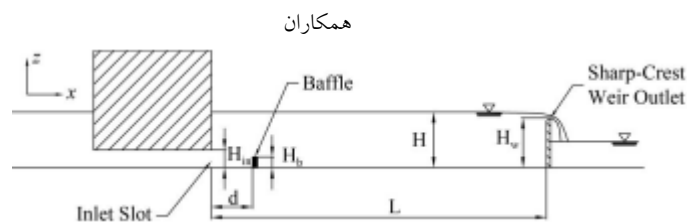


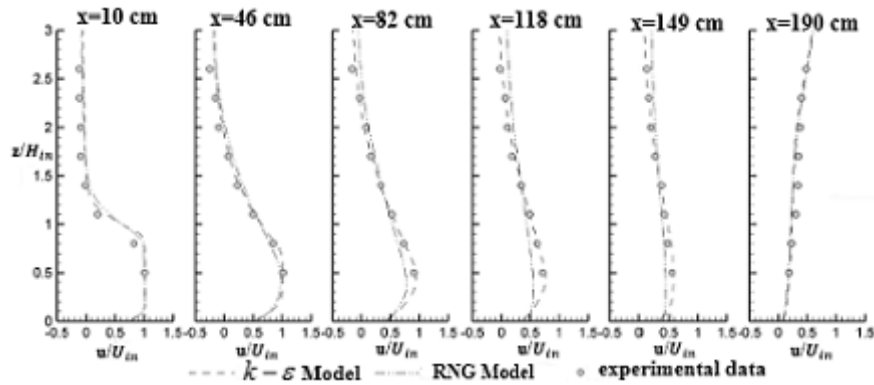
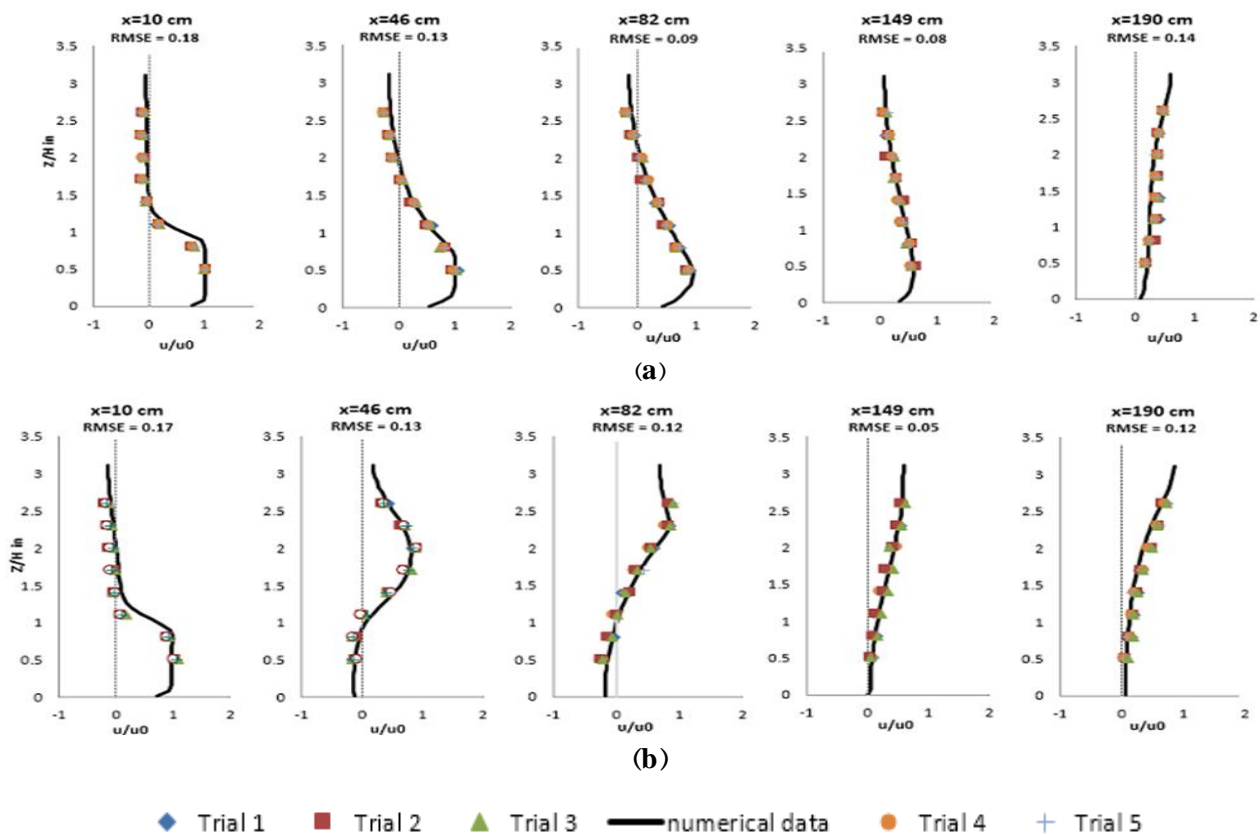
Fig. 1. Schematic diagram of experimental tank

Flow-3D اندازه‌گیری شد. در این مدل‌سازی از مدل آشفتگی $k - \epsilon$ استفاده شد. در شکل (۳) نمودار پروفیل‌های سرعت برای درستی آزمایشی مدل عددی با داده‌های آزمایشگاهی در مقطعی از طول حوضچه بدون بافل و با حضور یک بافل نشان داده شده‌است. از روش خطایابی پرکاربرد میانگین مربع خطاها (RMSE)^۱ میزان خطای نتایج عددی از مقادیر آزمایشگاهی متناظر مشخص شد که درستی و دقت نتایج حاصل از مدل عددی Flow-3D را نشان می‌دهد (نتایج روی شکل ۳ مشخص است). اندک اختلاف مشاهده شده بین نتایج در نزدیکی بستر حوضچه آزمایشگاهی، به ویژه در ناحیه نزدیک به ورودی است که این اختلاف‌ها احتمالاً به دلیل تفاوت الگوی جریان در مقطع ورودی است. در مدل عددی الگوی جریان ورودی کاملاً به صورت یکنواخت فرض شده ولی در عمل ممکن است الگوی جریان ورودی کاملاً یکنواخت نباشد. شکل (۴) تصاویری از حوضچه ته‌نشینی مستطیلی واقعی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مشخصات حوضچه بدون در نظر گرفتن اندازه ضخامت دیواره‌ها، شامل طول حوضچه (L) از ورودی اصلی تا سرریز خروجی برابر ۶۰ متر، عرض حوضچه (W) ۱۲/۹ متر، عمق نرمال آب (H) ۳ متر، ارتفاع بازشوی‌های ورودی اصلی حوضچه (H_{in}) ۱/۴ متر، عرض بازشوها (W_{in}) ۰/۴۵ متر، فاصله بین بازشوها (b) ۱/۱ متر، ارتفاع جریان در کانال انتقال-دهنده آن به حوضچه (H_c) ۰/۸۶ متر، ارتفاع سرریز خروجی (H_w) ۲/۹ متر و ارتفاع بافل (H_b) ۰/۹ متر است. دبی ورودی جریان به حوضچه نیز ۶۵۰ لیتر بر ثانیه است. با توجه به شکل (۴)، ترکیب دیواره و بازشو در ورودی حوضچه بر تفاوت مشخصات جریان ناحیه بعد از ورودی در عرض حوضچه موثر است. به علاوه در طول حوضچه فقط در ناحیه کوچکی در مجاورت دیواره‌های کناری حوضچه، تفاوت‌هایی از مشخصات جریان با سایر مقاطع عرضی حوضچه دیده می‌شود. هر دوی این نواحی نسبت به حجم کل حوضچه بسیار کوچک هستند و قابل چشم‌پوشی است. توضیحات بیشتر در این مورد همراه در مرجع ۱۴ ارائه شده‌است.

مش‌بندی با ابعاد متفاوت صورت گرفت که در نهایت سیستم مش با نزدیکترین نتایج به داده‌های آزمایشگاهی و در عین حال کمترین تعداد مش انتخاب شد [14]. در این پژوهش حوضچه ته‌نشینی آزمایشگاهی شاه‌رخ‌ی و همکاران با دو مدل آشفتگی $k - \epsilon$ و RNG در نرم‌افزار Flow-3D مدل‌سازی شد. با مقایسه نتایج پروفیل‌های سرعت در حالت بی‌بعد، حاصل از این دو مدل‌سازی با داده‌های آزمایشگاهی شکل (۲) واضح است که نتایج حاصل از مدل $k - \epsilon$ به داده‌های آزمایشگاهی بسیار نزدیک‌ترند و در مدل‌سازی‌های بعدی از این مدل آشفتگی استفاده شد. به‌علاوه پروفیل‌های سرعت بی‌بعد در جهت X حوضچه آزمایشگاهی مورد نظر برای حالات بدون بافل و با حضور یک بافل در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از ورودی (d/L=0.15) فاصله بافل از ورودی حوضچه است) در

1 Root mean square error

شکل ۲. مقایسه پروفیل‌های سرعت در جهت X مدل‌های مختلف آشفتگی با داده‌های آزمایشگاهی برای حالت بدون بافل

Fig. 2. Comparison of x -velocity component for the case without baffle with different turbulence modelsشکل ۳. مقایسه پروفیل‌های سرعت در جهت X مدل عددی و آزمایشگاهی. (a) بدون بافل، (b) بافل در $d/L=0.15$ Fig. 3. Comparison of x -velocity component for experimental and numerical data (a) without baffle (b) baffle at $d/L=0.15$

از اجرای مدل، بداند تکنیک FAVOR به چه شکلی هندسه مدل را با استفاده از مش‌بندی تعریف شده شناسایی می‌کند) و اجرای مدل‌ها با اندازه‌های متفاوت در نواحی مختلف طول حوضچه و با تعداد ۲۰۰ هزار مش در حوضچه بدون بافل شروع شد. مدل‌ها با مش‌های تا تعداد یک میلیون، با ابزار FAVORize به دلیل درست ندیدن بازسوی‌های ورودی حوضچه رد شدند. مدل‌های بعدی با تعداد یک میلیون مش به بالا با

سه بلوک مش برای مش‌بندی هندسه مدل استفاده شده‌است. بلوک اول کانال ورودی اولیه، بلوک دوم از ابتدای حوضچه تا ورودی اصلی و بلوک سوم از ورودی اصلی تا بعد از سرریز خروجی را پوشش می‌دهد. هر سه این بلوک‌ها در تمام جهت‌ها کاملاً در تماس با هم هستند و از نوع بلوک‌های لینک شده محسوب می‌شوند. مش‌بندی مدل با استفاده از ابزار FAVORize (استفاده از این ابزار کاربر را قادر می‌سازد که قبل

است. برای مدل‌سازی از نرم افزار Flow-3D- V.10.1 استفاده شده و مشخصات رایانه شامل: پردازنده intel core i5 4200U و حافظه موقت RAM 6GB بوده‌است. هر مدل‌سازی حدود ۷۲ ساعت به طول انجامید. با توجه به مقایسه نتایج در مقاطع مختلف عرض حوضچه و اطمینان از هماهنگی آن‌ها با هم (به جز موارد گفته شده در بخش ۴)، و به دلیل کوتاهی بحث از نتایج در مقطع وسط عرض حوضچه استفاده شده‌است. موقعیت نامناسب بافل حتی ممکن است نتیجه عکس دهد. در مدل‌سازی‌های انجام شده از قبل و بر اساس مقایسه میزان نواحی چرخشی در حوضچه بدون بافل، موقعیت بهینه بافل اول در فاصله $d/L=0.03$ بدست آمد [14]. در این پژوهش این مکان به عنوان موقعیت بهینه بافل اول در همه موارد مدل‌سازی در نظر گرفته شده است. جدول شماره (۱) حالات مختلف مدل‌سازی‌های انجام شده با تعداد و موقعیت‌های متفاوت بافل را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۲) مقادیر محاسبه شده حجم نواحی چرخشی در مدل‌های مختلف را نسبت به حجم کل فاضلاب حوضچه برحسب درصد نشان می‌دهد. محاسبه حجم نواحی چرخشی با رسم دقیق منحنی در نرم‌افزار AutoCAD روی نواحی چرخشی در مقاطع مختلف عرض حوضچه صورت گرفت. همان‌گونه که مشخص است، سازه بافل حجم نواحی چرخشی در حوضچه ته‌نشینی را نسبت به حالت بدون بافل کاهش می‌دهد.

جدول ۱. شرح موقعیت بافل‌ها در مدل‌سازی‌های عددی

Case number	Location of baffles (d/L)		
	1st baffle	2nd baffle	3rd baffle
1	0.03	-	-
2	0.03	0.05	-
3	0.03	0.07	-
4	0.03	0.09	-
5	0.03	0.11	-
6	0.03	0.04	0.05
7	0.03	0.05	0.05
8	0.03	0.05	0.09
9	0.03	0.06	0.09
10	0.03	0.06	0.11

Table 1. Descriptions of different baffle position

هر بار اضافه کردن ۵۰۰ هزار مش اجرا شد. با توجه به هماهنگی نتایج مدل‌های با ۳ و ۳/۵ میلیون مش، تعداد مش کم‌تر یعنی ۳ میلیون مش انتخاب شد. برای سه بلوک در نظر گرفته شده در این پژوهش، بطور کلی سایز مش‌ها به ترتیب حدود ۵، ۷ و ۱۰ سانتی‌متری در هر سه جهت بدست آمد. البته در نقاط حساس این سایزها با تعیین مش میانی یا نقاط ثابت کوچک‌تر شده‌اند و نسبت مش‌ها در سه جهت همواره کمتر از ۲ است.

شکل ۴. (a) نمای شماتیک کناری حوضچه، (b) نمای شماتیک ورودی اصلی، (c) تصویری از حوضچه ته‌نشینی واقعی مدل شده

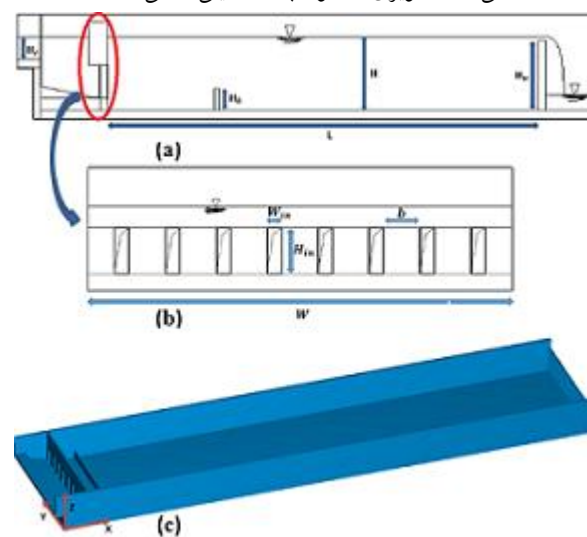


Fig. 4. Schematic and real diagram of settling tank

شرایط مرزی مدل شامل: دبی و ارتفاع جریان در ورودی حوضچه مشخص است. شرط مرزی خروجی جریان طوری انتخاب شده است که محاسبه تمام پارامترهای جریان در خروجی بدون تاثیر از بالادست به نرم‌افزار واگذار شده‌است. دیواره‌ها و کف حوضچه به صورت مرز صلب برای نرم‌افزار تعیین شده‌است. و برای سطح آزاد جریان هم مرز متقارن تعریف شده‌است.

۵- نتایج و بحث

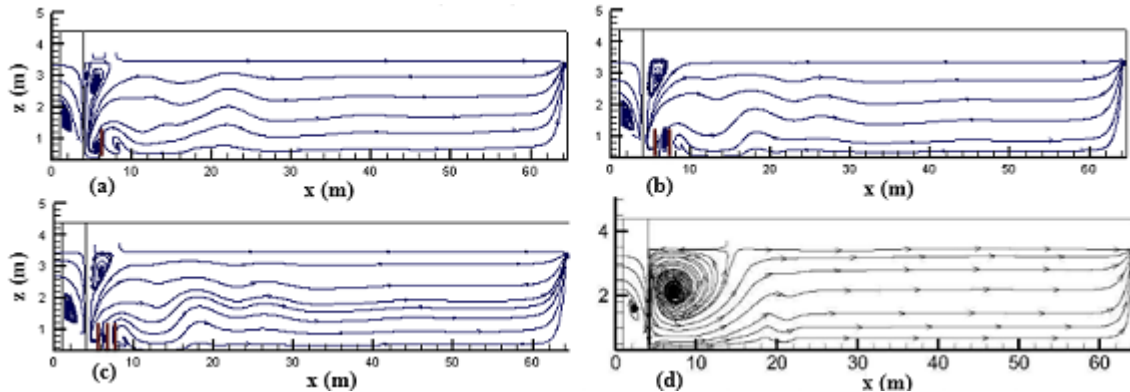
این پژوهش بر اساس مقایسه حجم نواحی چرخشی، منحنی‌های FTC و پارامترهای جریان از جمله پروفیل‌های سرعت و میزان انرژی جنبشی در تعداد متفاوت صورت گرفته

جدول ۲. حجم نواحی چرخشی در تعداد و موقعیت های مختلف بافل ها (%)

Case number	No-baffle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Circulation volume (%)	9.75	5.62	5.31	5.54	6.20	7.22	5.12	6.22	6.55	6.86	7.03

Table 2. Circulation volume percentage in different location and number of the baffles

شکل ۵. محاسبه خطوط جریان. (a) بافل در $d/L=0.03$ ، (b) بافل در $d/L=0.03, 0.05$ ، (c) بافل در $d/L=0.03, 0.04, 0.05$ ، (d) بدون بافل

Fig.5. Computed streamlines (a) baffle at $d/L=0.03$, (b) baffle at $d/L=0.03, 0.05$, (c) baffle at $d/L=0.03, 0.04, 0.05$ (d) no baffle

در شکل (۶) پروفیل های سرعت در جهت های x و z مقاطع هفت گانه از طول حوضچه نشان داده شده است. از این شکل می توان دریافت که با نصب سازه بافل در حوضچه، مقدار جت جریان بعد از بافل در کف حوضچه تا ارتفاع میانه آن کاهش می یابد. این منطقه از ارتفاع حوضچه، ناحیه حساسی در فرآیند رسوبگذاری ذرات است و بر میزان یکنواختی جریان و عملکرد رسوبگذاری ذرات در کف می افزاید. از شکل (۶-الف) مشخص است که تعداد بافل تاثیر چندانی بر پروفیل های سرعت در جهت x ندارد ولی از شکل (۶-ب) معلوم است که تعداد بافل بر سرعت در جهت z موثر است. با اضافه کردن تعداد بافل به حوضچه بزرگی سرعت های قائم کاهش می یابد که همین سبب کاهش اتصال کوتاه در حوضچه و به تبع آن افزایش راندمان رسوبگذاری حوضچه می شود. از میانه های حوضچه به بعد، پروفیل های سرعت برای تمام موارد مدل سازی تقریباً به یک شکل درمی آید، و این به دلیل طول زیاد حوضچه است که با حرکت به سمت انتهای حوضچه، به تدریج جریان از ورودی و بافل ها بی تاثیر می شود.

کاهش انرژی جنبشی در کف سبب می شود تا ذرات معلق در مدت زمان کوتاه تر در کف حوضچه رسوب شوند. بافل می تواند در کاهش انرژی جنبشی و در نتیجه افزایش راندمان رسوبگذاری حوضچه موثر باشد.

کمترین درصد ناحیه چرخشی برای تعداد دو بافل مربوط به مدل شماره ۲ با موقعیت بافل ها در $d/L=0.03$ و $d/L=0.05$ و برای تعداد سه بافل مربوط به مدل شماره ۶ با موقعیت بافل ها در $d/L=0.03$ ، $d/L=0.04$ و $d/L=0.05$ است. همچنین جدول (۲) نشان می دهد که با اضافه کردن بافل جدید لزوماً ناحیه چرخشی کاهش پیدا نمی کند و مکان نصب بافل ها بسیار مهم است. دلیل آن ایجاد نواحی چرخشی بین بافل ها و خارج شدن بافل آخر از ناحیه چرخشی اصلی ایجاد شده در حوضچه بدون بافل است، که در این صورت دیگر کارایی در کاهش حجم ناحیه چرخشی ندارد. مدل سازی های ۲ و ۶ به ترتیب به عنوان بهترین حالات بافل دوم و سوم تعیین شدند و در نتایج بعدی این دو حالت با مدل های بدون بافل و تک بافل مقایسه شده است.

در شکل (۵) خطوط جریان و نواحی چرخشی برای حالت های بهینه یک، دو و سه بافل به همراه حالت بدون بافل نشان داده شده است. با نصب سازه بافل، حجم نواحی چرخشی کاهش می یابد. به علاوه با افزایش تعداد بافل ارتفاع ناحیه چرخشی پشت آخرین بافل و ناحیه چرخشی نزدیک سطح جریان کاهش می یابد. با نصب بافل اول، دوم و سوم، حجم ناحیه چرخشی به نسبت مدل بدون بافل به ترتیب $4/13$ ، $4/44$ و $4/63$ درصد کاهش یافته است.

شکل ۶. مقایسه پروفیل‌های سرعت برای تعداد مختلف بافل. (الف) در جهت x، (ب) در جهت z

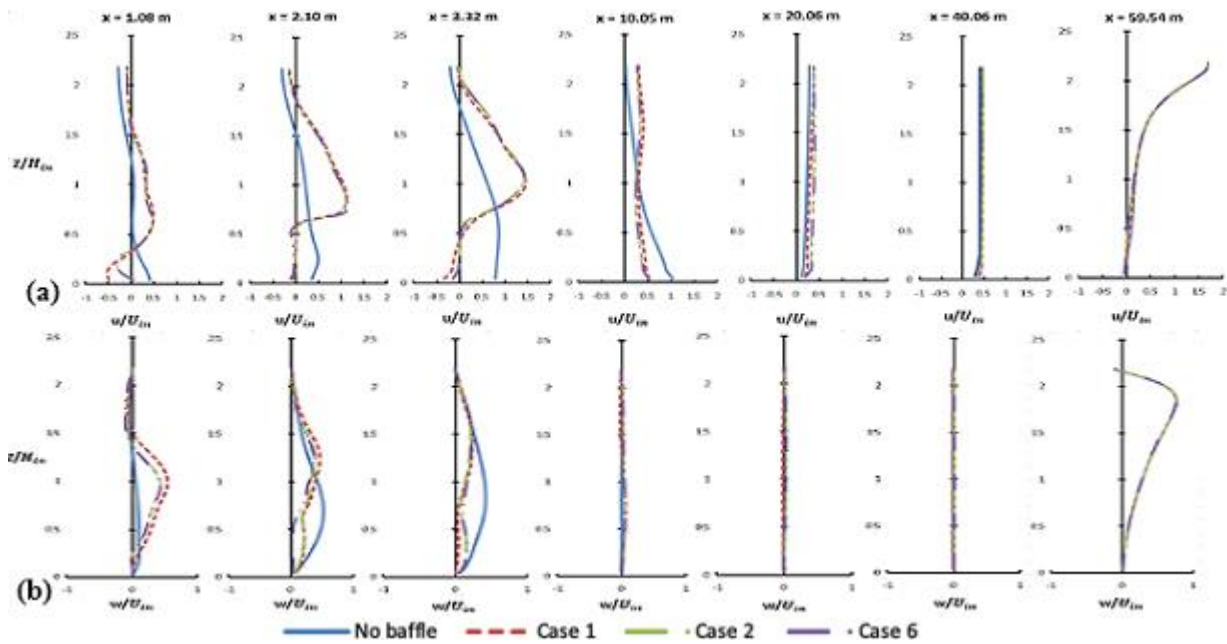


Fig. 6. Compare the velocity profiles (a) at x-direction, (b) at z-direction

شکل ۷. تعیین کانترهای انرژی جنبشی (a) بافل در $d/L=0.03$ ، (b) بافل در $d/L=0.03, 0.05$ ، (c) بافل در $d/L=0.03, 0.04, 0.05$ ، (d) بدون بافل

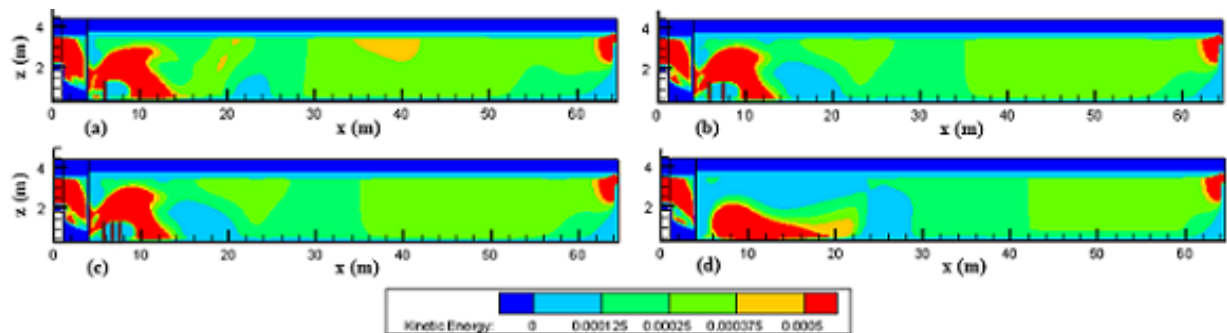


Fig. 7. Computed contour of kinetic energy (a) baffle at $d/L=0.03$, (b) baffle at $d/L=0.03, 0.05$, (c) baffle at $d/L=0.03, 0.04, 0.05$ (d) no baffle

جدول ۳. پارامترهای موثر در تحلیل منحنی FTC در حوضچه ته‌نشینی اولیه با تعداد مختلف بافل

Case number	t_0	t_{10}	t_{50}	t_{max}	$t_{75} - t_{25}$	$t_{90} - t_{10}$	$\frac{t_{90}}{t_{10}}$
No baffle	0.319	0.368	0.463	0.378	0.174	0.411	2.089
1	0.333	0.380	0.480	0.390	0.173	0.411	2.081
2	0.336	0.384	0.482	0.398	0.170	0.408	2.072
6	0.343	0.385	0.482	0.405	0.170	0.405	2.072

Table 3. Important parameter from FTC diagrams

رسوبگذاری هستند تاثیر منفی داشته و راندمان رسوبگذاری حوضچه را کاهش دهد. با افزایش تعداد بافل انرژی جنبشی کاهش یافته و ناحیه موثری در کف حوضچه برای رسوبگذاری ذرات معلق ایجاد می‌شود. طول ناحیه با بزرگترین انرژی جنبشی در موارد مدلسازی ۱، ۲ و ۶ به ترتیب کاهش داشته و

در شکل (۷) مقادیر کانترهای انرژی جنبشی برای حالت بدون بافل و موارد مدلسازی ۱، ۲ و ۶ نمایش داده شده‌است. ناحیه با بزرگترین مقدار انرژی جنبشی (که با رنگ قرمز مشخص است) برای حالت بدون بافل در نزدیکی کف حوضچه، به طول ۱۴ متر کشیده شده‌است. این ناحیه می‌تواند روی ذرات رسوب شده در کف حوضچه و ذراتی که در حال

مقادیر t_{50} و t_{max} افزایش داشته‌است که نشان‌دهنده افزایش راندمان رسوبگذاری حوضچه است. پایین بودن مقدار پارامترهای $t_{25} - t_{75}$ ، $t_{10} - t_{90}$ و $\frac{t_{25}}{t_{10}}$ نشان از اختلاط پایین جریان در حوضچه دارد. همان‌گونه که از این جدول مشخص است با افزایش تعداد بافل این پارامترها کاهش داشته‌اند و در نتیجه درهم‌آمیختگی جریان کاهش و یکنواختی آن افزایش داشته‌است و بستر مناسب‌تری برای رسوبگذاری ذرات فراهم می‌شود.

شکل ۸. مقایسه منحنی‌های FTC در حوضچه ته‌نشینی اولیه با تعداد

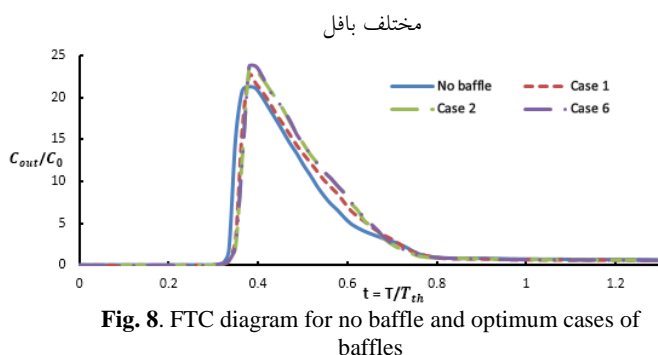


Fig. 8. FTC diagram for no baffle and optimum cases of baffles

۶- نتیجه‌گیری

افزایش راندمان حوضچه‌های ته‌نشینی هم از لحاظ فنی و هم اقتصادی از اهمیت بالایی برخوردار است. در مقاله حاضر مقایسه نتایج مدل Flow-3D با داده‌های آزمایشگاهی پیشین نشان داد که مدل عددی Flow-3D با دقت بالایی قابل اطمینان است. نتایج نشان می‌دهد با تثبیت مناسب سازه بافل در نزدیکی ورودی حوضچه می‌توان از اثر عوامل نامطلوب بر راندمان حوضچه کاست. موقعیت بهینه تعداد دو بافل در $d/L=0.03$ و $d/L=0.05$ و تعداد سه بافل در $d/L=0.03$ ، $d/L=0.04$ و $d/L=0.05$ بدست آمد. حجم نواحی چرخشی برای حالت‌های بهینه یک بافل، دو بافل و سه بافل نسبت به حالت بدون بافل به ترتیب $4/13$ ، $4/44$ و $4/63$ درصد از حجم کل حوضچه کاهش یافت. به‌علاوه از طول ناحیه با بزرگترین انرژی جنبشی نسبت به حالت بدون بافل به ترتیب $3/8$ ، $4/2$ و $4/4$ متر کاسته شد. با توجه به منحنی‌های FTC، با افزایش تعداد بافل راندمان هیدرولیکی حوضچه ته‌نشینی اولیه بهبود می‌یابد ولی دو نکته را باید مد نظر قرار داد: اول اینکه مکان نصب بافل‌ها

به سمت سطح جریان حرکت کرده است. طول این ناحیه برای موارد ۱، ۲ و ۶ به ترتیب $10/2$ ، $9/8$ و $9/6$ است.

بمنظور تعیین راندمان رسوبگذاری حوضچه‌های ته‌نشینی از منحنی‌های FTC استفاده می‌شود. در این پژوهش مواد رنگی هم‌چگالی با آب به مدت ۵۰ ثانیه در ورودی حوضچه به جریان تزریق شد. با مشاهده این مواد در مقطع خروجی جریان بر حسب زمان، نموداری به نام منحنی FTC بدست آمد. برای مقایسه بهتر این نمودارها ماده خروجی C_{out} بر غلظت آن در ورودی C_0 و زمان T بر زمان ماندگاری تئوری حوضچه T_{th} تقسیم شده‌است ($t=T/T_{th}$). زمان ماندگاری تئوری از تقسیم حجم حوضچه بر دبی ورودی بدست آمده‌است. برخی ویژگی‌های منحنی FTC که به عنوان معیاری برای تعیین راندمان هیدرولیکی حوضچه‌ها بررسی می‌شوند شامل موارد زیر است [۱۵]:

۱. پارامترهای t_{10} و t_{50} برای بررسی پدیده اتصال کوتاه است (اندیس نشانه درصدی از ذرات است که به مقطع خروجی رسیده‌اند).

۲. پارامترهای $t_{25} - t_{75}$ ، $t_{10} - t_{90}$ و $\frac{t_{25}}{t_{10}}$ از پهنای منحنی محاسبه شده و برای بررسی میزان اختلاط در حوضچه اندازه‌گیری می‌شوند.

۳. معیارهای t_{50} و t_{max} برای بررسی راندمان حوضچه محاسبه می‌شوند.

در شکل (۸) منحنی‌های FTC مربوط به مدل بدون بافل و مدل‌های ۱، ۲ و ۶ نشان داده شده‌است. مدلسازی شماره ۶ بهترین مورد در بهبود راندمان حوضچه است. زیرا t_{max} و مقدار C_{out}/C_0 در t_{max} برای این مورد از سایر موارد بیشتر است.

در جدول (۳) پارامترهای مهم منحنی‌های FTC نشان داده شده‌است. مقادیر پایین زمان‌ها در چهار ستون اول نسبت به زمان ماندگاری تئوری مبین عملکرد نسبتاً پایین حوضچه ته‌نشینی اولیه در رسوبگذاری است که با افزایش تعداد بافل این عملکرد بهبود یافته‌است. مقدار کم t_{10} و t_{50} نشان‌دهنده شدت پدیده اتصال کوتاه بین ورودی و خروجی در حوضچه است. با افزایش تعداد بافل مقادیر t_{10} و t_{50} افزایش و در نتیجه راندمان حوضچه افزایش داشته‌است. به علاوه با تعداد بیشتر بافل

Clarifiers” J. of Hydraulic Research, vol. 27, 1990, pp. 665-682.

[6] Tamayol A. , Firoozabadi B. , Ahmadi G., “Effects of Inlet Position and Baffle Configuration on Hydraulic Performance of Primary Settling Tanks ” Journal of hydraulic engineering ASCE, 2008. pp. 1004-1009.

[7] Shahrokhi M., Rostami F., Md Said M. A., Syafalni, “Numerical modeling of baffle location effects on the flow pattern of primary sedimentation tanks.” Applied Mathematical Modelling, 2012, pp. 4486-4496.

[8] Razmi, A. M., Bakhtyar, R., Firoozabadi, B., and Barry, D.A., Experiments and numerical modeling of baffle configuration effect on the performance of sedimentation tanks, Canadian Journal of Civil. Engineering, 40: 140–150. 2013. pp. 140-150.

[9] Heydari, M., M., Rahbani, M., R., Jamal, M., “Experimental and numerical investigations of baffle effect on the removal efficiency of sedimentation basin”, Advances in Environmental Biology, 2014, pp. 65-73.

[10] Liu, Y, Zhang, P, Wei W, “Simulation of effect of a baffle on the flow patterns and hydraulic efficiency in a sedimentation tank.” Desalination and Water Treatment, Taylor & Francis, 2016, pp.1-10.

[11] Shahrokhi, M., “Influence of baffle structure on the improvement efficiency of a primary rectangular sedimentation tank.” Doctoral thesis, University of Sains, Malaysia, 2012, pp. 42-99.

[12] Haitham, A. H., Rozi A., Md Azlin Md Said, Computational Investigation of Inlet Baffle Height on the Flow in A Rectangular Oil / Water Separator Tanks, Applied Mechanics and Materials, 2015. pp. 587-593.

[13] Flow-3D Users Manuals, v 10.0. 2011.

[14] Javadirad, M., “Numerical modeling of the number and Angle of baffles effect on the hydraulic efficiency of rectangular primary sedimentation tanks in wastewater treatment plants.” Master's thesis, University of Qom, 2016, pp 81-104. (In Persian)

بسیار مهم می‌باشد و نکته دوم اینکه با افزایش تعداد بافل روند و درصد بهبود راندمان حوضچه کاهش می‌یابد و در تعداد کمتر روند بهبود بسیار مناسب‌تر است. با توجه به هزینه اقتصادی ساخت بافل، زمان لازم برای ساخت و از نقطه نظر طراحی تعداد بالای بافل غیرعملی است و ضروری بنظر نمی‌رسد. به‌علاوه با توجه به کاهش روند بهبود شرایط جریان با اضافه کردن بافل‌های دوم به بعد و هزینه و زمان ساخت بافل جدید، پیشنهاد می‌شود که از یک بافل استفاده شود.

Reference

۷- مراجع

[1] Metcalf, and Eddy, “Wastewater Engineering Treatment and Reuse.” New York: McGraw-Hill, 2003, p.51.

[2] Swamee, P.K. and Tyagi, A., “Design of Class-I Sedimentation Tank”, Journal of Environmental Engineering, 1996: pp. 71-73.

[3] Shahrokhi M. , Rostami F., Md Said M. A., Sabbagh Yazdi S. R., Syafalni., “Experimental Investigation of the Influence of baffle position on the flow field , sediment concentration ,and efficiency of rectangular primary sedimentation tanks” American Society of Civil Engineering, 139:88-94, 2013, pp. 88-94.

[4] Shahrokhi, M., Rostami F., Md Said M. A., Sabbagh Yazdi S. R., Syafalni, “The effect of number of baffles on the improvement efficiency of primary sedimentation tanks.” Applied Mathematical Modelling, 2013, pp. 2725-2735.

[5] Stamou A. L. Adams E. W., Rodi W., “Numerical modeling of flow and settling in primary rectangular

Effect of Number of Baffles on Efficiency of Primary Sedimentation Tank in Real Dimensions

M. Javadi rad^{1*}, M. Shahrokhi², T. Rajaei³

1- Graduate student of Water and Hydraulic structures, Dept. of Civil Eng., University of Qom

2- Assistant Prof., Dept. of Civil Eng., University of Ghyasedin

3- Associate Prof., Dept. of Civil Eng., University of Qom

javadirad.mohammad@yahoo.com

Abstract

Removing suspended particles from water and wastewater by gravity is known as sedimentation. This technique is a useful method in any water and wastewater treatment plant. Settling tanks of wastewater treatment plants are the most important components, since one-third of the cost of wastewater treatment plant construction is dedicated to these tanks. In addition, the regulations related to the design of settling tanks are not enough. According to them, adverse factors in settling tanks are very important and improve the performance. These factors, in primary sedimentation tanks, include circulation zones, the phenomenon of short circuiting and non-uniform flow. One of the most important ways to improve flow conditions and increase the efficiency of settling tanks, is modifying the geometry of the tank through the installation of baffles. In this investigation, the effect of baffle structures on the hydraulic efficiency of primary sedimentation tanks has been investigated by three-dimensional numerical modeling in Flow-3D software. In this study, the optimum number of baffles has been studied to increase hydraulic efficiency. The case study of primary settling tank in south of Tehran wastewater treatment plant has been selected for this study. The geometry specifications of tank are as follows: length of the tank (L) from the main inlet to the overflow output is 60 m, the width (W) is 12.9 m, water depth in normal mode (H) is 3 m. Flow rate is about 650 l/s. Model geometry using AutoCAD software and three-dimensional shape has been drawn. In this study, three mesh blocks are used in mesh geometry model. All three of these blocks are fully in touch in all directions and are linked together. Intended for three blocks, the size of the mesh is selected respectively, 5, 7 and 10 cm, monotonically in each direction. In numerical modeling, the $k - \varepsilon$ turbulence model was used to solve turbulent flow, and to solve pressure, the GMRES method is used. In addition, the VOF technique was used to show the behavior of fluid on free surface flow, and FAVOR technique was used to simulate surfaces and geometric boundaries. Verification of numerical simulation results with former experimental data properly acknowledges the numerical results. The optimal location of the first baffle is already known.

Results show that baffle causes uniformity in flow and increase removal efficiency of the primary sedimentation tanks. To determine the optimum number of baffles, the results of no baffle tank and optimized cases with one, two and three baffles are compared. Using more baffles, in ideal conditions, causes suppression of the jet flow, and therefore more chances for the suspended particles deposition. The addition of new baffles in suitable locations reduces maximum velocity, the size of circulation zones and kinetic energy and create uniform velocity vectors inside the settling zone. Volume circulation zones by using one, two and three baffles compared to non-baffle decreased 4.18, 4.44 and 4.56% of the total tank volume, respectively. Finally, the results of the FTC method for several cases indicated that using a number of baffles lead to increasing the performance of the sedimentation tanks.

Keywords: primary settling tanks, baffle, Flow-3D, hydraulic efficiency, sedimentation